ISSN 2218–130X

НАУЧНО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

«Вестник Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России»

Vestnik Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

№ 1 – 2023

Редакционный совет	
Матвеев А.В. *Председатель*	к.т.н., доц., Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия
Ложкин В.Н.	д.т.н., проф., засл. деят. науки Рос. Федерации, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия
Калач А.В.	д.х.н., проф., Воронежский институт федеральной службы исполнения наказаний России, г. Воронеж, Россия
Мокрозуб В.Г.	д.т.н., проф., член-корреспондент РАЕН, почет. работник Высш. проф. обр. Рос. Федерации, Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Россия
Кубасов И.А.	д.т.н., доц., Академия управления МВД России, Москва, Россия
Маторин С.И.	д.т.н., проф., Белгородский университет кооперации, экономики и права, г. Белгород, Россия
Минаков В.Ф.	д.т.н., проф., Санкт-Петербургский государственный экономический университет, Санкт-Петербург, Россия
Рыбаков А.В.	д.т.н., проф., Академия гражданской защиты МЧС России, Москва, Россия
Буйневич М.В.	д.т.н., проф., Санкт-Петербургский университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, Санкт-Петербург, Россия
Сатыбалдина Д.Ж.	к.ф-м.н., доц., Евразийский национальный университет им. Л.Г. Гумилева, г. Нур-Султан, Республика Казахстан
Дворников С.В.	д.т.н., проф., Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного, Санкт-Петербург, Россия
Израилов К.Е.	к.т.н., Санкт-Петербургский университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, Санкт-Петербург, Россия; Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук, Санкт-Петербург, Россия
Тиамийу О.А.	к.т.н., Государственный университет, г. Илорина, Нигерия

Ивахнюк Г.К.	д.х.н., проф., лауреат премии Правительства Рос. Федерации в обл. науки и техники, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Санкт-Петербург, Россия
Барбин Н.М.	д.т.н., проф., Уральский институт ГПС МЧС России, г. Екатеринбург, Россия
Джига Н.Д.	д.психол.н., проф., Барановичский государственный университет, г. Барановичи, Республика Беларусь
Бобрищев А.А.	д.психол.н., доц., Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия
Гончаренко И.А.	д.ф-м.н., проф., Университет гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь, г. Минск, Республика Беларусь
Богданова В.В.	д.х.н., проф., Университет гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь, г. Минск, Республика Беларусь
Медведева Л.В. *Секретарь*	д.п.н., проф., засл. работник высш. шк. Рос. Федерации, акад. Междунар. акад. холода, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия

Редакционная коллегия	
Зыбина О.А. *Председатель*	д.т.н., доц., Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия
Онов В.А. *Заместитель председателя*	к.т.н., доц., Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия
Турсенев С.А.	к.т.н., доц., Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия
Терехин С.Н.	д.т.н., доц. Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия
Лобжа М.Т.	д.п.н., проф., Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Санкт-Петербург, Россия
Евдокимов В.И.	д.мед.н., проф., Всероссийский центр экстренной и радиационной медицины им. А.М. Никифорова МЧС России, Санкт-Петербург, Россия
Ложкина О.В.	д.т.н., к.х.н., проф., Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия
Максимов А.В. *Секретарь*	к.т.н., доц., Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия

Editorial council	
Matveev A.V. *Chairman*	PhD, associate prof., Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia
Lozhkin B.N.	DSc, prof., honored activity science Russian Federations, Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia
Kalach A.V.	DSc, prof., Voronezh institute of the federal penitentiary service of Russia, Voronezh, Russia
Mokrozub V.G.	DSc, prof., corresponding member of the Russian academy of natural sciences, honor. Higher worker prof. arr. Russian Federation, Tambov state technical university, Tambov, Russia
Kubasov I.A.	DSc, associate prof., Academy of management of the Ministry of internal affairs of Russia, Moscow, Russia
Matorin S.I.	DSc, prof., Belgorod university of cooperation, economics and law, Belgorod, Russia
Minakov V.F.	DSc, prof., Saint-Petersburg state university of economics, Saint-Petersburg, Russia
Rybakov A.V.	DSc, prof., Academy of civil protection of EMERCOM of Russia, Moscow, Russia
Buynevich M.V.	DSc, prof., Saint-Petersburg university of telecommunications prof. M.A. Bonch-Bruevich, Saint-Petersburg, Russia
Satybaldina D.Zh.	PhD, associate prof., Eurasian national university L.G. Gumilyov, Nur-Sultan, Republic of Kazakhstan
Dvornikov S.V.	DSc, prof., Military academy of communications. Marshal of the Soviet Union S.M. Budyonny, Saint-Petersburg, Russia
Izrailov K.E.	PhD, Saint-Petersburg university of telecommunications prof. M.A. Bonch-Bruevich, Saint-Petersburg, Russia; Saint-Petersburg Federal research center of the Russian academy of sciences, Saint-Petersburg, Russia
Thiamiyu O.A.	PhD, State university, Ilorina, Nigeria
Ivakhnyuk G.K.	DSc, prof., laureate of the Government prize Russian Federation in the region science and technology, Saint-Petersburg state technological institute (technical university), Saint-Petersburg, Russia
Barbin N.M.	DSc, prof., Ural institute of State fire service of EMERCOM of Russia, Yekaterinburg, Russia
Jiga N.D.	DSc, prof., Baranovichi state university, Baranovichi, Republic of Belarus
Bobrischev A.A.	DSc, associate prof., Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia
Goncharenko I.A.	DSc, prof., University of civil protection of the Ministry of emergency situations of the Republic of Belarus, Minsk, Republic of Belarus

Bogdanova V.V.	DSc, prof., University of civil protection of the Ministry of emergency situations of the Republic of Belarus, Minsk, Republic of Belarus
Medvedeva L.V. *Secretary*	DSc, prof., honored Higher worker school Russian Federation, acad. International acad. cold, Saint-Petersburg State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia
Editorial board	
Zybina O.A. *Chairman*	DSc, associate prof., Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia
Onov V.A. *Deputy chairman*	PhD, associate prof., Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia
Tursenev S.A.	PhD, associate prof., Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia
Terekhin S.N.	DSc, associate prof., Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia
Lobzha M.T.	DSc, prof., Petersburg state university of communications of Emperor Alexander I, Saint-Petersburg, Russia
Evdokimov V.I.	DSc, prof., All-Russian center for emergency and radiation medicine A.M. Nikiforov of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia
Lozhkina O.V.	DSc, PhD, prof., Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia
Maksimov A.V. *Secretary*	PhD, associate prof., Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia

СОДЕРЖАНИЕ

СНИЖЕНИЕ РИСКОВ И ЛИКВИДАЦИЯ ПОСЛЕДСТВИЙ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ. ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ЧС

Седнев В.А., Кошевая Е.И., Седнев Ан.В. Моделирование обстановки в жилых зонах после воздействия обычных средств поражения. …….…….. 1

БЕЗОПАСНОСТЬ КРИТИЧЕСКИ ВАЖНЫХ И ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ

Метельков А.Н. Алгоритм информационного взаимодействия руководителей ликвидации чрезвычайной ситуации и контртеррористической операции. …… 17

ПОЖАРНАЯ ТАКТИКА, ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЦЕССОВ ГОРЕНИЯ И ТУШЕНИЯ

Рыбин О.А., Борзунова Н.Ю. Особенности определения очага пожара легкового автомобиля. ……. 29

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ТЕОРИИ УПРАВЛЕНИЯ СЛОЖНЫМИ ПРОЦЕССАМИ

Удавцова Е.Ю., Бобринев Е.В., Кондашов А.А. Обоснование необходимости использования инженерной службы в составе специализированных пожарно-спасательных частей в субъектах Российской Федерации. ……..….. 38

Скатков А.В., Доронина Е.Б. Операторный язык создания сценариев управления нестационарными процессами ремонтно-профилактических работ сложной технической аппаратуры. ……. 48

Чудаков А.М., Русин А.А., Жеглов К.Д., Дворников С.В., Дворников С.С. Обоснование и выбор вида передачи для декаметровых линий радиосвязи МЧС России….. 62

Власенко В.И., Оков И.Н., Дворников С.С., Дворников С.В. Повышение эффективности функционирования декамертовых линий радиосвязи. ……... 75

Искалин В.И., Сорокин В.А., Туз Н.В. Описательная статистика оценок деятельности территориальных органов МЧС России по вопросам осуществления федерального государственного пожарного надзора. …… 85

Белоуско Ю.А. Разработка модели процесса выбора местоположения элементов группировки сил ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. …….. 98

Вострых А.В., Самарин М.А., Максимов А.В. Анализ существующих подходов получения и обработки данных из социальных сетей. …….… 109

Синещук М.Ю., Шестаков А.В., Гавкалюк Б.В. Инфологическая модель и критерии качества решений по построению ведомственных организационно-технических систем класса «киберполигон». ……..… 121

Скатков А.В., Брюховецкий А.А., Доронина Ю.В. Сценарии интерактивных режимов обнаружения уязвимостей интерфейсов сложных технических систем на основе коллаборационного подхода в интеллектуальных сетях 5G. …….. 138

Аганов С.С., Понимасов О.Е., Пылаев С.М. Факторы обеспечения информационной безопасности в сфере спорта высших достижений. …….. 149

ЭКОНОМИКА, СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Гетманцев А.Ю. Оценка эффективности мероприятий по обеспечению безопасности применения беспилотных летательных аппаратов. …….. 157

Мусиенко Т.В., Матвеев А.В., Артамонов В.С. Теоретические основы управления цифровой образовательной средой в университете. ……. 171

ТРУДЫ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ

Смолякова А.С., Щетка В.Ф. Функциональная модель управления рисками чрезвычайных ситуаций на гидротехнических объектах. ……... 181

Шофеев Т.Г. Модель принятия решений при реагировании на чрезвычайные ситуации в условиях неопределенности. …….….. 190

CONTENTS

RISKS REDUCTION AND ELIMINATION OF CONSEQUENCES OF EMERGENCIES. SAFETY ENSURING AT EMERGENCY SITUATIONS

Sednev V.A., Koshevaya E.I., Sednev An.V. Modeling of the situation in residential areas after exposure to conventional weapons. …….…….…….. 1

SAFETY OF CRITICALLY IMPORTANT AND POTENTIALLY DANGEROUS OBJECTS

Metelkov A.N. Algorithm of information interaction of emergency response managers and counter-terrorism operations. ……...…… 17

FIRE-FIGHTING TACTICS, PHYSICO-CHEMICAL PRINCIPLES OF BURNING AND EXTINGUISHING PROCESSES

Rybin O.A., Borzunova N.Yu. Features of determining the fire source of a passenger car. 29

MATHEMATIC MODELING, COMPUTER TECHNOLOGIES IN THE THEORY OF COMPLEX PROCESSES MANAGEMENT

Udavtsova E.Yu., Bobrinev E.V., Kondashov A.A. Justification of the need to use an engineering service as part of specialized fire and rescue units in the subjects of the Russian Federation. ……..... 38

Skatkov A.V., Doronina E.B. Operator language for creating scenarios for managing non-stationary processes of repair and preventive maintenance of complex technical equipment. ……..... 48

Chudakov A.M., Rusin A.A., Zheglov K.D., Dvornikov S.V., Dvornikov S.S. Justification and selection of the type of transmission for decameter radio communication lines of EMERCOM of Russia 62

Vlasenko V.I., Okov I.N., Dvornikov S.S., Dvornikov S.V. Improving the efficiency of functioning of decameral radio communication lines. …….……..... 75

Iskalin V.I., Sorokin V.A., Tuz N.V. Descriptive statistics of assessments of the activities of territorial bodies of of EMERCOM of Russia on the implementation of federal state fire supervision. ……...…… 85

Belousko Yu.A. Development of a model of the process of selecting the location of elements of the grouping of emergency response forces. ……..…….. 98

Vostrikh A.V., Samarin M.A., Maksimov A.V. Analysis of existing approaches to obtaining and processing data from social networks. …….… 109

Sineshchuk M.Yu., Shestakov A.V., Gavkalyuk B.V. Infological model and criteria for the quality of solutions for the construction of departmental organizational and technical systems of the «cyberpolygon» class. ……...… 121

Skatkov A.V., Bryukhovetskiy A.A., Doronina Yu.V. Scenarios of interactive modes for detecting vulnerabilities of interfaces of complex technical systems based on a collaborative approach in intelligent 5G networks. 138

Aganov S.S., Ponimasov O.E., Pylaev S.M. Factors of ensuring information security in the field of high-performance sports. ……...…….. 149

ECONOMICS, MANAGEMENT SYSTEMS

Getmantsev A.Yu. Assessment of the effectiveness of measures to ensure the safety of the use of unmanned aerial vehicles. ……..... 157

Musienko T.V., Matveev A.V., Artamonov V.S. Theoretical foundations of digital educational environment management at the university. ……..……. 171

WORKS OF YOUNG SCIENTISTS

Smolyakova A.S., Shchetka V.F. Functional model of emergency risk management at hydraulic engineering facilities. ……..... 181

Shafeev T.G. Decision-making model for emergency response under uncertainty. …… 190

СНИЖЕНИЕ РИСКОВ И ЛИКВИДАЦИЯ ПОСЛЕДСТВИЙ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ. ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ЧС

Научная статья
УДК 614.8

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБСТАНОВКИ В ЖИЛЫХ ЗОНАХ ПОСЛЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ОБЫЧНЫХ СРЕДСТВ ПОРАЖЕНИЯ

✉Седнев Владимир Анатольевич;
Кошевая Елена Ивановна.
Академия ГПС МЧС России, Москва, Россия.
Седнев Анатолий Владимирович.
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет), Москва, Россия
✉sednev70@yandex.ru

Аннотация. В ранее выполненных авторами работах, в отличие от существующих моделей, не учитывающих взаимосвязь локальных разрушений здания от воздействия обычных средств поражения, было предложено определять условия разрушения зданий методом автоматизированного расчета напряженного состояния их строительных конструкций после перераспределения внешних нагрузок в результате удаления из расчетной схемы «разрушенных» элементов. Это позволило впервые определять виды и количество элементов несущих конструкций зданий, разрушение которых приводит к их обрушению. Кроме того, степень разрушения здания определяется не величиной избыточного давления во фронте воздушной ударной волны, действующей на здание, а величиной экономического ущерба, исходя из целесообразности его восстановления, в зависимости от доли разрушенных взаимосвязанных конструктивных элементов здания. Это впервые обеспечивает возможность оперативного прогнозирования как степени разрушения отдельных зданий, так и их групп в очаге поражения. Поэтому в статье предложены научно-методические подходы оперативного прогнозирования степеней разрушения жилых зданий и степени поражения жилой зоны при воздействии обычных средств поражения, позволяющие повысить точность расчетов на 40–50 % для жилых зданий, сократить время на расчеты в 10–15 раз, повысить точность прогнозирования объемов аварийно-восстановительных работ применительно к жилым зданиям и зонам городов и объектов экономики.

Предлагаемый научно-методический подход позволяет обосновать предполагаемый объем восстановительных работ, предложения по повышению устойчивости жилых зданий к взрывным нагрузкам, а также по обеспечению защищенности населения.

Ключевые слова: жилые здания, воздействие, обычные средства поражения, ущерб

Для цитирования: Седнев В.А., Кошевая Е.И., Седнев Ан.В. Моделирование обстановки в жилых зонах после воздействия обычных средств поражения // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2023. № 1. С. 1–16.

© Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2023

Scientific article

SIMULATION OF THE SITUATION IN RESIDENTIAL AREAS AFTER EXPOSURE TO CONVENTIONAL WEAPONS

✉Sednev Vladimir A.;
Koshevaya Elena I.
Academy of State fire service of EMERCOM of Russia, Moscow, Russia.
Sednev Anatoly V.
Moscow state technical university them. N.E. Bauman (national research university), Moscow, Russia
✉sednev70@yandex.ru

Abstract. In the works previously carried out by the authors, in contrast to existing models that do not take into account the relationship of local destruction of a building from the effects of conventional weapons, it was proposed to determine the conditions of destruction of buildings by automated calculation of the stress state of their building structures after the redistribution of external loads as a result of the removal of «destroyed» elements from the design scheme. This made it possible for the first time to determine the types and number of elements of non-existent structures of buildings, the destruction of which leads to their collapse. In addition, the degree of destruction of a building is determined not by the amount of excess pressure in the front of the air shock wave acting on the building, but by the amount of economic damage, based on the expediency of its restoration, depending on the proportion of destroyed interconnected structural elements of the building. This provides for the first time the possibility of operational forecasting of both the degree of destruction of individual buildings and their groups in the lesion. Therefore, the article proposes scientific and methodological approaches for operational forecasting of the degrees of destruction of residential buildings and the degree of damage to the residential area under the action of conventional means of destruction, allowing to increase the accuracy of calculations by 40–50 % for residential buildings, reduce the time for calculations by 10–15 times, increase the accuracy of forecasting the volume of emergency recovery work in relation to residential buildings and zones of cities and economic objects.

The proposed scientific and methodological approach allows us to substantiate the estimated amount of restoration work, proposals to increase the stability of residential buildings to explosive loads, as well as to ensure the protection of the population.

Keywords: residential buildings, impact, conventional weapons, damage

For citation: Sednev V.A., Koshevaya E.I., Sednev An.V. Simulation of the situation in residential areas after exposure to conventional weapons // Scientific and analytical journal «Vestnik Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia». 2023. № 1. P. 1–16.

Введение

В чрезвычайных ситуациях военного времени вследствие воздействия современных средств поражения [1–7] наносится значительный ущерб жилым зданиям и зонам городов и объектам экономики. Учитывая сложность складывающейся при этом обстановки [1–15], необходимо иметь достоверную информацию [8–10] о возможных объемах аварийно-восстановительных работ, чтобы обеспечить оперативность, точность и качество принятия решений по обоснованию необходимых запасов средств для жизнеобеспечения населения и скорейшего восстановления пострадавших объектов. При этом создание системы поддержки принятия решений, поддерживающей целостный подход в управлении применительно к этим объектам, обеспечит соответствующие органы управления необходимой оперативной, аналитической и прогнозной информацией.

Инженерная методика оперативного прогнозирования степеней разрушения жилых зданий при воздействии обычных средств поражения

Инженерная методика выполнена с помощью графоаналитических методов расчета и представлена в форме номограммы (рис. 1), имеющей четыре рабочих поля: А, Б, В, Г.

Поля А и Б предназначены для определения ущерба зданий (монолитного, кирпичного, панельного) при прицельном ударе обычных средств поражения (ОСП) по площади зданий, в зависимости от количества и типа применяемых боеприпасов.

Прогнозируемый ущерб от разрушения здания в долях от его полной стоимости $G_{пр}$ определяется по горизонтальной оси, в зависимости от количества боеприпасов z (в штуках на расчетную секцию здания), отложенного по вертикальной оси.

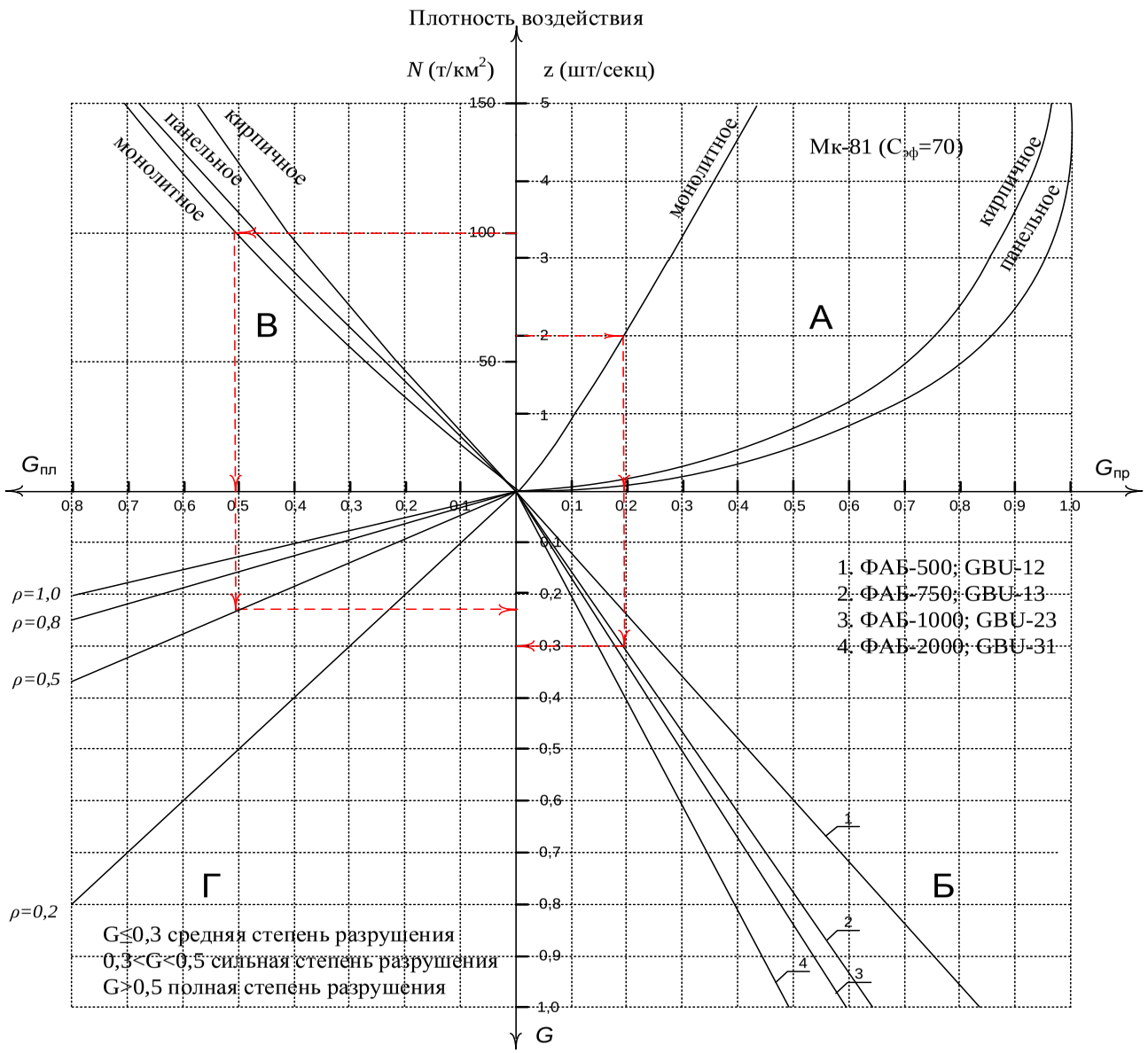


Рис. 1. **Номограмма для определения степеней разрушения зданий**

За расчетные секции зданий приняты одноподъездные секции: кирпичное здание площадью 198 м^2; панельное площадью 234 м^2; монолитное площадью 1440 м^2.

Таблица 1

Математическое ожидание ущерба от разрушения зданий (G_i)

Тип здания	Прицельное бомбометание количество ФАБ-250					50 т/км^2 плотность застройки				100 т/км^2 плотность застройки				150 т/км^2 плотность застройки			
	1	2	3	4	5	0,2	0,5	0,8	1,0	0,2	0,5	0,8	1,0	0,2	0,5	0,8	1,0
Кирпичное	0,557	0,754	0,859	0,925	0,964	0,215	0,091	0,057	0,047	0,411	0,190	0,118	0,099	0,576	0,270	0,176	0,150
Панельное	0,643	0,854	0,973	0,987	0,993	0,244	0,109	0,069	0,06	0,468	0,219	0,140	0,115	0,680	0,319	0,209	0,174
Монолитное	0,108	0,191	0,272	0,352	0,432	0,271	0,138	0,08	0,061	0,516	0,249	0,151	0,130	0,709	0,320	0,217	0,180

На поле А размещены три кривые, соответствующие расчетным значениям ущерба от разрушения монолитного, кирпичного и панельного зданий (табл. 1). Поле Б предназначено для корректировки доли ущерба от разрушения зданий при действии боеприпасов других калибров, отличных от расчетного по массе и типу взрывчатого вещества. Для приведения этих боеприпасов к расчетному использован закон подобия [1]:

$$z_p = z_i \sqrt[3]{\frac{C_i}{C_p}}, \qquad (1)$$

где z_i – приведенное количество действующих боеприпасов i-го типа; C_i – эффективная масса взрывчатого вещества в боеприпасе i-го типа; C_p – эффективная масса взрывчатого вещества в расчетном боеприпасе.

За расчетный боеприпас принята авиационная фугасная бомба МК-81 (ФАБ-250), имеющая эффективную массу взрывчатого вещества 70 кг. По зависимости (1) всегда можно определить эквивалентное количество z любых действующих боеприпасов. С целью упрощения расчетов на поле Б построена серия прямых линий, соответствующих поправочным коэффициентам для основных типов фугасных авиационных бомб.

Поля номограммы В и Г предназначены для определения ущерба от разрушения зданий при площадном воздействии по жилой зоне (очагу поражения).

На поле В по данным расчетов построены кривые для определения ущерба от разрушения расчетных секций монолитного, панельного и кирпичного зданий $G_{пл}$ в очаге поражения с расчетной плотностью застройки 20 %. Значения плотности воздействия N (т/км^2 застроенной площади очага поражения) принимаются также по вертикальной оси, примыкающей к полю В. Поскольку ущерб от разрушения зданий при площадном воздействии по очагу поражения зависит от плотности его застройки, то для упрощения расчетов на поле Г построены линии, соответствующие поправочным коэффициентам для разных значений плотности застройки. Степень разрушения здания предлагается определять, исходя из возможности восстановления [14]: при экономическом ущербе до 30 % восстановление здания возможно силами коммунального хозяйства, здание получает среднюю степень разрушения; до 50 % – сильную степень разрушения и восстановление его возможно силами строительных организаций; более 50 % – полную степень разрушения и восстановление нецелесообразно.

Определение степеней разрушения зданий при прицельном воздействии

1. Определяются исходные данные [14].

1.1. Тип и количество боеприпасов, воздействующих на здание.

1.2. Количество расчетных секций здания:

$$\Pi_{\text{с}} = \frac{S_{\text{зд}}}{S_p}, \text{ шт.},$$

где $S_{\text{зд}}$ – общая площадь здания, м^2; $S_{\text{р}}$ – расчетная площадь одной секции здания (198 м^2 – для кирпичного, 234 м^2 – для панельного, 1440 м^2 – для монолитного).

1.3. Количество боеприпасов, воздействующих на одну секцию здания:

$$z = \frac{z_{\text{об}}}{\Pi_{\text{с}}}, \text{ шт.},$$

2. Определяется степень разрушения здания $G_{\text{пр}}$.

2.1. На поле А номограммы находится точка пересечения горизонтальной линии z (шт/секцию) с кривой для рассчитываемого типа здания.

2.2. От точки пересечения опускается вертикальная линия до оси $G_{\text{пр}}$, на которой определяется величина ущерба и соответствующая степень разрушения здания.

2.3. В случае воздействия боеприпасов другого калибра линия от оси $G_{\text{пр}}$ опускается на поле Б до пересечения с линией соответствующего калибра, а затем проводится горизонтальная линия до оси G, на которой определяется величина приведенного ущерба и соответствующая степень разрушения здания.

Определение степеней разрушения зданий при площадном воздействии

1. Определяются исходные данные [14].

1.1. Ожидаемая плотность воздействия – N, т/км^2.

1.2. Плотность застройки возможного очага поражения для каждого типа зданий:

$$\rho_i = \frac{S_i}{S_{\text{оп}}},$$

где ρ_i – плотность застройки очага поражения i-м типом здания (монолитным, кирпичным, панельным); $S_{\text{оп}}$ – площадь очага поражения, км^2; S_i – общая площадь зданий i-*го* типа:

$$S_i = \sum_{j=1}^{K} m_{ji} \cdot S_{ji}, \text{ км}^2,$$

где S_{ji} – площадь j-го вида зданий i-го типа; m_{ji} – количество j-го вида зданий i-го типа; K – количество видов зданий i-го типа (виды зданий отличаются своей площадью).

2. Определяется степень разрушения здания $G_{\text{пл}}$.

2.1. На поле В номограммы находится точка пересечения горизонтальной линии N (т/км^2) с кривой для рассчитываемого типа здания.

2.2. От точки пересечения опускается вертикальная линия до оси $G_{\text{пл}}$, на которой определяется величина ущерба и соответствующая степень разрушения здания, состоящего из одной расчетной секции.

2.3. Вертикальная линия продолжается на поле Г до пересечения с линией плотности застройки.

2.4. Из точки пересечения проводится горизонтальная линия до пересечения с вертикальной осью G, по которой определяется величина ущерба и соответствующая степень разрушения здания.

В качестве критерия эффективности предложенной методики прогнозирования степени разрушения зданий при воздействии обычных средств поражения принята степень повышения точности ее определения. Выполнен сравнительный расчет степени разрушения кирпичного здания (табл. 2). Применительно к панельным и монолитным зданиям

сравнительные расчеты выполнить невозможно, это связано с тем, что данные по величине избыточного давления во фронте воздушной ударной волны ядерного взрыва, вызывающего слабые, средние, сильные и полные разрушения жилых зданий этих типов, отсутствуют.

Таблица 2

Результаты сравнительных расчетов степени поражения зданий

Объект поражения	Степень разрушения здания, %		
	существующая методика	предложенная методика	степень повышения точности
Кирпичные пятиэтажные здания	100	50	50

Анализ сравнительных расчетов показывает, что точность применения разработанной методики, по сравнению с существующими, повышается на 40–50 %. Это повышение объясняется следующими фактами.

Во-первых, в существующей методике степень разрушения здания определяется в зависимости от соотношения величины избыточного давления во фронте воздушной ударной волны ядерного взрыва и избыточного давления, которое вызывает сильную степень разрушения. При взрыве обычных средств поражения величина избыточного давления приближенно приводится к величине избыточного давления при ядерном взрыве по зависимости [1]:

$$\Delta P_{\text{ОСП}}=1{,}5\text{-}1{,}7\ \Delta P_{\text{ЯВ}},$$

где $\Delta P_{\text{ОСП}}, \Delta P_{\text{ЯВ}}$ – избыточное давление во фронте воздушной ударной волны, соответственно, при взрыве обычных средств поражения и ядерного взрыва.

Во-вторых, в математической модели воздействия на здание воздушной ударной волны ядерного взрыва принято, что всё здание полностью погружается в волну, давление в которой одинаково действует на все элементы фронтальной стены здания. Однако при воздействии воздушной ударной волны при взрыве обычных средств поражения разрушающее действие на конструкцию здания оказывается только на участке длиной не более $0{,}8R_{\text{р}}$ ($R_{\text{р}}$ – радиус разрушения). То есть возникают только локальные разрушения, что и учитывается в предложенной математической модели разрушения здания.

В-третьих, при площадном воздействии обычных средств поражения по жилой зоне боеприпасы распределяются случайным образом. Вероятность разрушения конструкций здания зависит как от площади поражения, так и от плотности воздействия, что и учитывается в предложенной методике. В существующей методике вероятность попадания в площадь поражения здания принимается равной единице.

Таким образом, повышение точности расчетов по предлагаемой методике обусловлено более полным соответствием принятой математической модели и физических процессов разрушения конструкций зданий.

Инженерная методика оперативного прогнозирования степени поражения жилой зоны при воздействии по ней ОСП

Методика определения площади разрушений зданий, как и степени поражения жилой зоны, требует уточнения с учетом не только полной степени разрушения критических элементов здания, но и реальной степени разрушения здания в зависимости от функциональных связей всех его конструктивных элементов. В связи с этим в целях уточнения возможной обстановки предлагается уточненная инженерная методика прогнозирования степени поражения жилой зоны. Расчеты по этой методике предлагается проводить графоаналитическим методом с применением разработанных номограмм (рис. 2–4) для определения доли разрушенных зданий каждого типа: монолитных, кирпичных, панельных.

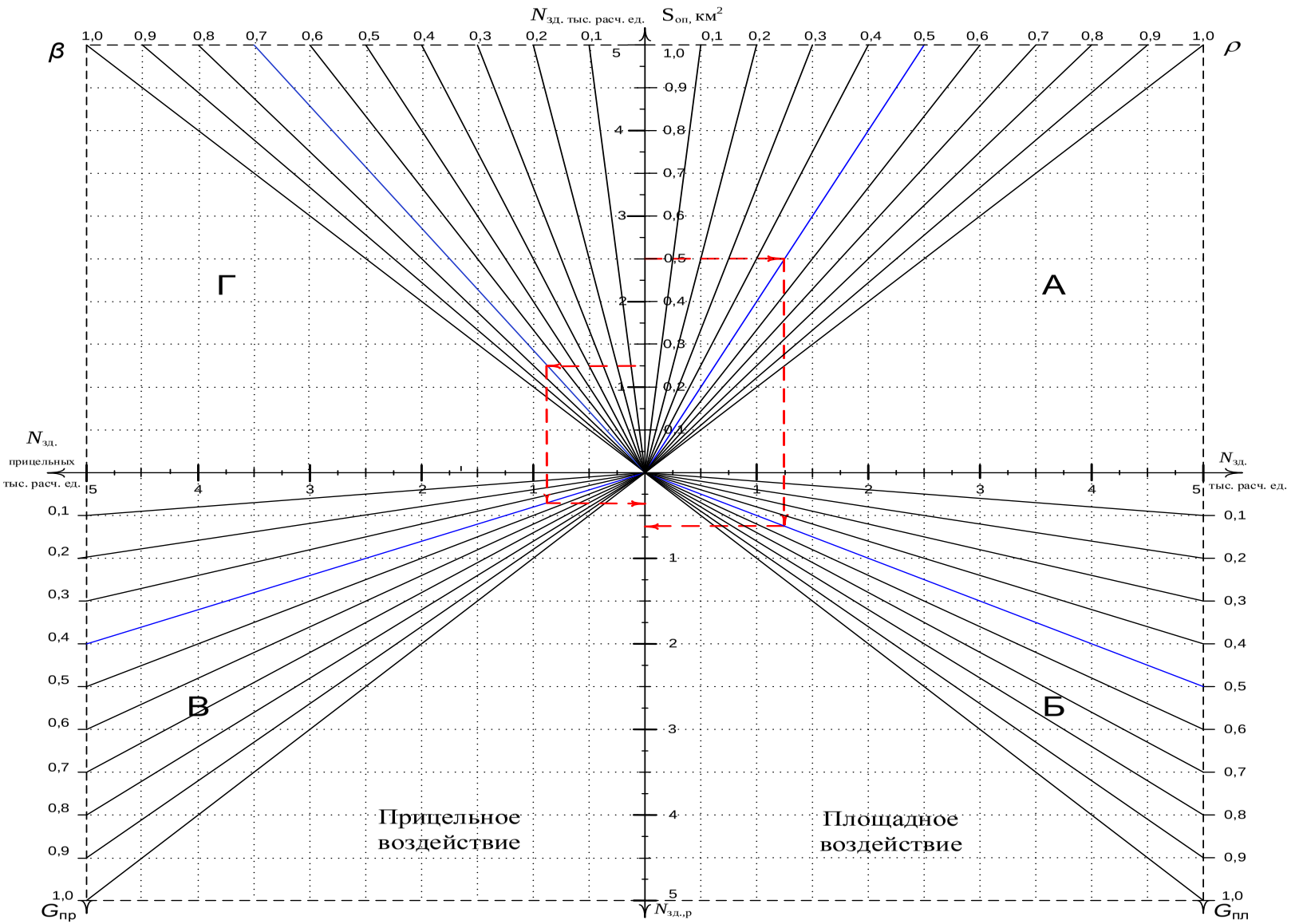


Рис. 2. **Номограмма для определения степени поражения жилой зоны (для кирпичного типа зданий)**

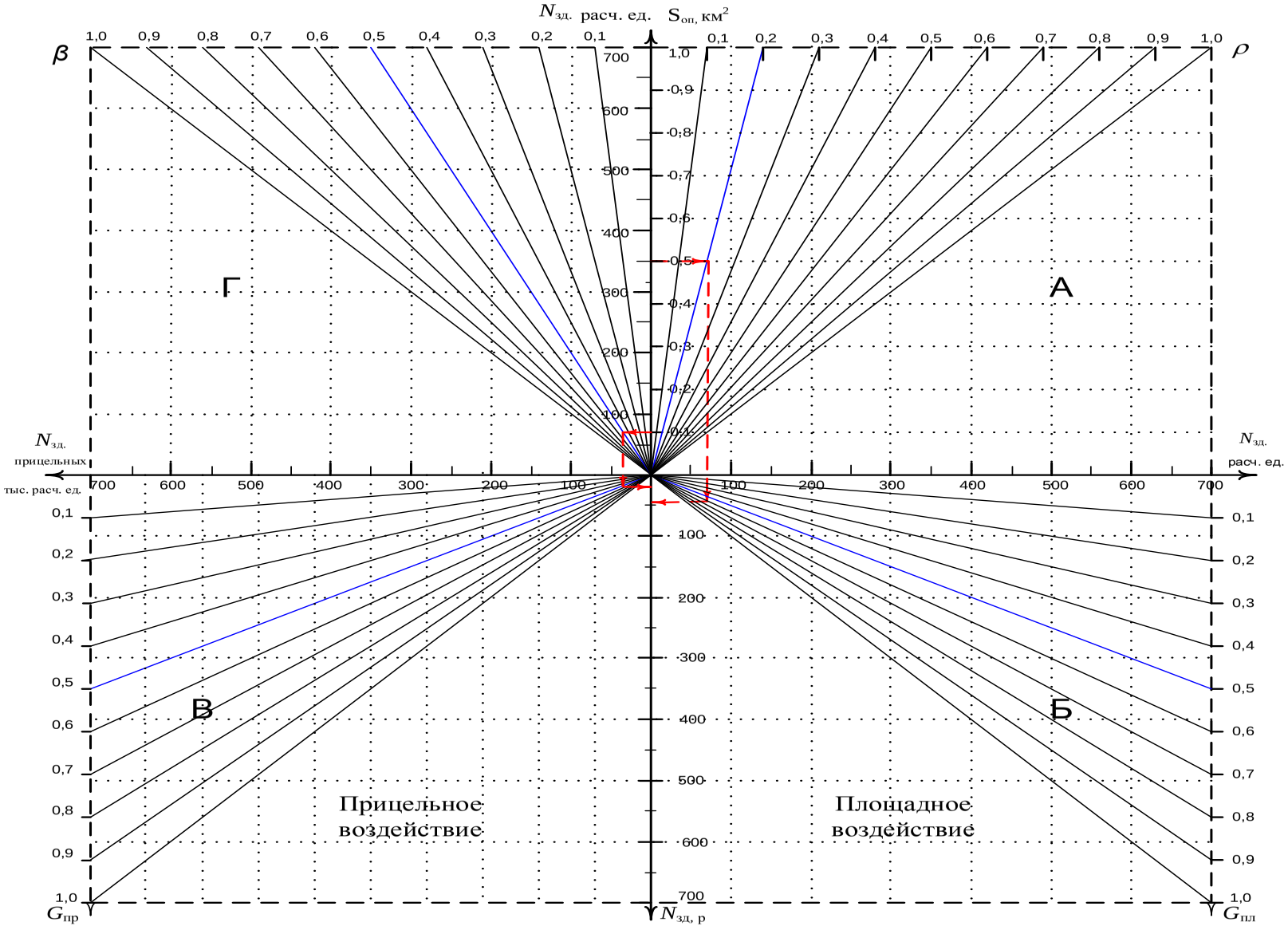


Рис. 3. **Номограмма для определения степени поражения жилой зоны (для монолитного типа зданий)**

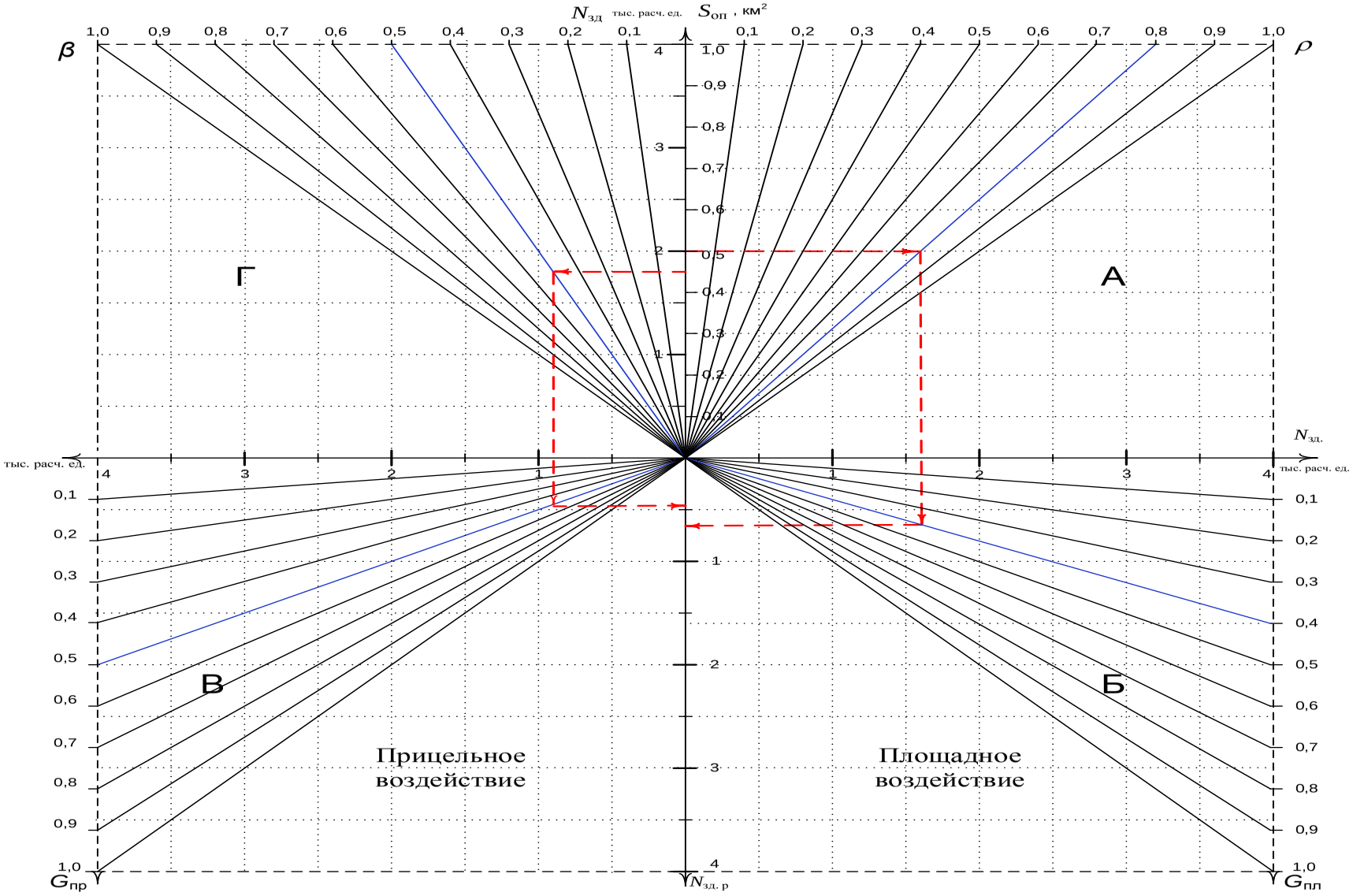


Рис. 4. **Номограмма для определения степени поражения жилой зоны (для панельного типа зданий)**

Номограммы имеют четыре рабочих поля: А, Б, В, Г. Рабочие поля А, Б предназначены для определения степени поражения жилой зоны в очаге поражения при воздействии ОСП по площади жилой зоны, а поля В и Г – при прицельном воздействии по зданиям. Рабочее поле А предназначено для определения количества зданий в очаге поражения в зависимости от его площади, типа зданий и плотности застройки. При этом расчет ведется на 1 км^2 площади очага поражения, а количество зданий представлено количеством расчетных секций рассматриваемых типов зданий. С учетом этого на всех трех номограммах на горизонтальных и вертикальной оси справа показано расчетное количество секций ($N_{зд,i}$) на 1 км^2 жилой зоны:

$$N_{зд,i} = \frac{10^6}{S_{зд,i}}, \text{ шт},$$

где $S_{зд,i}$ – расчетная площадь одной секции здания i-го типа ($S_{мон}$=1440 м^2, $S_{кир}$=198 м^2, $S_{пан}$=234 м^2).

На вертикальной оси справа отложена величина $S_{оп}$ площади очага поражения (от нуля до 1 км^2). На поле А располагается серия прямых линий, соответствующих значению плотности застройки очага поражения:

$$\rho_i = \frac{\sum S_i}{S_{оп}},$$

где $\sum S_i$ – общая площадь зданий i-го типа, размещенного на площади очага поражения; $S_{оп}$ – площадь очага поражения.

На поле Б расположена серия прямых линий $G_{пл}$, соответствующих степени разрушения зданий действием ОСП при площадном воздействии, а на поле В – величине степени разрушения $G_{пр}$ в очаге поражения при прицельном воздействии. По оси $N_{зд,р}$ определяется математическое ожидание доли разрушенных зданий i-го типа как при площадном, так и при прицельном воздействии:

$$N_{зд,р,i} = N_{зд,\,i} \cdot G_i,$$

где G_i – степень разрушения зданий i-го типа ($G_{пл}$ – при площадном, $G_{пр}$ – при прицельном воздействии).

На поле Г расположена серия прямых линий, соответствующая доли зданий в очаге поражения, по которым возможно прицельное воздействие:

$$\beta_i = \frac{S_{пр,i}}{\sum S_i}, \tag{2}$$

где $S_{пр,\,i}$ – площадь зданий, по которым возможно прицельное воздействие.

Доля зданий i-го типа в очаге поражения при площадном способе бомбометания определяется по формуле:

$$\alpha_i = \frac{N_{зд,i}}{N_{общ}}. \tag{3}$$

Определение доли разрушенных зданий в очаге поражения

1. Определяются исходные данные [14].

1.1. Площадь очага поражения, км^2.

1.2. Общая площадь зданий *i*-го типа, $\sum S_i$, м^2.

1.3. Плотность застройки жилой зоны в очаге поражения зданий *i*-го типа, ρ_i.

1.4. Величина ущерба от разрушения зданий: $G_{пл}$, $G_{пр}$ (рис. 5).

1.5. Доля зданий *i*-го типа в очаге поражения в зависимости от способа бомбометания определяется:

– при площадном: $$\alpha_i = \frac{N_{зд.i}}{N_{общ}};$$

– при прицельном: $$\beta_i = \frac{S_{пр,i}}{\sum S_i},$$

$$N_{общ} = N_{мон} + N_{кир} + N_{пан}, \text{ шт.}$$

2. Определяется доля разрушенных зданий при площадном воздействии (расчет проводится по соответствующей номограмме (рис. 2, 3).

2.1. В поле А от вертикальной оси $S_{оп}$ проводится горизонтальная линия до пересечения с линией плотности застройки ρ, затем из точки пересечения опускается вертикальная линия до пересечения с горизонтальной осью $N_{зд}$, по которой определяется их общее расчетное количество в очаге поражения.

2.2. Вертикальная линия продолжается в поле Б до пересечения с линией, соответствующей величине степени разрушения зданий $G_{пл}$, а затем из точки пересечения проводится горизонтальная линия до нижней вертикальной оси $N_{зд,р}$, на которой определяется доля разрушенных зданий в очаге поражения.

3. Определяется доля разрушенных зданий при прицельном воздействии (по соответствующей номограмме (рис. 2, 3).

3.1. Выполняется пункт 2.1 для определения расчетного количества зданий в очаге поражения.

3.2. Результат, полученный по п. 3.1, откладывается на вертикальной оси $N_{зд}$, и в поле Г проводится горизонтальная линия до пересечения с линией, соответствующей значению β (см. исходные данные).

3.3. Из точки пересечения проводится вертикальная линия в поле В до пересечения с линией, соответствующей величине степени разрушения зданий $G_{пр}$, затем из точки пересечения проводится горизонтальная линия до нижней вертикальной оси $N_{зд,р}$, на которой определяется математическое ожидание доли разрушенных зданий *i*-го типа в очаге поражения.

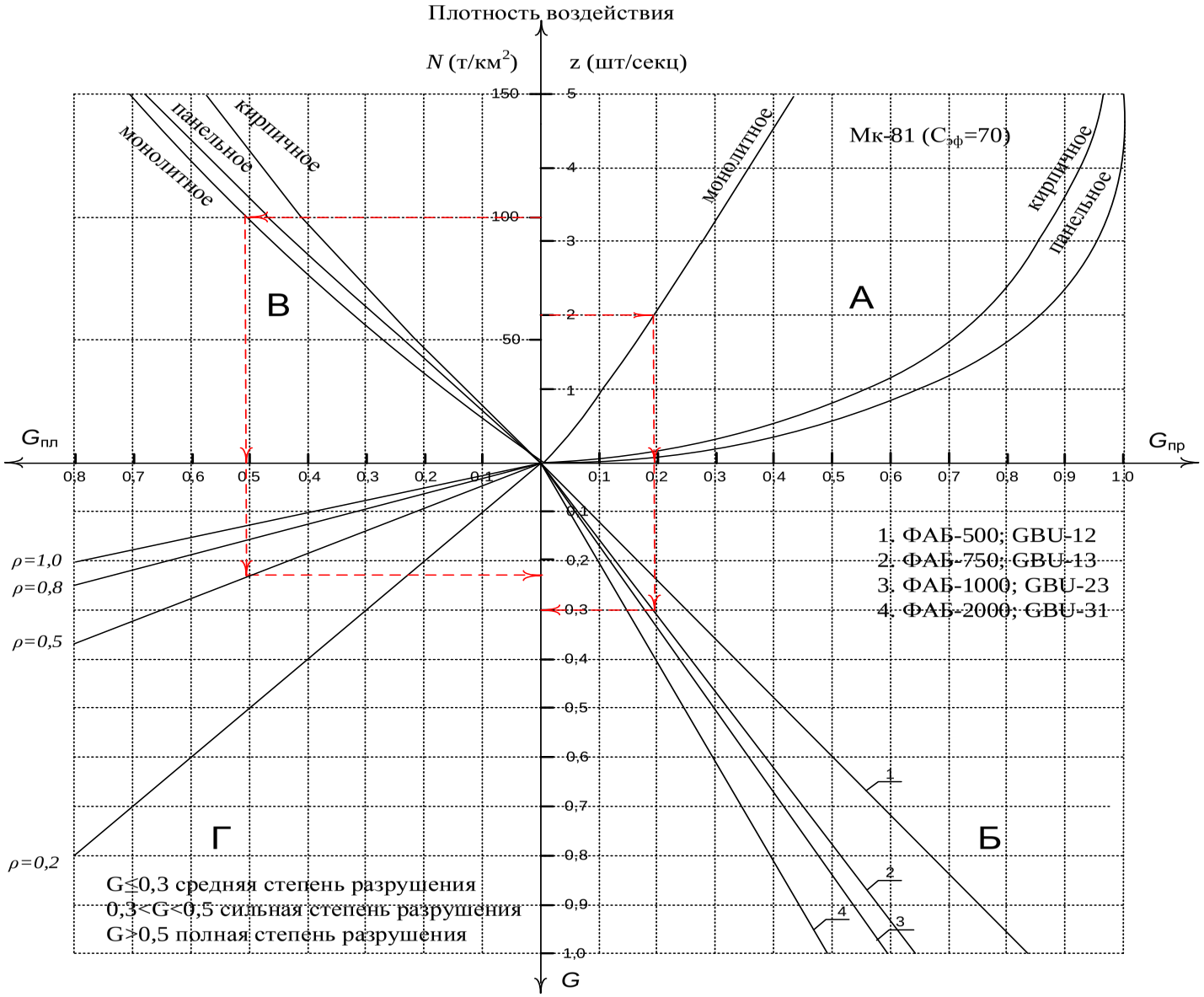


Рис. 5. **Номограмма для определения степеней разрушения зданий**

4. Степень поражения жилой зоны (доля разрушенных зданий в очаге поражения) определяется в зависимости от способа бомбометания:

– при площадном: $$Д = \sum_{i=1}^{m} \frac{N_{зд.,p,i}}{N_{зд}} \alpha_i \; ;$$

– при прицельном: $$Д = \sum_{i=1}^{m} \frac{N_{зд.,p,i}}{N_{зд}} \beta_i \; ,$$

где $N_{зд,pi}$ – математическое ожидание доли разрушенных зданий *i*-го типа в очаге поражения; α_i – доля зданий *i*-го типа в очаге поражения (3); β_i – доля зданий *i*-го типа в очаге поражения по которым возможно прицельное воздействие (2); *m* – количество типов зданий в жилой зоне.

Инженерная методика позволяет в 10–15 раз сократить время на расчеты по прогнозированию степеней разрушения любых кирпичных, панельных и монолитных зданий при различных вариантах как прицельного, так и площадного воздействия боеприпасами любого калибра.

Заключение

Выполнена оценка степени достижения поставленной цели – повышение точности прогнозирования объемов аварийно-восстановительных работ в результате воздействия ОСП по жилым зонам городов и объектов экономики. Использование разработанных научно-методических подходов позволяет обосновывать решения по повышению устойчивости функционирования кирпичных, панельных и монолитных зданий в условиях воздействия ОСП и по совершенствованию их конструкций.

Список источников

1. Средства поражения и боеприпасы / А.А. Бабкин [и др.]. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. 984 с.

2. Балаганский И.А., Мержневский Л.А. Действие средств поражения и боеприпасов. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2004. 408 с.

3. Физика взрыва / под ред. Л.П. Орленко. 3-е изд., перераб; в 2 т. М.: Физматлит, 2002. Т. 1. 832 с.

4. Физика взрыва / под ред. Л.П. Орленко. 3-е изд., перераб; в 2 т. М.: Физматлит, 2002. Т. 2. 656 с.

5. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Системные исследования чрезвычайных ситуаций: монография / под ред. Н.А. Махутова. М.: МГОФ «Знание», 2015. 864 с. EDN VOQBRF.

6. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Научные основы техногенной безопасности: монография / под ред. Н.А. Махутова. М.: МГОФ «Знание», 2015. 936 с. EDN UFPJBT.

7. Безопасность России. Безопасность и защищенность критически важных объектов. Часть 1: Научные основы безопасности и защищенности критически важных для национальной безопасности объектов / Н.А. Махутов [и др.]. М.: МГОФ «Знание», 2012. 896 с.

8. Седнев Ал.В. Защита коммерческой информации как составляющая обеспечения безопасности государства // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. 2023. № 1.

9. Котляревский В.А., Ларинов В.И., Сущев С.П. Энциклопедия безопасности: строительство, промышленность, экология: в 3 т.: Т. 1: Аварийный риск. Взрывные и ударные воздействия / под ред. В.А. Котляревского. М.: Наука, 2005. 687 с.

10. Седнев Ан.В., Кошевой В.С. Мероприятия реагирования после применения вооруженной силы иностранным государством // Гражданская оборона на страже мира и безопасности: в 3-х ч. 2020. Ч. 1. С. 241–245.

11. Седнев А.В., Седнев В.А., Кошевой В.С. Особенности мер, подлежащих реализации на территории страны после применения вооруженной силы иностранным государством // 75-летие Великой Победы: исторический опыт и современные проблемы военной безопасности России: в 2 т. М., 2020. Т. 1. С. 344–348.

12. Седнев В.А., Седнев А.В. Алгоритм организации и обеспечения безопасности проведения пиротехнических работ при разминировании территории памятника фортификационного искусства // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. 2021. № 2. С. 35–58.

13. Седнев В.А., Седнев А.В. Научно-методический подход организации работ по разминированию территории памятника фортификационного искусства // Проблемы управления рисками в техносфере. 2021. № 3 (59). С. 59–75.

14. Кошевая Е.И. Методика определения степеней разрушения зданий при действии обычных средств поражения: материалы VI Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. Всемирному дню гражданской обороны: в 4 ч. М.: Академия ГПС МЧС России, 2022. Ч. I. С. 167–176.

15. Котляревский В.А., Ларионов В.И., Сущев С.П. Энциклопедия безопасности: строительство, промышленность, экология: в 3 т. Т. 2: Законы поражения. Прочность и динамика сооружений. М.: Изд-во АСВ, 2008. 640 с.

References

1. Sredstva porazheniya i boepripasy / A.A. Babkin [i dr.]. M.: Izd-vo MGTU im. N.E. Baumana, 2008. 984 s.

2. Balaganskij I.A., Merzhnevskij L.A. Dejstvie sredstv porazheniya i boepripasov. Novosibirsk: Izd-vo NGTU, 2004. 408 s.

3. Fizika vzryva / pod red. L.P. Orlenko. 3-e izd., pererab; v 2 t. M.: Fizmatlit, 2002. T. 1. 832 s.

4. Fizika vzryva / pod red. L.P. Orlenko. 3-e izd., pererab; v 2 t. M.: Fizmatlit, 2002. T. 2. 656 s.

5. Bezopasnost' Rossii. Pravovye, social'no-ekonomicheskie i nauchno-tekhnicheskie aspekty. Sistemnye issledovaniya chrezvychajnyh situacij: monografiya / pod red. N.A. Mahutova. M.: MGOF «Znanie», 2015. 864 s. EDN VOQBRF.

6. Bezopasnost' Rossii. Pravovye, social'no-ekonomicheskie i nauchno-tekhnicheskie aspekty. Nauchnye osnovy tekhnogennoj bezopasnosti: monografiya / pod red. N.A. Mahutova. M.: MGOF «Znanie», 2015. 936 s. EDN UFPJBT.

7. Bezopasnost' Rossii. Bezopasnost' i zashchishchennost' kriticheski vazhnyh ob"ektov. Chast' 1: Nauchnye osnovy bezopasnosti i zashchishchennosti kriticheski vazhnyh dlya nacional'noj bezopasnosti ob"ektov / N.A. Mahutov [i dr.]. M.: MGOF «Znanie», 2012. 896 s.

8. Sednev Al.V. Zashchita kommercheskoj informacii kak sostavlyayushchaya obespecheniya bezopasnosti gosudarstva // Problemy bezopasnosti i chrezvychajnyh situacij. 2023. № 1.

9. Kotlyarevskij V.A., Larinov V.I., Sushchev S.P. Enciklopediya bezopasnosti: stroitel'stvo, promyshlennost', ekologiya: v 3 t.: T. 1: Avarijnyj risk. Vzryvnye i udarnye vozdejstviya / pod red. V.A. Kotlyarevskogo. M.: Nauka, 2005. 687 s.

10. Sednev An.V., Koshevoj V.S. Meropriyatiya reagirovaniya posle primeneniya vooruzhennoj sily inostrannym gosudarstvom // Grazhdanskaya oborona na strazhe mira i bezopasnosti: v 3-h ch. 2020. Ch. 1. S. 241–245.

11. Sednev A.V., Sednev V.A., Koshevoj V.S. Osobennosti mer, podlezhashchih realizacii na territorii strany posle primeneniya vooruzhennoj sily inostrannym gosudarstvom // 75-letie Velikoj Pobedy: istoricheskij opyt i sovremennye problemy voennoj bezopasnosti Rossii: v 2 t. M., 2020. T. 1. S. 344–348.

12. Sednev V.A., Sednev A.V. Algoritm organizacii i obespecheniya bezopasnosti provedeniya pirotekhnicheskih rabot pri razminirovanii territorii pamyatnika fortifikacionnogo iskusstva // Problemy bezopasnosti i chrezvychajnyh situacij. 2021. № 2. C. 35–58.

13. Sednev V.A., Sednev A.V. Nauchno-metodicheskij podhod organizacii rabot po razminirovaniyu territorii pamyatnika fortifikacionnogo iskusstva // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2021. № 3 (59). S. 59–75.

14. Koshevaya E.I. Metodika opredeleniya stepenej razrusheniya zdanij pri dejstvii obychnyh sredstv porazheniya: materialy VI Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., posvyashch. Vsemirnomu dnyu grazhdanskoj oborony: v 4 ch. M.: Akademiya GPS MCHS Rossii, 2022. Ch. I. S. 167–176.

15. Kotlyarevskij V.A., Larionov V.I., Sushchev S.P. Enciklopediya bezopasnosti: stroitel'stvo, promyshlennost', ekologiya: v 3 t. T. 2: Zakony porazheniya. Prochnost' i dinamika sooruzhenij. M.: Izd-vo ASV, 2008. 640 s.

Информация о статье:
Статья поступила в редакцию: 10.02.2023; одобрена после рецензирования: 01.03.2023; принята к публикации: 08.03.2023
Information about the article:
The article was submitted to the editorial office: 10.02.2023; approved after review: 01.03.2023; accepted for publication: 08.03.2023

Информация об авторах:
Седнев Владимир Анатольевич, профессор кафедры гражданской обороны, защиты населения и территорий Академии ГПС МЧС России (129366, Москва, ул. Бориса Галушкина, д. 4), доктор технических наук, профессор, заслуженный работник высшей школы Российской Федерации, почетный работник науки и техники Российской Федерации, лауреат премии Правительства Российской Федерации в области науки и техники, лауреат премии Правительства Российской Федерации в области образования, e-mail: sednev70@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-4922-430X
Кошевая Елена Ивановна, доцент кафедры гражданской обороны, защиты населения и территорий Академии ГПС МЧС России (129366, Москва, ул. Бориса Галушкина, д. 4), кандидат технических наук, доцент, e-mail: e.i.koshevaya@mail.ru
Седнев Анатолий Владимирович, студент Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана (национального исследовательского университета) (105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5), e-mail: stolya2000@mail.ru

Information about authors:
Sednev Vladimir A., professor of the department of population and territory protection of the Academy of the State fire service of EMERCOM of Russia (129366, Moscow, Boris Galushkin st., 4), doctor of technical sciences, professor, honored worker of the higher school of the Russian Federation, honored worker of science and technology of the Russian Federation, laureate of the prize of the Government of the Russian Federation in the region science and technology, laureate of the prize of the Government of the Russian Federation in the field of education, e-mail: sednev70@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-4922-430X
Kosheva Elena I., associate professor of the department of civil defense, protection of the population and territories of the Academy of the State fire service of EMERCOM of Russia (129366, Moscow, Boris Galushkin str., 4), candidate of technical sciences, associate professor, e-mail: e.i.koshevaya@mail.ru
Sednev Anatoly V., student of the Moscow state technical university. N.E. Bauman (national research university) (105005, Moscow, 2nd Baumanskaya st., 5), e-mail: stolya2000@mail.ru

БЕЗОПАСНОСТЬ КРИТИЧЕСКИ ВАЖНЫХ И ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ

Научная статья
УДК 004.7+004.9+343

АЛГОРИТМ ИНФОРМАЦИОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ РУКОВОДИТЕЛЕЙ ЛИКВИДАЦИИ ЧРЕЗВЫЧАЙНОЙ СИТУАЦИИ И КОНТРТЕРРОРИСТИЧЕСКОЙ ОПЕРАЦИИ

✉**Метельков Александр Николаевич.**
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия
✉***metelkov5178@mail.ru***

Аннотация. В 2022 г. в условиях обострения международной обстановки особую актуальность представляет проблема скоординированного системного реагирования на ядерные и иные угрозы. В работе впервые автором поставлен и исследуется сложный вопрос взаимодействия двух государственных систем – единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций и Общегосударственной системы противодействия терроризму в Российской Федерации при пресечении акта ядерного терроризма и ликвидации, возникшей в результате его совершения, чрезвычайной ситуации радиационного характера. Автором на основе правовой модели действий должностных лиц, принимающих решения по проведению контртеррористической операции и ликвидации чрезвычайной ситуации, предложен алгоритм информационного взаимодействия руководителей ликвидации чрезвычайной ситуации и контртеррористической операции. В статье с использованием ситуационного анализа и моделирования развития кризисных явлений выделена общая основа взаимодействия таких систем, базирующаяся на объективной стороне террористической деятельности, которая обычно проявляется во взрывах, пожарах и иной противоправной деятельности.

Ключевые слова: террористический акт, взрыв, пожар, радиационная авария, радиоактивное заражение, последствия, чрезвычайная ситуация, чрезвычайное положение, ликвидация, алгоритм

Для цитирования: Метельков А.Н. Алгоритм информационного взаимодействия руководителей ликвидации чрезвычайной ситуации и контртеррористической операции // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2023. № 1. С. 17–28.

Scientific article

THE ALGORITHM OF INFORMATION INTERACTION BETWEEN THE HEADS OF EMERGENCY RESPONSE AND COUNTER-TERRORISM OPERATIONS

✉**Metel'kov Alexander N.**
Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia
✉***metelkov5178@mail.ru***

Abstract. In the context of the aggravation of the international situation in 2022, the problem of a coordinated systemic response to nuclear and other threats is of particular relevance. In this paper, for the first time, the author poses and examines the complex issue of interaction between two state systems – the unified state system for the prevention and liquidation of emergency situations

© Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2023

and the National system for countering terrorism in the Russian Federation in the suppression of an act of nuclear terrorism and the elimination of a radiation emergency that arose as a result of it. Based on the legal model of the actions of officials who make decisions on conducting a counter-terrorist operation and liquidating an emergency, the author proposes an algorithm for information interaction between the leaders of emergency situations and counter-terrorist operation. Based on modeling and situational analysis, the article highlights the general basis for the interaction of such systems, based on the objective side of terrorist activity, which usually manifests itself in explosions, fires and other illegal activities.

Keywords: terrorist act, explosion, fire, radiation accident, radioactive contamination, consequences, emergency situation, emergency situation, liquidation, algorithm

For citation: Metel'kov A.N. The algorithm of information interaction between the heads of emergency response and counter-terrorism operations // Scientific and analytical journal «Vestnik Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia». 2023. № 1. P. 17–28.

Введение

В Стратегии национальной безопасности Российской Федерации отмечено, что критическое состояние физической сохранности опасных объектов и материалов, особенно в государствах с нестабильной внутриполитической ситуацией, неконтролируемое распространение ядерного вооружения увеличивают вероятность попадания радиоактивных материалов и ядерного оружия в руки террористов. Ядерную опасность для мирового сообщества могут представлять злонамеренные действия террористических групп. В первую очередь речь идет о «представителях фанатичных религиозных сект или экстремистских организаций…, сумевших захватить ядерные боеприпасы в тех странах, на территории которых размещается ядерное оружие» [1, с. 30]. Теория катастроф и аварий предполагает существование сбоев в сложных технических системах, в которых применяются опасные технологии. К физическому разрушению оборудования привели компьютерные атаки на информационные системы управления ядерными и радиационно опасными объектами, как показывают результаты воздействия компьютерного вируса Stuxnet на локальную сеть ядерного объекта в г. Натанзе в 2009 г., 11 апреля 2021 г. внешними деструктивными силами инициирована авария на ядерном объекте Ирана, которая оценена руководством государства в качестве акции ядерного терроризма. В 2022 г. обстрелы крупнейшей в Европе Запорожской АЭС украинскими вооруженными формированиями и подрыв украинскими диверсантами опор высоковольтных линий электропередач Курской АЭС политики и специалисты не без оснований относят к актам ядерного терроризма. В условиях возрастания рисков техногенных катастроф и сохранения военных опасностей тенденция усугубления воздействия взаимосвязанных проблем требует проработки многовариантных последствий для выработки рекомендаций по «совершенствованию государственной системы противодействия, ориентированной на смягчение и/или преодоление угроз возникновения прогнозируемых чрезвычайных и кризисных ситуаций…, террористических актов при отработке стратегических решений» [2, с. 85]. Поэтому с учетом современных угроз в обеспечении национальной безопасности очевидна актуальность и значимость не только предотвращения проявлений ядерного терроризма, но и минимизации их возможных последствий. Модель, алгоритм и программа определяют наукоёмкость современных информационных технологий, обеспечивающих антитеррористическую деятельность и работу по ликвидации чрезвычайных ситуаций (ЧС). Алгоритмизация процесса поддержки принятия соответствующими должностными лицами важных организационно-правовых управленческих решений в минимизации и ликвидации возможных последствий актов ядерного терроризма может способствовать повышению сложной коллективной деятельности в условиях неопределенности динамичной обстановки с использованием правовых режимов чрезвычайного положения (ЧП), контртеррористической операции (КТО) и режима ЧС.

Методы исследования

Для предотвращения и минимизации последствий актов ядерного терроризма в России существуют и могут быть применены специальные правовые режимы военного положения, ЧП и КТО, а также режим ЧС. В условиях введения таких режимов и возможности функционирования двух и более государственных систем усложняются процессы управления. Для их эффективного использования в быстро изменяющейся обстановке использован метод анализа взаимодействия сложных систем.

Цифровая трансформация затрагивает сферу информационного взаимодействия субъектов и информационных систем и аппаратно-программных комплексов Общегосударственной системы противодействия терроризму в Российской Федерации (ОГСПТ) и единой системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (РСЧС) по задачам, связанным с минимизацией и (или) ликвидацией последствий терактов и иных проявлений терроризма. Для организации такого взаимодействия могут использоваться методы «описания предметной области, создания и ведения баз данных, ведения диалога и разработки интерфейса взаимодействия, обучения, разработки алгоритмов и стратегий вывода интеграции экспертных систем со смежными системами» [3, с. 75]. В статье в целях решения задач, общих для рассматриваемых двух сложных систем, информационное взаимодействие на основе данных о радиационной обстановке с использованием метода декомпозиции прогнозируемой ситуации и анализа радиационного риска мониторинга будет способствовать улучшению функционирования каждой системой «при объединении сил и средств в единое целое» [4, с. 71]. В условиях неопределенности оперативной обстановки, складывающейся при угрозе совершения или при совершении акта ядерного терроризма, методы компьютерного моделирования и визуализации динамичной обстановки, межмашинного обмена значимой информацией и моделирования процесса принятия правовых управленческих решений на основе определенного алгоритма позволяют органам управления КТО и ликвидацией ЧС эффективнее использовать ограниченные силы и средства, реализовывать предусмотренные законодательством меры.

Алгоритм управления ликвидацией последствий радиационной аварии вследствие акта ядерного терроризма

35 лет назад крупномасштабная авария на Чернобыльской атомной электростанции (ЧАЭС) привела к выпадению радионуклидов на Европейской части СССР и высветила серьезные изъяны в решении организационных проблем обеспечения готовности государства к реагированию на крупномасштабные кризисные ситуации радиационного характера во всех основных звеньях управления. Одной из главных причин стало практически полное отсутствие единой и заранее отработанной государственной системы действий по осуществлению противоаварийных мер и мероприятий различных служб в ранней и промежуточной фазах аварии.

В научной литературе выделяют критерии, определяющие сложность принятия управленческого решения. К ним, в частности, относят время на принятие решения, уровень компетентности лиц, принимающих решение, наличие альтернативных решений, а также «достаточность, актуальность и достоверность поступившей информации» [3, с. 71]. В условиях совершения актов терроризма с возможными радиационными последствиями появляется критерий четкости организационно-правовых условий для введения одного из правовых режимов, направленных на решение задач противодействия терроризму и ликвидации ЧС.

Ядерный терроризм как социально-политическое явление и наиболее опасная разновидность технологического терроризма представляет угрозу национальной безопасности [5]. В научной литературе исследователи по-разному описывают ядерный и радиационный (радиологический) терроризм [6, 7]. В частности, П.В. Комаровым уделяется внимание разграничению ядерного и радиационного «(радиологического) терроризма и предлагается по механизму и источнику причинения вреда, по масштабу и характеру вредных

последствий, по мерам противодействия, по степени возможности (реальности) совершения» [8, с. 12].

Рост угрозы актов ядерного терроризма обусловлен обострением международной обстановки, доступностью информации о ядерной технологии, увеличением числа специалистов с опытом работы в ядерной энергетике, «накоплением в развитых странах расщепляющихся материалов, пригодных для использования в атомных бомбах» [9, с. 35]. Создаваемые актами ядерного терроризма риски связаны с ядерным оружием, радиационно опасными объектами и «грязными бомбами». В силу недостаточной охраны или естественных предпосылок отдельные ядерные энергетические реакторы уязвимы для групповых террористических нападений. В 2016 г. бельгийские спецслужбы при учебной отработке моделируемых сценариев атаки террористов на АЭС «Тианж» подтвердили это предположение. Нападение на АЭС «Тианж» ранее готовилось смертниками – братьями Бакрауи, совершившими самоподрыв в метро и аэропорту Брюсселя [10, с. 38].

Акт ядерного терроризма – это событие, при котором террористическая организация или иные субъекты терроризма используют ядерную бомбу или радиоактивные материалы для массовых убийств и разрушений. Кроме того, такая форма терроризма включает применение оружия или угрозу его применения на основе деления радиоактивных материалов, а также нападения на АЭС с целью нанесения огромного и непоправимого ущерба окружающей среде. В случае нападения на АЭС террористической организации не требуется разработка или обладание ядерной бомбой, которая могла бы причинить большой вред и самим злоумышленникам. Для реализации замысла террористы могут применить обычное оружие против одного из многочисленных ядерных реакторов в мире, серьезно повредить его для выброса радиоактивных веществ в атмосферу, чтобы подвергнуть опасности большое количество людей [11, с. 491]. По мнению ряда экспертов, хорошо подготовленная группа боевиков может проникнуть даже в хранилище ядерных материалов и боезарядов. Подтверждением этому служат проникновения похитителей на охраняемые ядерные объекты в Пелиндабе (ЮАР, 2008 г.) и в г. Мурманске (1993 г.).

Версия теракта как причина крупнейшей за всю историю атомной энергетики аварии на ЧАЭС прорабатывалась глубоко. Руководивший оперативной группой КГБ СССР по войскам чернобыльской зоны А. Ткачук отметил, что все версии взрыва реактора анализировались разными специалистами, изучалась вся история строительства и эксплуатации АЭС. После расследования причиной аварии назвали «действия персонала четвертого энергоблока, человеческий фактор, который завел реактор в состояние, когда взрыв был неизбежен» [12]. Последствия катастрофы, вызванные попаданием радиоактивных веществ в окружающую среду, продолжают напоминать о себе и сегодня.

Российские АЭС, как подчеркнул 9 февраля 2021 г. на открытой части заседания Национального антитеррористического комитета (НАК) его председатель, надежно защищены от посягательств террористов. Для этого был принят целый комплекс мер: все объекты оснастили инженерно-техническими средствами, повышена и степень готовности сил быстрого реагирования в случае угрозы теракта. В целях недопущения таких угроз постоянно совершенствуется система защиты. Состояние работы по обеспечению антитеррористической защищенности этих объектов и меры по повышению эффективности регулярно рассматриваются на заседаниях НАК, поскольку сосредоточенность устремлений террористов на ядерных объектах обусловлена тем, что вмешательство в их деятельность может привести к гибели большого количества людей, нанести значительный экономический и экологический ущерб.

Вместе с тем в литературе высказываются и точки зрения о том, что система управления при радиационных авариях, несмотря на значительную работу, проделанную по ее совершенствованию, еще остается относительно слабым звеном в общей системе организации спасательных работ, а действующая система оповещения и информирования населения об опасности радиационных аварий (за исключением АЭС и некоторых других объектов) еще не обеспечивает своевременного доведения этой информации до населения.

Среди источников опасности для социально-экономических систем наибольшую настороженность и тревогу вызывают ядерные и радиационные аварии, особенно аварии на АЭС (наиболее крупные в Англии – на ядерном реакторе по производству плутония в Уиндскейле, 1957 г.; хранилище на Южном Урале, 1957 г.; в США – Три-Майл-Айленд, 1979 г.; в СССР – г. Чернобыль, 1986 г.; на Сибирском химической комбинате в 1993 г.) [13, с. 16]. На преодоление последствий Чернобыльской катастрофы ежегодно затрачивается около 20 % бюджета Белоруссии, до 12 % – Украины, около 1 % – России [14, с. 309]. Авария на ЧАЭС показала, что ядерные техногенные катастрофы в результате радиоактивного загрязнения окружающей среды неизбежно ведут к глобальным последствиям для экологии планеты. Высказываются предположения, что «ликвидация всех ее последствий невозможна, ибо они вечны» [1, с. 78, 79]. Однако следует при этом подчеркнуть, что «с ядерной и радиационной аварией такой степени сложности, с такими высокими уровнями радиационной опасности и с такими огромными масштабами радиоактивных загрязнений человечество в своей истории еще не сталкивалось» [15, с. 37]. Возможности использования ядерного материала при его попадании во владение террористов представляют «огромную опасность для государств» [16, с. 887]. При ядерном взрыве и авариях на АЭС, а также в процессе других ядерных превращений образуется большое количество радиоактивных веществ.

Обеспечение эффективного функционирования и развития РСЧС по предотвращению и ликвидации радиационных аварий детерминируется соответствием структуры системы решаемых задач, уровнем готовности и эффективности деятельности ее территориальных и функциональных подсистем. Важным фактором минимизации и ликвидации последствий террористических проявлений является обеспечение готовности оперативных штабов в субъектах Российской Федерации, пунктов управления РСЧС, центров управления в кризисных ситуациях к реагированию на различные сценарии развития ЧС, вызванные, в том числе, актами ядерного терроризма.

Составной частью управления радиационной безопасностью на основе мониторинга радиационной обстановки является анализ радиационного риска. Основные задачи такого анализа заключаются в представлении руководителям КТО и ликвидации последствий ЧС радиационного характера:

– объективной информации об уровнях радиационного риска, обусловленного радиоактивным загрязнением окружающей среды;

– сведений о наиболее значимых путях радиационного воздействия;

– аргументированных предложений об оптимизации регламентов мониторинга радиационной обстановки для оценки приемлемости или необходимости уменьшения радиационного риска.

Результаты анализа радиационного риска позволяют идентифицировать факторы радиационного воздействия, произвести их ранжирование по уровням радиационного риска, организовать мониторинг радиационной обстановки в районе расположения радиационно опасного объекта, на радиоактивно загрязнённой территории, на территории проведения КТО, в зоне ЧС. Кроме того, обеспечивается возможность достоверной оценки последствий радиационных аварий и принятие адекватных складывающейся обстановке мер по преодолению их негативного влияния на население и окружающую среду, а также оптимизируются защитные меры по обеспечению приемлемого уровня радиационного риска на рассматриваемых территориях.

Повышению эффективности информационного взаимодействия с учетом всего спектра актов ядерного терроризма и иных угроз способствует развитие системы мониторинга, лабораторного контроля и прогнозирования ЧС радиационного характера путем улучшения ее организации, методологии, технического оснащения, автоматизации сбора, обработки и передачи информации, мониторинга состояния критически важных и потенциально опасных объектов, мест массового пребывания людей.

План взаимодействия аварийно-спасательных образований при ликвидации радиационной аварии предусматривает организацию совместных действий сил и средств Минобороны России, МЧС России, Минтранс России, ФСБ России, Ростехнадзора, Госкорпорации «Росатом», других министерств и ведомств, органов государственной исполнительной власти, «Правительственной комиссии по чрезвычайным ситуациям, а также аварийного объекта радиационной опасности, аварийно-спасательных формирований с робототехническими средствами МЧС России, Минобороны России, ГК «Росатом», ФСБ России и Минтранс России» [17, с. 299].

Организованный перевод территориальной и функциональных подсистем РСЧС в режим ЧС в условиях возникновения угрозы радиационной аварии вследствие террористического акта, а главное – гарантия своевременности и полноты выполнения всех необходимых мероприятий, согласованных с действиями сил и средств, выделенных для пресечения террористического акта в рамках первоочередных мероприятий и КТО, достигаются заблаговременной разработкой алгоритмов действий руководителей органов управления в условиях возникновения наиболее вероятных террористических посягательств и ЧС для непосредственного радиационно опасного и иного объекта. Алгоритм представляет собой процедуру, основанную на выполнении ряда следующих друг за другом шагов. Выработка таких алгоритмов скоординированных совместных действий является актуальной задачей, обеспечивающей взаимодействие информационных систем и межмашинный обмен значимой для сторон информацией на основе интегрированной или распределенной баз данных.

Радиационная авария характеризуется потерей управления источником ионизирующего излучения. Нельзя исключать, что такая потеря может быть вызвана террористическими проявлениями или иными причинами. Следствием приведенных причин может быть облучение спасателей, пожарных, других участников минимизации последствий террористических актов и ликвидации ЧС выше установленных норм или к радиоактивному загрязнению окружающей среды. При аварии загрязнение обусловливается выделением в процессе ядерной реакции непрореагировавших элементов и продуктов деления, а также образованием различных радиоактивных материалов и предметов в результате их облучения. Лучевая болезнь развивается под влиянием альфа-, бета- и гамма- ионизирующих излучений. Опасность воздействия радиации на человека связана с нарушением жизненных функций органов кроветворения, нервной системы, желудочно-кишечного тракта.

Радиационное воздействие и загрязнение являются доминирующими поражающими факторами радиационных аварий, которые могут сопровождаться взрывами и пожарами. Взрывы и пожары являются объективными проявлениями террористических актов, а террористические акты могут иметь последствия в форме радиационных аварий. Террористический акт определяется согласно ст. 205 Уголовного кодекса Российской Федерации и Федеральному закону от 6 марта 2006 г. № 35-ФЗ «О противодействии терроризму» (№ 35-ФЗ). КТО представляет собой комплекс мероприятий, в том числе «по обеспечению безопасности физических лиц, организаций и учреждений, а также по минимизации последствий террористического акта» [18].

Общность последствий актов ядерного терроризма с другими ЧС радиационного характера предопределяет интегрированный государственный подход к реагированию на данные явления. Сами ЧС техногенного характера, чрезвычайные экологические ситуации, возникшие в результате радиационных аварий и катастроф в соответствии с Федеральным конституционным законом от 30 мая 2001 г. № 3-ФКЗ «О чрезвычайном положении» (ФКЗ № 3-ФКЗ), могут быть отнесены к обстоятельствам введения чрезвычайного положения.

Любая задача может быть сформулирована как функция преобразования исходных данных в выходные данные:

$$f(X, E)=Y.$$

Принимая во внимание, что в системе реагирования исполнительный механизм включает не только человека, но и взаимодействующие информационные системы, запись полностью формализовать практически невозможно.

Для обеспечения ясности и наглядности автором может быть использована словесная формула записи и обобщённая схема алгоритма.

Шаг алгоритма, связанный с присвоением нового значения некоторой переменной (x – число жертв, y – условия радиационной обстановки), преобразование некоторого значения с целью получения другого значения изображается символом «процесс» E.

Выбор направления выполнения алгоритма в зависимости от некоторых переменных условий (реальной угрозы радиационной аварии, гибели пяти и более человек и др.) предопределяется наличием правовых оснований для принятия того или иного решения соответствующим уполномоченным субъектом реагирования в отношении реагирования на последствия террористического акта и радиационную аварию.

Запишем в форме алгоритма один из подходов к решению задачи организации пресечения террористического акта и ликвидации последствий ЧС, сложившейся вследствие осуществления террористами взрыва, поджога или иных действий. Такие действия могут носить устрашающий население характер с целью дестабилизации деятельности органов власти или международных организаций, воздействия на принятие ими решений. Они могут создавать опасность гибели человека, причинения значительного имущественного ущерба либо наступления иных тяжких последствий.

Ключевым подходом в алгоритмизации является сведение задачи к подзадачам путем преобразования одного шага в последовательность элементарных шагов. ЧС и ее ликвидация рассматриваются с позиций Федерального закона от 21 декабря 1994 г. № 68-ФЗ «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера» (ФЗ № 68-ФЗ), а пресечение акта ядерного терроризма через призму ФЗ № 35-ФЗ. Частным задачам ликвидации последствий ЧС радиационного характера и пресечению акта ядерного терроризма соответствуют простые шаги. Их совокупное выполнение приводит к решению важной исходной задачи – обеспечению безопасности государства, личности и общества, защиты населения и территорий. Принимая во внимание, что исполнителем будет не только человек, но и информационная система, запись полностью формализовать практически невозможно. Для обеспечения ясности и наглядности может быть использована словесная формула записи и обобщённая схема алгоритма (рис.). Схема – это абстракция какого-либо процесса или системы, наглядно отображающая наиболее значимые части. Блок-схема представляет собой совокупность символов, соответствующих этапам работы алгоритма и соединяющих их линий.

В целях организации системного реагирования на кризисную ситуацию автором разработана общая схема алгоритма взаимодействия двух систем: ОГСПТ и РСЧС. При этом зона ЧС (территория, на которой сложилась ЧС, и территория проведения КТО) может как совпадать, так и не совпадать.

Шаг 1. Начало работы алгоритма.

Шаг 2. Поступление первичной и уточненной информации о происшествии, доведение ее до компетентных государственных органов.

Шаг 3. Обобщение и анализ поступивших сведений о радиационной обстановке. Оценка поступившей информации на предмет наличия реальной угрозы возникновения радиационной аварии.

Шаг 4. Если выявлены существенные изменения в радиационной обстановке, подтверждающие факт радиоактивного выброса и заражения объектов и территорий, то переходим к шагу 5. Если нет, то к шагу 8.

Шаг 5. Сопоставление выявленных признаков развития ситуации с правовой моделью «чрезвычайная ситуация». Если выявлены признаки возникновения ЧС, то переходим к шагу 6, если нет, то возвращаемся к шагу 3.

Шаг 6. Введение режима ЧС, установление зоны ЧС, проведение аварийно-спасательных работ.

Шаг 7. Реализация оптимального варианта действий с использованием возможностей режимов ликвидации ЧС, КТО и ЧП.

Шаг 8. Анализ поступивших сведений о деяниях субъектов и выделение целей их действий. К таким деяниям могут быть отнесены взрыв, поджог или другие действия, которые устрашают население и создают опасность гибели человека, причинения значительного имущественного ущерба либо наступления иных тяжких последствий. Синтез модели проведения первоочередных мер и специальной операции и принятие соответствующих решений. Анализ модели. Моделирование радиационной обстановки. Расчет времени нахождения в средствах радиационной защиты на зараженной территории и в помещениях.

Шаг 9. Получение информации о наличии цели дестабилизации деятельности органов власти или международных организаций либо воздействия на принятие ими решений, а также об угрозе «совершения взрыва, поджога или иных действий, устрашающих население и создающих опасность гибели человека, причинения значительного имущественного ущерба либо наступления иных тяжких последствий в тех же целях» [18]. Если выявлены признаки, указывающие на цель дестабилизации деятельности таких органов и организаций либо воздействия на принятие ими решений, сопоставлены цели пресечения террористического акта с возможностью ограничения отдельных прав человека и гражданина, то переходим на шаг 10 алгоритма, иначе возвращаемся к шагу 3.

Шаг 10. Поиск альтернатив ответных действий и выделение критериев предпочтений в выборе формы реагирования на террористический акт.

Шаг 11. Вариация исходных данных о числе жертв, анализ вариантов собственной тактики действий. Если отмечается наличие обстоятельств, которые представляют непосредственную угрозу жизни и безопасности граждан или конституционному строю Российской Федерации и устранение которых невозможно без применения чрезвычайных мер, то переходим к шагу 12, в противном случае к шагу 13.

Шаг 12. Введение чрезвычайного положения в соответствии с порядком установленным ФКЗ № 3-ФКС при наличии обстоятельств (в их число включены и террористические акты), которые представляют собой непосредственную угрозу жизни и безопасности граждан или конституционному строю. Без применения чрезвычайных мер устранение таких обстоятельств невозможно.

Шаг 13. Реализация операции, мер и мероприятий по пресечению акта ядерного терроризма в необходимой форме. Переход к шагу 7.

Шаг 14. Конец алгоритма.

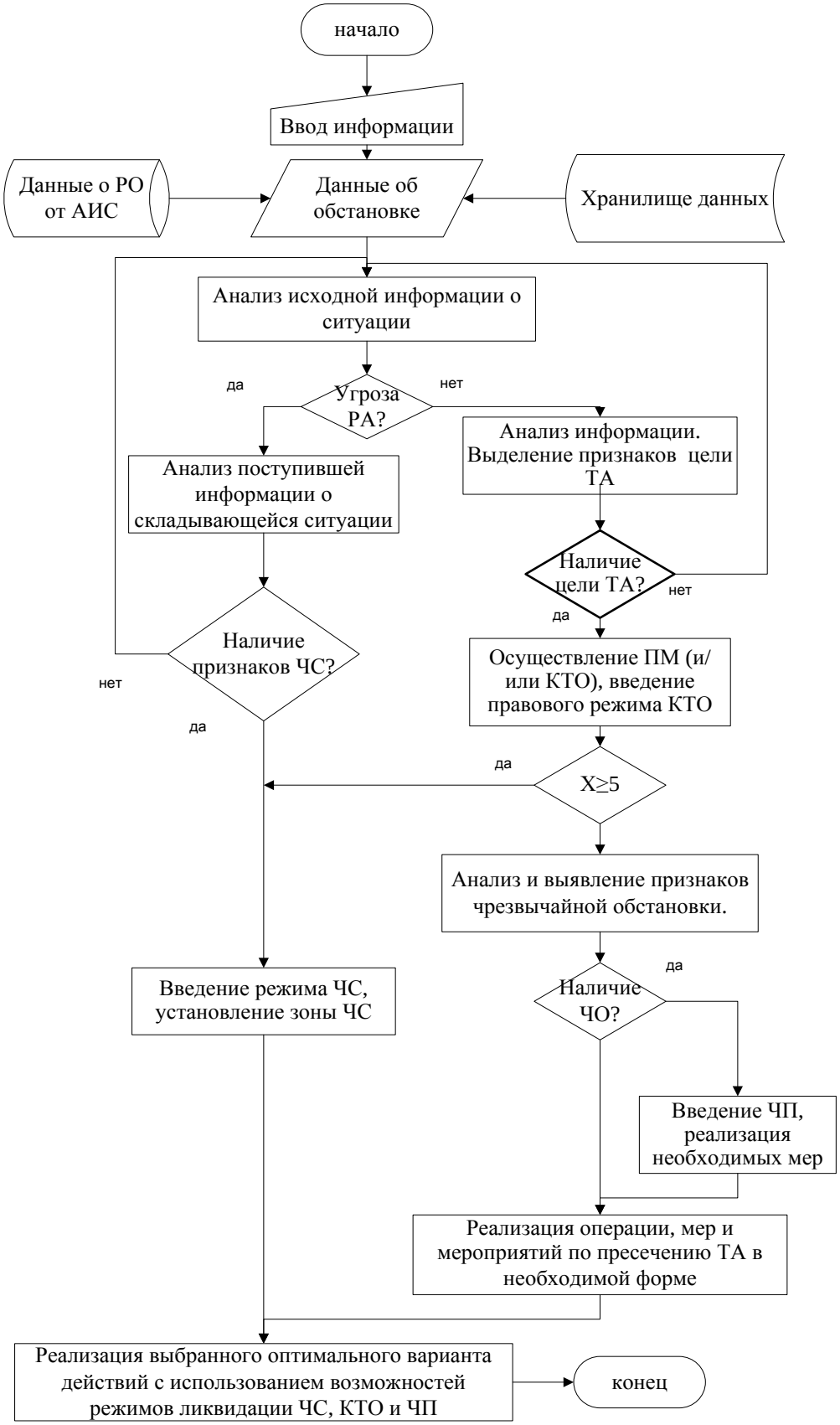


Рис. **Блок-схема алгоритма совместного реагирования на ЧС и террористический акт (ЧО – чрезвычайная обстановка, ПМ – первоочередные меры, РА – радиационная авария, РО – радиационная обстановка, ТА – террористический акт или преступление террористической направленности)**

Основные результаты

Принимая во внимание ограниченность времени для принятия решений в условиях неопределенности прогноза развития ситуации, сложный управленческий процесс в основных точках бифуркации может быть алгоритмизирован и использован в АИС и аппаратно-программных комплексах для поддержки принятия управленческих решений о введении правового режима КТО и(или) режима ЧС. В результате проведенного исследования, на основе норм, установленных в ФКС № 3-ФКС, ФЗ № 35-ФЗ, ФЗ № 68-ФЗ и других нормативных правовых актов Российской Федерации, предложен алгоритм возможных действий должностных лиц, принимающих решения о введении правового режима КТО и режима ЧС вследствие террористического акта и преступлений террористической направленности на определенной территории Российской Федерации, а также возникновения обстановки, сложившейся в результате аварии, катастрофы или бедствия, которые могут повлечь или повлекли за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или окружающей среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности населения.

Заключение

Организация взаимодействия информационной инфраструктуры, функционирующей на территориальном уровне в рамках двух государственных систем ОГСПТ и РСЧС, с соблюдением требований защиты информации может быть реализована на базе общего обновляемого в реальном масштабе времени информационного модуля об изменениях оперативной обстановки с мандатным доступом к определенным информационным массивам. Информационное взаимодействие руководителей ликвидации ЧС и КТО будет способствовать принятию более выверенных организационно-правовых управленческих решений в сфере противодействия терроризму по реализации мер, установленных российским законодательством. Разработанный общий алгоритм системы поддержки принятия решений для обеспечения взаимодействия руководителей ликвидации ЧС и КТО может использоваться для реализации мер по минимизации и ликвидации последствий проявлений терроризма в сложной обстановке.

Список источников

1. Крылова И.А. Проблема безопасности России в контексте глобалистики. М., 2001. 241 с.

2. Совершенствование организационного и технического оснащения/дооснащения сил и средств РСЧС при комплексном решении проблем адресной защиты критически важных и потенциально опасных объектов экономики / В.А. Зверьков [и др.] // Технологии гражданской безопасности. 2021. № 2. С. 84–91.

3. Деревянко Б.А. Современные методы и средства проектирования имитационных систем и систем поддержки принятия решений // Проблемы управления. 2019. Т. 2. № 3. С. 70–77.

4. Кардаш И.Л. Насильственный экстремизм и вопросы противодействия ему в системе обеспечения национальной безопасности государства // Вестник военного права. 2022. № 2. С. 16–22.

5. Метельков А.Н. Ядерный терроризм: предотвращение угрозы: монография. Мурманск: МАГУ, 2019. 388 с.

6. Метельков А.Н. Ядерный терроризм: оценка опасности ударов АЭС с воздуха // Национальная безопасность и стратегическое планирование. 2021. № 3 (35). С. 39–46. DOI: 10.37468/2307-1400-2021-3-39-46. EDN QVRKDZ.

7. Косачев К.И. Ядерный терроризм и международно-правовые механизмы борьбы с ним // Государство и право. 2004. № 8. С. 85–94.

8. Комаров П.В. Международный контроль в области нераспространения ядерного оружия: автореф. дис. … канд. юрид. наук: СПб.: С.-Петерб. гос. ун-т, 2004. 23 с.

9. Грачев С.И. Контртерроризм: базовые концепты, механизмы, технологии: автореф. дис. ... д-ра полит. наук. Н. Новгород, 2008. 63 с.

10. Пинчук А.Ю. Терроризм в условиях глобализации как фактор политической деструкции: политологический анализ: автореф. дис. … д-ра полит. наук. М., 2019. 49 с.

11. Krstić M. Tendency of using chemical, biological, radiological and nuclear weapons for terrorist purposes, Vojnotehni ČKI glasnik // Military technical courier. 2017. Vol. 65. Iss. 2. P. 481–498.

12. Генерал ФСБ рассказал о версии теракта на АЭС в Чернобыле. URL: https://www.kommersant.ru/doc/4791470 (дата обращения: 26.04.2021).

13. Измалков А.В. Управление безопасностью социально-экономических систем и оценка его эффективности. М.: Спутник+, 2003. 441 с.

14. Надежность технических систем и техногенный риск: учеб. для курсантов и слушателей образовательных учреждений МЧС России / В.С. Артамонов [и др.]; под общ. ред. В.Н. Ложкина. СПб.: С.-Петерб. ун-т ГПС МЧС России, 2007. 480 с.

15. Нормализация радиационной обстановки при ликвидации последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС: сб. / И.К.Степанов [и др.]; под ред. Е.А. Константинова. Сосновый бор: Тип. ЛАЭС, 2006. Кн. 4. 208 с.

16. Международной публичное право: учеб. / Л.П. Ануфриева [и др.]; отв. ред. К.А. Бекяшев. 5-е изд., перераб. и доп. М.: Проспект, 2010.

17. Взаимодействие аварийно-спасательных формирований министерств и ведомств РСЧС при ликвидации радиационных аварий с применением робототехнических средств / А.И. Запорожец [и др.] // Стратегия гражданской защиты: проблемы и исследования. 2013. № 1. С. 296–303.

18. О противодействии терроризму: Федер. закон от 6 марта 2006 г. № 35-ФЗ // Собр. законодательства Рос. Федерации. 2006. № 11. Ст. 1146.

References

1. Krylova I.A. Problema bezopasnosti Rossii v kontekste globalistiki. M., 2001. 241 s.

2. Sovershenstvovanie organizacionnogo i tekhnicheskogo osnashcheniya/doosnashcheniya sil i sredstv RSCHS pri kompleksnom reshenii problem adresnoj zashchity kriticheski vazhnyh i potencial'no opasnyh ob"ektov ekonomiki / V.A. Zver'kov [i dr.] // Tekhnologii grazhdanskoj bezopasnosti. 2021. № 2. S. 84–91.

3. Derevyanko B.A. Sovremennye metody i sredstva proektirovaniya imitacionnyh sistem i sistem podderzhki prinyatiya reshenij // Problemy upravleniya. 2019. T. 2. № 3. S. 70–77.

4. Kardash I.L. Nasil'stvennyj ekstremizm i voprosy protivodejstviya emu v sisteme obespecheniya nacional'noj bezopasnosti gosudarstva // Vestnik voennogo prava. 2022. № 2. S. 16–22.

5. Metel'kov A.N. Yadernyj terrorizm: predotvrashchenie ugrozy: monografiya. Murmansk: MAGU, 2019. 388 s.

6. Metel'kov A.N. Yadernyj terrorizm: ocenka opasnosti udarov AES s vozduha // Nacional'naya bezopasnost' i strategicheskoe planirovanie. 2021. № 3 (35). S. 39–46. DOI: 10.37468/2307-1400-2021-3-39-46. EDN QVRKDZ.

7. Kosachev K.I. Yadernyj terrorizm i mezhdunarodno-pravovye mekhanizmy bor'by s nim // Gosudarstvo i pravo. 2004. № 8. S. 85–94.

8. Komarov P.V. Mezhdunarodnyj kontrol' v oblasti nerasprostraneniya yadernogo oruzhiya: avtoref. dis. … kand. yurid. nauk: SPb.: S.-Peterb. gos. un-t, 2004. 23 s.

9. Grachev S.I. Kontrterrorizm: bazovye koncepty, mekhanizmy, tekhnologii: avtoref. dis. ... d-ra polit. nauk. N. Novgorod, 2008. 63 s.

10. Pinchuk A.Yu. Terrorizm v usloviyah globalizacii kak faktor politicheskoj destrukcii: politologicheskij analiz: avtoref. dis. … d-ra polit. nauk. M., 2019. 49 s.

11. Krstić M. Tendency of using chemical, biological, radiological and nuclear weapons for terrorist purposes, Vojnotehni ČKI glasnik // Military technical courier. 2017. Vol. 65. Iss. 2. P. 481–498.

12. General FSB rasskazal o versii terakta na AES v Chernobyle. URL: https://www.kommersant.ru/doc/4791470 (data obrashcheniya: 26.04.2021).

13. Izmalkov A.V. Upravlenie bezopasnost'yu social'no-ekonomicheskih sistem i ocenka ego effektivnosti. M.: Sputnik+, 2003. 441 s.

14. Nadezhnost' tekhnicheskih sistem i tekhnogennyj risk: ucheb. dlya kursantov i slushatelej obrazovatel'nyh uchrezhdenij MCHS Rossii / V.S. Artamonov [i dr.]; pod obshch. red. V.N. Lozhkina. SPb.: S.-Peterb. un-t GPS MCHS Rossii, 2007. 480 s.

15. Normalizaciya radiacionnoj obstanovki pri likvidacii posledstvij katastrofy na Chernobyl'skoj AES: sb. / I.K.Stepanov [i dr.]; pod red. E.A. Konstantinova. Sosnovyj bor: Tip. LAES, 2006. Kn. 4. 208 s.

16. Mezhdunarodnoj publichnoe pravo: ucheb. / L.P. Anufrieva [i dr.]; otv. red. K.A. Bekyashev. 5-e izd., pererab. i dop. M.: Prospekt, 2010.

17. Vzaimodejstvie avarijno-spasatel'nyh formirovanij ministerstv i vedomstv RSCHS pri likvidacii radiacionnyh avarij s primeneniem robototekhnicheskih sredstv / A.I. Zaporozhec [i dr.] // Strategiya grazhdanskoj zashchity: problemy i issledovaniya. 2013. № 1. C. 296–303.

18. O protivodejstvii terrorizmu: Feder. zakon ot 6 marta 2006 g. № 35-FZ // Sobr. zakonodatel'stva Ros. Federacii. 2006. № 11. St. 1146.

Информация о статье:
Статья поступила в редакцию: 27.01.2023; одобрена после рецензирования: 28.02.2023; принята к публикации: 01.03.2023

The information about article:
The article was submitted to the editorial office: 27.01.2023; approved after review: 28.02.2023; accepted for publication: 01.03.2023

Информация об авторах:
Метельков Александр Николаевич, доцент кафедры прикладной математики и информационных технологий Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат юридических наук, e-mail: metelkov5178@mail.ru

Information about the authors:
Metelkov Alexander N., department of applied mathematics and information technology of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), candidate of law sciences, e-mail: metelkov5178@mail.ru

ПОЖАРНАЯ ТАКТИКА, ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЦЕССОВ ГОРЕНИЯ И ТУШЕНИЯ

Научная статья
УДК 656:614.84

ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОЧАГА ПОЖАРА ЛЕГКОВОГО АВТОМОБИЛЯ

✉Рыбин Олег Александрович.
АО «Газпром диагностика», Санкт-Петербург, Россия.
Борзунова Наталья Юрьевна.
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия
✉o.rybin@diagnostika.gazprom.ru

Аннотация. Проведен анализ особенностей развития пожаров автомобилей, и показаны возможности использования различных инструментальных методов. Показано, что в основе применения современных средств измерения на месте пожара лежит сравнительный анализ результатов, полученных в соседних точках. Для повышения достоверности выводов об определении зон подверженных большему температурному воздействию в работе предлагается проводить оценку полученных массивов данных с помощью двух статистических критериев: критерия Фишера, который подтверждает возможность проведения сравнительного анализа, и критерия Стьюдента, с помощью расчета которого можно выделить наиболее значимые различия в результатах полученных измерений. Эффективность данного подхода подтверждена с помощью исследования капота сгоревшего автомобиля магнитным методом. Визуализация результатов расчета критерия Стьюдента позволила однозначно выявить фактический очаг пожара.

Ключевые слова: транспортные средства, очаг пожара, полевые методы исследования, магнитный метод, статистические критерии

Для цитирования: Рыбин О.А., Борзунова Н.Ю. Особенности определения очага пожара легкового автомобиля // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2023. № 1. С. 29–37.

Scientific article

FEATURES OF DETERMINING THE FIRE SOURCE OF A PASSENGER CAR

✉Rybin Oleg A.
JSC «Gazprom diagnostika», Saint-Petersburg, Russia.
Borzunova Natalia Yu.
Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia
✉o.rybin@diagnostika.gazprom.ru

Abstract. The article analyzes the features of the development of car fires and shows the possibilities of using various instrumental methods. It is shown that the application of modern measuring instruments at the fire site is based on a comparative analysis of the results obtained at neighboring points. In order to increase the reliability of conclusions about the determination of zones exposed to greater temperature effects, the paper proposes to evaluate the obtained data

© Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2023

arrays using two statistical criteria: the Fisher criterion, which confirms the possibility of comparative analysis, and the Student's criterion, with the help of which the most significant differences in the results of the measurements obtained can be identified. The effectiveness of this approach was confirmed by examining the hood of a burnt-out for using the magnetic method. Visualization of the results of the Student's criterion calculation made it possible to unambiguously identify the actual source of the fire.

Keywords: vehicles, fire source, field research methods, magnetic method, statistical criteria

For citation: Rybin O.A., Borzunova N.Yu. Features of determining the fire source of a passenger car // Scientific and analytical journal «Vestnik Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia». 2023. № 1. P. 29–37.

Введение

На начало 2021 г. в России зарегистрировано около 60 млн транспортных средств. Наибольшее количество, а именно 45 млн, приходится на легковые автомобили, что составляет 76 % от общего количества. На пассажирские коммерческие микроавтобусы и малотоннажные грузовые автомобили приходится 7 %, что составляет примерно 4,2 млн единиц техники. Третьим по величине является сегмент грузовых автомобилей и прицепов – 6 %, что составляет 3,8 и 3,4 млн единиц соответственно, мототехнических транспортных средств около 2,4 млн единиц (4 %). Порядка 1 % парка в стране составляют автобусы, их насчитывается примерно 410 тысяч единиц.

За последние 10 лет, с 2011 по 2021 гг., количество транспортных средств увеличилось на 31 %. Парк легковых автомобилей увеличился на 36 %, на 25 % – легкий коммерческий транспорт, автобусный парк и грузовые автомобили на 8,5 %, и 7,7 % соответственно. Несмотря на солидный прирост транспортных средств, их средний возраст составляет 15,2 лет. Средний возраст эксплуатации легковых автомобилей составляет 13,9 лет, у остальных категорий этот показатель значительно выше. Только 40 % легковых автомобилей в нашей стране моложе 10 лет. «Львиная доля» (96 %) парка в данном сегменте оформлена на физических лиц, соответственно всего 4 % зарегистрировано на организации [1].

Автомобили с большим сроком эксплуатации склонны к поломкам, которые могут приводить к возгораниям даже без дорожно-транспортных происшествий. Количество пожаров на транспорте за последний год увеличилось. По данным статистического учёта пожаров МЧС России в 2021 г. транспортные средства горели 17 249 раз, что составило 4,41 % от общего количества пожаров. В предыдущем году автомобили горели 17 063 раз (3,88 %) [2].

Современный автомобиль – это сложная техническая система, состоящая из узлов, агрегатов, деталей и механизмов, в которой имеется множество возможных источников зажигания, а также значительный объем горючих материалов, в том числе горючие и легковоспламеняющиеся жидкости.

По методике исследования объекта после пожара, прежде всего, необходимо установить место начала горения или очаг пожара, затем можно приступать к поиску причины пожара в этой зоне. Поиск очага начинается с фиксации термических повреждений наиболее легкоплавких покрытий и изделий. К ним относится: лакокрасочное покрытие поверхности всего автомобиля; пластиковые детали фар, приборная панель, детали моторного отсека, отделка салона и багажника, изоляция проводов по всему автомобилю; материалы наполнения и отделки сидений; покрышки колес. Пожар распространяется с помощью трёх физических процессов: конвекции, излучения и кондукции. Протекание этих процессов характерно и при горении автомобиля. На начальной стадии пожара конвективные потоки поднимают горячий воздух вверх и разогревают материалы над очагом пожара, одновременно во все стороны жар распространяется с помощью излучения, спустя

некоторое время, разогреваются материалы с высокой теплопроводностью и поджигают соприкасающуюся с ними горючую нагрузку [3, 4].

Легковой автомобиль можно условно разделить на три зоны: моторный отсек, салон и багажное отделение. В случае начала пожара в моторном отсеке выгорают, прежде всего, шланги, изоляция электропроводов, верхняя часть шин, примыкающих к моторному отсеку и лакокрасочное покрытие на поверхности капота. Если пожар начался в салоне, то в зависимости от расположения очага пожара гореть начинает приборная панель либо передние или задние сидения. Далее горение конвективными потоками распространяется на обивку верхней части салона, затем выгорает лакокрасочное покрытие крыши автомобиля. Процесс излучения при горении автомобиля играет менее важную роль. В случае начала пожара в багажнике, прежде всего, выгорает его отделка, затем лакокрасочное покрытие крышки и спинка заднего сидения. Затем тепло пожара доходит до верхней части покрышек задних колес со стороны багажника и задних фар и бака с топливом [5, 6].

При оперативном тушении автотранспортного средства все выше перечисленные признаки термических повреждений легко читаются и вывод об очаге пожара сделать не сложно. Когда автомобиль не удаётся потушить, и выгорают все сгораемые материалы, зону наибольшего термического повреждения можно определить только с помощью полевых методов исследования. Использование портативных средств измерения на месте пожара основано не на количественном определении измеряемых параметров, а на сравнительном анализе результатов получаемых в разных точках. Методики предполагают проведение не менее пяти измерений в каждой из точек, расчет средних значений и нанесение их на схему сгоревшего объекта. Визуализация полученных данных позволяет отличить области, отличающиеся по показателям, зависящим от температуры нагрева, например, силы тока размагничивания, толщины слоя окалины или твердости. При этом не оценивается равномерность получаемых выборок и значимость отличий результатов, полученных в разных точках измерения, возможно, все полученные различия находятся в пределах среднеквадратичного отклонения. В этой связи представляется актуальным изучение применения в рамках методик исследования автомобилей после пожара статистических критериев, подтверждающих правильность получаемых данных [7, 8].

Целью данного исследования является изучение возможности использования статистических критериев при обработке результатов измерения свойств стальных элементов автомобиля для выявления очаговой зоны.

Методы исследования

Для подготовки объектов исследования был проведен натурный эксперимент по поджогу и полному выгоранию до самостоятельного прекращения горения автомобиля ИЖ-2126-030. Поджог осуществлялся с помощью автомобильного бензина, который в объеме двух литров вливался в пространство между лобовым стеклом и капотом со стороны места водителя.

Сожженный автомобиль был перевезен в крытый ангар, где проводилось изучение оставшихся металлических элементов с помощью коэрцитиметра КИМ-2М. Выбор данного метода исследования обусловлен тем, что магнитные свойства наиболее чувствительны к структурным изменениям сталей, происходящим под воздействие высоких температур.

Магнитный метод давно зарекомендовал себя в пожарно-технической экспертизе, при исследовании обгоревших остовов автомобилей он используется чаще всего. Задача исследования заключались в выборе способа обработки получаемой информации для повышения точности определения места первоначального возникновения горения. Для этих целей в работе были выбраны статистические критерии, позволяющие решить сразу две задачи. Первая заключалась в анализе получаемых выборок данных на предмет однородности, что необходимо для подтверждения возможности сопоставления полученных

результатов. Для этих целей в работе был применён F-критерий. Вторая задача состояла в сравнении получаемых данных измерения в соседних точках с целью оценки значимости наблюдаемых отличий. С этой целью в работе применялся t-критерий [9].

Результаты исследования и их обсуждение

При проведении эксперимента горючую жидкость разлили на лобовое стекло и капот, поэтому при изучении возможности применения расчетных методов к обработке полученных результатов измерения в первую очередь был рассмотрен именно капот. Для анализа выбранные элементы автомобиля были поделены на сектора, в границах которых коэрцитиметром определяли значение силы тока размагничивания по шести параллельным измерениям (рис. 1).

Рис. 1. **Схема точек замера силы тока размагничивания**

Для визуализации результатов измерения были рассчитаны средние значения результатов измерений (табл. 1) и построена поверхностная диаграмма (рис. 2).

Как видно, четких границ изменения свойств магнитных характеристик на ней не просматривается. Можно визуально отметить три зоны, где степень повреждения стального капота наибольшая (отмечена на диаграмме красным цветом). Среди них зона, в которую при поджоге автомобиля наливали автомобильный бензин, но выделить данную область однозначно по полученным данным нельзя (рис. 2).

Таблица 1

Результаты исследования магнитных свойств на поверхности капота автомобиля

Точка замера	Сила тока размагничивания $I_р$, мА						Среднее значение, мА	СКО, мА
	1	2	3	4	5	6		
1.1.	0,058	0,056	0,055	0,059	0,055	0,056	0,057	0,0014
1.2.	0,048	0,056	0,053	0,048	0,055	0,052	0,052	0,0034
1.3.	0,056	0,061	0,058	0,057	0,060	0,058	0,058	0,0020
1.4.	0,055	0,058	0,052	0,056	0,057	0,055	0,055	0,0021
1.5.	0,039	0,037	0,04	0,039	0,037	0,039	0,038	0,0013
1.6.	0,048	0,06	0,058	0,048	0,059	0,055	0,055	0,0054
1.7.	0,058	0,059	0,06	0,059	0,058	0,059	0,059	0,0007
2.1.	0,062	0,058	0,062	0,063	0,057	0,061	0,060	0,0022
2.2.	0,059	0,062	0,053	0,060	0,061	0,058	0,059	0,0032
2.3.	0,048	0,057	0,053	0,048	0,056	0,053	0,053	0,0038
2.4.	0,049	0,057	0,053	0,049	0,056	0,053	0,053	0,0033
2.5.	0,041	0,053	0,047	0,041	0,052	0,047	0,047	0,0052
2.6.	0,047	0,058	0,057	0,047	0,057	0,054	0,053	0,0050
2.7.	0,051	0,052	0,055	0,052	0,051	0,053	0,052	0,0014
3.1.	0,058	0,057	0,053	0,059	0,056	0,056	0,057	0,0020
3.2.	0,043	0,047	0,043	0,043	0,047	0,044	0,045	0,0018
3.3.	0,055	0,053	0,057	0,056	0,052	0,055	0,055	0,0017
3.4.	0,058	0,059	0,053	0,059	0,058	0,057	0,057	0,0022
3.5.	0,054	0,057	0,053	0,055	0,056	0,055	0,055	0,0015
3.6.	0,043	0,053	0,053	0,043	0,052	0,050	0,049	0,0047
3.7.	0,057	0,056	0,051	0,058	0,055	0,055	0,055	0,0023
4.1.	0,056	0,053	0,057	0,057	0,052	0,055	0,055	0,0019
4.2.	0,046	0,058	0,051	0,046	0,057	0,052	0,052	0,0052
4.3.	0,048	0,047	0,051	0,048	0,047	0,049	0,048	0,0016
4.4.	0,039	0,043	0,047	0,039	0,043	0,043	0,042	0,0029
4.5.	0,048	0,053	0,051	0,048	0,052	0,051	0,051	0,0020
4.6.	0,045	0,047	0,053	0,045	0,047	0,048	0,048	0,0029
4.7.	0,053	0,052	0,058	0,054	0,051	0,051	0,053	0,0026

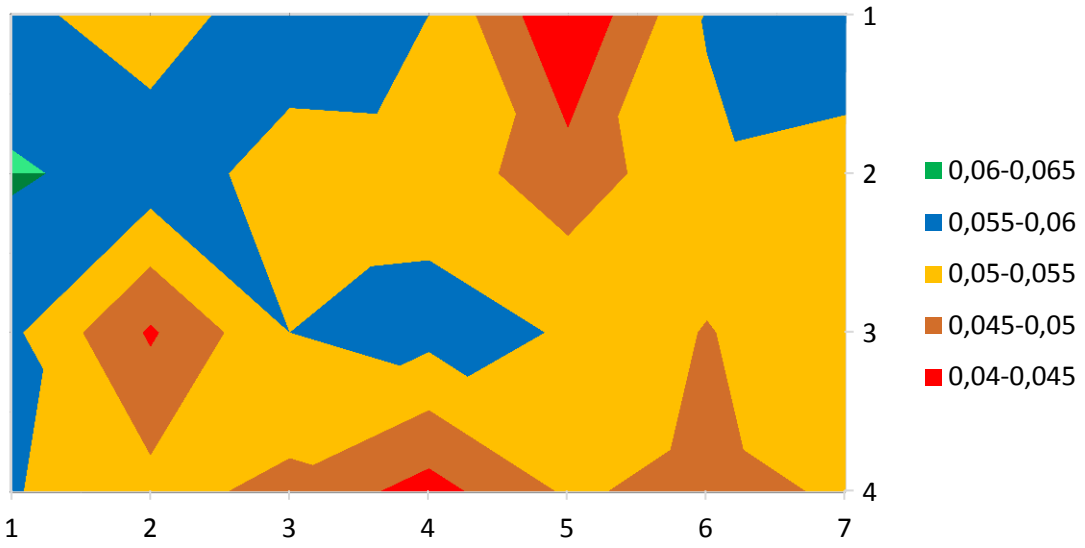


Рис. 2. **Распределение значений силы тока размагничивания по поверхности капота (мА)**

Для более четкой дифференциации требуется дополнительная обработка полученной информации расчетными методами. Для этих целей были применены выбранные статистические критерии (табл. 2).

Значения F-критерия, определяемого на основе сравнения значений среднеквадратичного отклонения, показали, что для полученных массивов результатов измерения I_p, данный критерий варьируется в пределах 0,86–1,83, что ниже критического значения $F(P, f_1,f_2)=2,97$. Можно сказать, что все значения среднеквадратичного отклонения, полученные по результатам параллельных измерений, можно рассматривать как оценку одной и той же дисперсии генеральной совокупности с нормальным распределением. Таким образом, все полученные значения являются однородной выборкой, что позволяет проводить их сравнение между собой.

Места локального термического поражения должны отличаться от соседних точек существенно, поэтому для уточнения таких областей целесообразно применить t-критерий. Данный критерий используется в тех случаях, когда полученные средние значения двух выборок независимых величин различаются, и требуется проверить, объясняется ли это различие только случайной ошибкой. Критическое значение для критерия Стьюдента для выборок данного размера 2,44. Результаты расчета статистических критериев приведены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты расчета статистических критериев

Точка замера	Среднее значение I_p, мА	СКО, мА	F-критерий	t-критерий
1.1.	0,057	0,0014	1,083	5,27
1.2.	0,052	0,0034	0,894	3,16
1.3.	0,058	0,0020	1,052	2,49
1.4.	0,055	0,0021	1,443	13,84
1.5.	0,038	0,0013	0,701	21,12
1.6.	0,055	0,0054	0,933	1,27
1.7.	0,059	0,0007	0,973	4,08
2.1.	0,060	0,0022	1,028	1,26
2.2.	0,059	0,0032	1,118	3,35
2.3.	0,053	0,0038	0,993	0,18
2.4.	0,053	0,0033	1,128	3,10
2.5.	0,047	0,0052	0,878	2,18
2.6.	0,053	0,0050	1,023	0,41
2.7.	0,052	0,0014	0,925	5,05
3.1.	0,057	0,0020	1,268	10,52
3.2.	0,045	0,0018	0,815	9,78
3.3.	0,055	0,0017	0,954	2,69
3.4.	0,057	0,0022	1,043	1,80
3.5.	0,055	0,0015	1,119	6,71
3.6.	0,049	0,0047	0,888	2,27
3.7.	0,055	0,0023	1,004	0,16
4.1.	0,055	0,0019	1,064	3,02
4.2.	0,052	0,0052	1,072	1,17
4.3.	0,048	0,0016	1,141	6,55
4.4.	0,042	0,0029	0,836	4,91
4.5.	0,051	0,0020	1,064	2,60
4.6.	0,048	0,0029	0,895	3,30
4.7.	0,053	0,0026	1,824	0,33

Полученные значения t-критерия показали, что различие в измеренных значениях для двух соседних точек не всегда может считаться значимым. При этом есть точки, в которых рассчитанные значения t-критерия существенно превышают критическое, что говорит о существенной разнице.

Для наглядности результат был представлен в виде поверхностной диаграммы (рис. 3). Как видно, наиболее значимые различия между изменениями, полученными в соседних точках, фиксируются в области, в которую при проведении эксперимента и было внесено поджигающее вещество и в которой наблюдалось наиболее длительное горение (обозначена овалом на рис. 4) [10, 11].

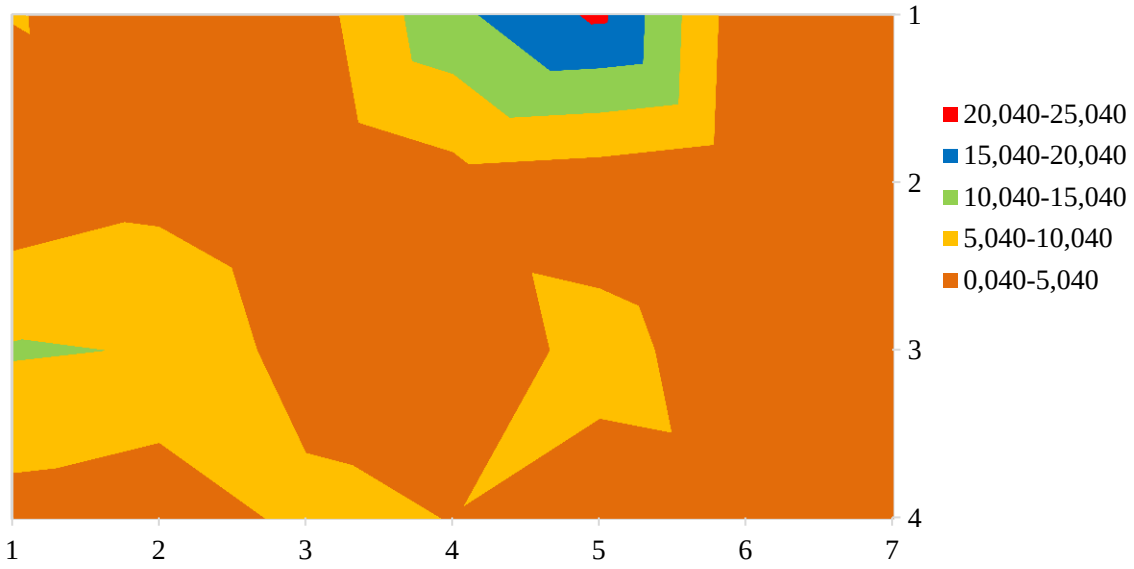


Рис. 3. **Результаты расчета t-критерия**

Рис. 4. **Развитие горения внутри автомобиля**

Заключение

Полученные данные позволяют сделать вывод, что расчет статистических критериев позволяет более детально разобрать наблюдаемую картину термических поражений и получить результаты, наиболее приближенные к реальным.

Четкое понимание процессов возникновения и развития пожаров на автомобильном транспорте позволяет достоверно и однозначно определять очаг пожара. Что, в свою очередь, является важнейшим шагом на пути установления технической причины пожара, являющейся основным вопросом, выносимым дознавателем при назначении судебной пожарно-технической экспертизы. Правильно установленная техническая причина пожара является залогом вынесения верного процессуального решения о возбуждении или отказе в возбуждении уголовного дела. Кроме того, накопленная информация о причинах пожара может быть положена в основу для формирования нормативных актов и проведения профилактических мероприятий, направленных на предотвращение пожаров на автотранспорте.

Список источников

1. Аналитическое агентство Автостат. Date Views. URL: https://www.autostat.ru/ (дата обращения: 12.03.2023).

2. Пожары и пожарная безопасность в 2021 году: стат. сб. Балашиха: ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2022. 114 с.

3. Методические рекомендации по исследованию пожаров на автотранспорте. Н. Новгород: ГУ по делам гражданской обороны и чрезвычайным ситуациям по Нижегородской области МЧС России, 2004. 60 с.

4. Чешко И.Д., Плотников В.Г. Анализ экспертных версий возникновения пожара: в 2-х кн. СПб.: Типография «Береста», 2010. 708 с.

5. Marty Ahrens Vehicle Fires // National Fire Protection Association Research. 2020. 13 p.

6. Scheibe Robert R., Leland E. Shields Motor Vehicle Fire Investigation Computer-Based Training. Access. URL: http://depts.washington.edu/vehfire/index.html (дата обращения: 10.02.2023).

7. Nicholas J. Smith, Nicholas J. Smith, Gregory E. Gorbett, VEHICLE FIRE BURN PATTERN STUDY // International Symposium on Fire Investigation Science and Technology. 2010. P. 533–544.

8. Cole L. Investigation of Motor Vehicle Fires, Lee Books. 2001. P. 27.

9. Моторыгин Ю.Д., Сикорова Г.А. Комплексная методика исследования степени термического поражения стальных элементов транспортных средств с помощью полевых методов // Технологии техносферной безопасности. 2021. № 3 (93). С. 137–151.

10. Сикорова Г.А., Дементьев Ф.А. Исследование стальных элементов автомобиля полевыми методами для целей пожарно-технической экспертизы // Технологии техносферной безопасности. 2015. № 5 (63). С. 113–119.

11. Сикорова Г.А. Новый подход к исследованию стальных конструкций и изделий после пожара полевыми методами в целях пожарно-технической экспертизы // Безопасность жизнедеятельности: проблемы и решения – 2017: материалы Междунар. науч.-практ. конф. Курган: Курганская гос. сельскохозяйственная акад. им. Т.С. Мальцева, 2017. С. 185–188.

References

1. Analiticheskoe agentstvo Avtostat. Date Views. URL: https://www.autostat.ru/ (data obrashcheniya: 12.03.2023).

2. Pozhary i pozharnaya bezopasnost' v 2021 godu: stat. sb. Balashiha: FGBU VNIIPO MCHS Rossii, 2022. 114 s.

3. Metodicheskie rekomendacii po issledovaniyu pozharov na avtotransporte. N. Novgorod: GU po delam grazhdanskoj oborony i chrezvychajnym situaciyam po Nizhegorodskoj oblasti MCHS Rossii, 2004. 60 s.

4. Cheshko I.D., Plotnikov V.G. Analiz ekspertnyh versij vozniknoveniya pozhara: v 2-h kn. SPb.: Tipografiya «Beresta», 2010. 708 s.

5. Marty Ahrens Vehicle Fires // National Fire Protection Association Research. 2020. 13 p.

6. Scheibe Robert R., Leland E. Shields Motor Vehicle Fire Investigation Computer-Based Training. Access. URL: http://depts.washington.edu/vehfire/index.html (data obrashcheniya: 10.02.2023).

7. Nicholas J. Smith, Nicholas J. Smith, Gregory E. Gorbett, VEHICLE FIRE BURN PATTERN STUDY // International Symposium on Fire Investigation Science and Technology. 2010. P. 533–544.

8. Cole L. Investigation of Motor Vehicle Fires, Lee Books. 2001. P. 27.

9. Motorygin Yu.D., Sikorova G.A. Kompleksnaya metodika issledovaniya stepeni termicheskogo porazheniya stal'nyh elementov transportnyh sredstv s pomoshch'yu polevyh metodov // Tekhnologii tekhnosfernoj bezopasnosti. 2021. № 3 (93). S. 137–151.

10. Sikorova G.A., Dement'ev F.A. Issledovanie stal'nyh elementov avtomobilya polevymi metodami dlya celej pozharno-tekhnicheskoj ekspertizy // Tekhnologii tekhnosfernoj bezopasnosti. 2015. № 5 (63). S. 113–119.

11. Sikorova G.A. Novyj podhod k issledovaniyu stal'nyh konstrukcij i izdelij posle pozhara polevymi metodami v celyah pozharno-tekhnicheskoj ekspertizy // Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti: problemy i resheniya – 2017: materialy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. Kurgan: Kurganskaya gos. sel'skohozyajstvennaya akad. im. T.S. Mal'ceva, 2017. S. 185–188.

Информация о статье:
Статья поступила в редакцию: 27.02.2023; одобрена после рецензирования: 23.03.2023;
принята к публикации: 28.03.2023

The information about article:
The article was submitted to the editorial office: 27.02.2023; approved after review: 23.03.2023;
accepted for publication: 28.03.2023

Информация об авторах:
Рыбин Олег Александрович, начальник отдела организации научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ АО «Газпром диагностика» (190103, Санкт-Петербург, ул. 10-я Красноармейская, д. 22), доктор технических наук, e-mail: o.rybin@diagnostika.gazprom.ru
Борзунова Наталья Юрьевна, старший преподаватель кафедры криминалистики и инженерно-технических экспертиз Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: ats75@inbox.ru

Information about the authors:
Rybin Oleg A., head of the department of organization of research and development works of JSC «Gazprom Diagnostics» (190103, Saint-Petersburg, 10th Krasnoarmeyskaya str., 22), doctor of technical sciences, e-mail: o.rybin@diagnostika.gazprom.ru
Borzunova Natalia Yu., senior lecturer of the department of criminalistics and engineering expertise of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), e-mail: ats75@inbox.ru

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ТЕОРИИ УПРАВЛЕНИЯ СЛОЖНЫМИ ПРОЦЕССАМИ

Научная статья
УДК 614.84

ОБОСНОВАНИЕ НЕОБХОДИМОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНЖЕНЕРНОЙ СЛУЖБЫ В СОСТАВЕ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ПОЖАРНО-СПАСАТЕЛЬНЫХ ЧАСТЕЙ В СУБЪЕКТАХ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

✉Удавцова Елена Юрьевна;
Бобринев Евгений Васильевич;
Кондашов Андрей Александрович.
Всероссийский ордена «Знак Почета» Научно-исследовательский институт противопожарной защиты МЧС России, г. Балашиха, Россия
✉otdel_1_3@mail.ru

Аннотация. С применением теории нечетких множеств разработана математическая модель для обоснования необходимости использования инженерной службы в составе специализированных пожарно-спасательных частей федеральной противопожарной службы Государственной противопожарной службы. Модель учитывает природно-климатические и географические особенности субъектов, показатели социального и технико-экономического развития и риски возникновения чрезвычайных ситуаций и пожаров. Также учитывается наличие сил и средств Единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций в субъектах Российской Федерации. Для оценки степени влияния каждого показателя на необходимость использования инженерной службы использован метод попарного сравнения на основе лингвистической шкалы оценок. Вычислена интегральная оценка необходимости использования инженерной службы в составе специализированных пожарно-спасательных частей для каждого субъекта Российской Федерации. С использованием разработанной модели определены субъекты, в которых потребность в инженерной службе в составе специализированных пожарно-спасательных частей наиболее высокая.

Ключевые слова: нечеткое множество, специализированные пожарно-спасательные части, чрезвычайные ситуации, пожар, риск, инженерная служба

Для цитирования: Удавцова Е.Ю., Бобринев Е.В., Кондашов А.А. Обоснование необходимости использования инженерной службы в составе специализированных пожарно-спасательных частей в субъектах Российской Федерации // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2023. № 1. С. 38–47.

© Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2023

Scientific article

JUSTIFICATION OF THE NEED TO USE AN ENGINEERING SERVICE AS PART OF SPECIALIZED FIRE AND RESCUE UNITS IN THE SUBJECTS OF THE RUSSIAN FEDERATION

✉Udavtsova Elena Yu.;
Bobrinev Evgeny V.,
Kondashov Andrey A.
All-Russian order of the «Badge of Honor» Research institute of fire defense of EMERCOM of Russia, Balashikha, Russia
✉otdel_1_3@mail.ru

Abstract. Using the theory of fuzzy sets, a mathematical model has been developed to justify the need to use an engineering service as part of specialized fire and rescue units of the federal fire service of the State fire service. The model takes into account the climatic and geographical features of the subjects, indicators of social and technical and economic development, and the risks of emergencies and fires. The availability of forces and means of a Unified state warning system is also taken into account and liquidation of emergency situations in the subjects of the Russian Federation. To assess the degree of influence of each indicator on the need to use an engineering service, a pairwise comparison method based on a linguistic scale of assessments was used. An integral assessment of the need to use an engineering service as part of specialized fire and rescue units for each subject of the Russian Federation is calculated. Using the developed model, the subjects in which the need for an engineering service as part of specialized fire and rescue units is the highest are identified.

Keywords: fuzzy set, specialized fire and rescue units, emergencies, fire, risk, engineering service

For citation: Udartseva E.Yu., Bobrenev E.V., Kondrashov A.A. Justification of the need to use an engineering service as part of specialized fire and rescue units in the subjects of the Russian Federation // Scientific and analytical journal «Vestnik Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia». 2023. № 1. P. 38–47.

Введение

На специализированные пожарно-спасательные части (СПСЧ) федеральной противопожарной службы Государственной противопожарной службы (ФПС ГПС) в территориальных гарнизонах пожарной охраны возлагаются задачи по тушению крупных пожаров в населенных пунктах и на объектах, по проведению аварийно-спасательных, водолазных и иных специальных инженерно-технических работ, связанных с ликвидацией пожаров, по ликвидации последствий техногенных и природных чрезвычайных ситуаций (ЧС) [1, 2].

Согласно типовому штатному расписанию (приказ МЧС России от 21 марта 2014 г. № 129 «О внесении изменений в приказ МЧС России от 30 декабря 2005 г. № 1027 и признании утратившими силу приказов МЧС России и отдельных положений приказов МЧС России») в состав СПСЧ могут входить следующие службы и группы:

– водолазная служба;
– медицинская служба;
– служба телекоммуникации и связи;
– инженерная служба;
– служба радиационной и химической защиты;
– служба тушения пожаров и проведения аварийно-спасательных работ;
– кинологическая группа;
– группа пиротехнических работ;
– группа технического обеспечения и обслуживания;
– группа робототехнических средств и беспилотных авиационных систем.

Инженерная служба СПСЧ создается в целях проведения аварийно-спасательных, противопожарных, неотложно-восстановительных и других специальных работ, связанных с риском для жизни личного состава. Инженерно-технический состав службы участвует в ликвидации последствий ЧС в составе оперативной группы СПСЧ, обеспечивая техническое сопровождение спасательных работ как СПСЧ, так и других аварийно-спасательных формирований МЧС России.

В настоящее время большое внимание уделяется перспективному развитию СПСЧ с учетом рисков возникновения ЧС в субъектах Российской Федерации.

Методы исследования

В статье представлена математическая модель, разработанная с применением теории нечетких множеств [3–5], для обоснования необходимости использования инженерной службы СПСЧ для обеспечения пожарной безопасности и защиты территорий от ЧС в субъектах Российской Федерации.

Сформирован перечень показателей, которые характеризуют необходимость использования СПСЧ и отдельных служб (групп) СПСЧ в субъектах Российской Федерации. Всего отобрано 34 показателя. Из этих показателей выделены те, которые характеризуют необходимость использования инженерной службы. Все показатели разбиты на три группы.

Первая группа. Природно-климатические и географические особенности субъекта характеризуют следующие показатели:

– площадь территории;
– площадь лесов;
– среднегодовое количество осадков;
– сейсмическая опасность;
– наличие горных массивов.

Вторая группа. Социальные и технико-экономические факторы включают следующие показатели:

– численность населения;
– уровень валового регионального продукта на душу населения;
– доля городского населения;
– доля промышленного производства в общем объеме;
– удельный вес ветхого и аварийного жилья;
– степень износа основных производственных фондов;
– количество взрывопожароопасных объектов;
– количество гидродинамических опасных объектов.

В третью группу входят риски возникновения ЧС и пожаров, а также показатели, характеризующие наличие сил и средств Единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (РСЧС) в рассматриваемом и соседних субъектах Российской Федерации:

– среднее расстояние до ближайшей СПСЧ, в которой есть инженерная служба;
– среднее расстояние до ближайшего подразделения сил РСЧС, в котором есть инженерная служба;
– наличие инженерной службы в СПСЧ в рассматриваемом субъекте Российской Федерации;
– риск ЧС, связанных с природными пожарами;
– риск ЧС, связанных с высоким уровнем вод, селями;
– риск ЧС, связанных со сходом лавин и оползней на транспорте;
– риск ЧС на транспорте;
– риск возникновения крупных пожаров;
– риск ЧС, связанных со взрывами, обрушениями.

Для каждого показателя определена функция желательности, значения которой лежат в интервале от 0 до 1. Функция желательности показывает, какие значения показателя являются наиболее приемлемыми с точки зрения необходимости использования инженерной службы в СПСЧ. Вид функции желательности для показателей, значения которых меняются непрерывно, представлен в табл. 1.

Функция $\mu_1(x)$ используется для показателей, с увеличением значения которых востребованность инженерной службы возрастает. Функция $\mu_2(x)$ применяется для показателей, большее значение которых соответствует меньшей востребованности инженерной службы. Граничные значения x_1 и x_2 для каждого показателя определяются путем анализа статистических данных.

Таблица 1

Вид функции желательности для показателей, значения которых меняются непрерывно

Значение x	Функция желательности	
	$\mu_1(x)$	$\mu_2(x)$
$x < x_1$	0	1
$x_1 \le x \le x_2$	$(x - x_1)/(x_2 - x_1)$	$(x_2 - x)/(x_2 - x_1)$
$x > x_2$	1	0

Для формализации показателей, задаваемых на качественном уровне, используются лингвистические оценки степени выраженности показателя. Функция желательности для таких показателей принимает дискретные значения.

Для каждой из трех групп показателей для каждого субъекта Российской Федерации определяется обобщенная оценка по формуле:

$$w_m = \sum_{k=1}^{N_m} \alpha_{km} \mu_k(x_k),$$

где N_m – количество показателей в m группе; α_{km} – весовой множитель для k-го показателя в m группе; μ_k – функция желательности для k-го показателя; x_k – значение k-го показателя для субъекта Российской Федерации.

Интегральная оценка необходимости использования инженерной службы СПСЧ в субъекте Российской Федерации определяется по формуле:

$$W = \sum_{m=1}^{3} \beta_m w_m,$$

где β_m – весовой множитель для m-й группы показателей.

Для определения весовых множителей для каждой группы показателей используется метод попарных сравнений на основе лингвистической шкалы оценок [6]. При сравнении i-го и j-го показателей ставится оценка a_{ij} в зависимости от степени важности этих показателей с точки зрения необходимости использования инженерной службы в СПСЧ от 1 (если показатели одинаково значимы) до 9 (если i-й показатель строго предпочтительней j-го). Оценка сравнения j-го показателя с i-ым имеет обратное значение $1/a_{ij}$.

Искомые значения весовых множителей a_1, a_2, ..., a_N для каждой группы показателей являются решением оптимизационной задачи:

$$S = \sum_{i=1}^{N} \sum_{j=1}^{N} \left(a_{ij} a_j - a_i\right)^2 \to min; \ \sum_{i=1}^{N} a_i = 1,$$

которое находится методом неопределенных множителей Лагранжа [7, 8].

В табл. 2 приведены вид функции желательности и ее параметры, расчетные значения весовых множителей a_{km} для показателей, входящих в каждую группу, а также весовые множители β_m для каждой из трех групп показателей.

Таблица 2

Параметры функции желательности и весовые множители для показателей, характеризующих необходимость использования инженерной службы СПСЧ

№ п/п	Название показателя	Функция	Значение x_1	Значение x_2	Весовой множитель α_{km}
Природно-климатические и географические характеристики (β_1 = 0,127)					
1	Площадь территории, тыс. км^2	$\mu_1(x)$	20	200	0,494
2	Площадь лесов, тыс. км^2	$\mu_1(x)$	10	100	0,171
3	Среднегодовое количество осадков, мм в год	$\mu_1(x)$	400	800	0,061
4	Сейсмическая опасность	$\mu_3(x)$	–	–	0,179
5	Наличие горных массивов	$\mu_4(x)$	–	–	0,095
Социальные и технико-экономические характеристики (β_2 = 0,222)					
1	Численность населения, тыс. чел.	$\mu_1(x)$	500	3000	0,493
2	Уровень валового регионального продукта на душу населения, тыс. руб./чел.	$\mu_2(x)$	300	600	0,039
3	Доля городского населения, %	$\mu_1(x)$	60	80	0,075
4	Доля промышленного производства в общем объеме, %	$\mu_2(x)$	20	50	0,106
5	Удельный вес ветхого и аварийного жилья, %	$\mu_1(x)$	2	5	0,034
6	Степень износа основных производственных фондов, %	$\mu_1(x)$	40	60	0,096
7	Количество взрывопожароопасных объектов, ед.	$\mu_1(x)$	50	150	0,081
8	Количество гидродинамических опасных объектов, ед.	$\mu_1(x)$	5	15	0,076
Риски возникновения ЧС и пожаров (β_3 = 0,651)					
1	Расстояние до ближайшего СПСЧ, в которой есть инженерная служба, км	$\mu_1(x)$	50	500	0,060
2	Расстояние до ближайшего подразделения РСЧС, в котором есть инженерная служба, км	$\mu_1(x)$	50	500	0,060
3	Наличие инженерной службы в СПСЧ	$\mu_5(x)$	–	–	0,573
4	Риск ЧС, связанных с природными пожарами, год$^{-1}$	$\mu_1(x)$	0	0,2	0,038
5	Риск ЧС, связанных с высоким уровнем вод, селями, год$^{-1}$	$\mu_1(x)$	0	0,5	0,033
6	Риск ЧС, связанных со сходом лавин и оползней на транспорте, год$^{-1}$	$\mu_1(x)$	0	0,1	0,032
7	Риск ЧС на транспорте, год$^{-1}$	$\mu_1(x)$	0,5	2	0,054
8	Риск возникновения крупных пожаров, год$^{-1}$	$\mu_1(x)$	0,3	1,5	0,086
9	Риск ЧС, связанных со взрывами, обрушениями, год$^{-1}$	$\mu_1(x)$	0	0,4	0,065

Результаты исследования и их обсуждение

Разработанная математическая модель была применена для определения необходимости использования инженерной службы в СПСЧ для обеспечения пожарной безопасности и защиты территорий от ЧС в субъектах Российской Федерации. Значения показателей социально-экономического развития субъектов определены по данным Федеральной службы государственной статистики [9]. Количество опасных объектов в субъектах определено с использованием данных в работе [10]. Риски возникновения ЧС определены на основании анализа данных по видам источников возникновения и характера ЧС в субъектах Российской Федерации за период 2010–2021 гг.

Определение необходимости использования инженерной службы в СПСЧ проводилось в три этапа.

На первом этапе были определены субъекты Российской Федерации, в которых необходимо использовать инженерную службу СПСЧ 1-го разряда. Для этого были рассчитана интегральная оценка W необходимости СПСЧ в каждом субъекте и определены ее минимальное W_{min} и максимальное W_{max} значения. В тех субъектах Российской Федерации, для которых выполнено условие:

$$W \geq W_{\text{гр}} = \frac{2W_{max} + W_{min}}{3},$$

предлагается использовать СПСЧ 1-го разряда (граничное значение $W_{\text{гр}}$ получено равным 0,650).

По результатам расчетов СПСЧ 1-го разряда предлагается использовать в шести субъектах Российской Федерации: в Московской, Свердловской и Ростовской областях, в Красноярском и Приморском краях и в г. Санкт-Петербурге. В СПСЧ 1-го разряда создается инженерная служба 1-го разряда.

На втором этапе для остальных субъектов Российской Федерации были определены значения показателя «среднее расстояние до ближайшей СПСЧ» с учетом СПСЧ 1-го разряда и вычислены значения интегральной оценки необходимости использования инженерной службы в СПСЧ $W_{\text{инж}}$.

Инженерную службу 2-го разряда предлагается использовать в СПСЧ, если выполнено условие:

$$W_{\text{инж}} \geq W_{\text{инж.гр}} = \frac{2W_{\text{инж}.max} + W_{\text{инж}.min}}{3}, \quad (1)$$

где $W_{\text{инж}.min}$ и $W_{\text{инж}.max}$ – минимальное и максимальное значения интегральной оценки $W_{\text{инж}}$ среди субъектов Российской Федерации, в которых нет СПСЧ 1-го разряда (граничное значение $W_{\text{инж.гр}}$ получено равным 0,738).

На третьем этапе для оставшихся субъектов Российской Федерации было определено значение показателя «среднее расстояние до ближайшей СПСЧ» с учетом СПСЧ, в которой используется инженерная служба 1-го или 2-го разрядов. Для каждого такого субъекта вычислялись значения интегральной оценки $W_{\text{инж}}$. Инженерную службу 3-го разряда предлагается использовать в СПСЧ в тех субъектах, для которых выполнено условие (1), при этом значения $W_{\text{инж}.min}$ и $W_{\text{инж}.max}$ определяются по тем субъектам Российской Федерации, в которых не используется инженерная служба 1-го или 2-го разрядов (граничное значение $W_{\text{инж.гр}}$ для таких субъектов получено равным 0,642).

Полученные значения интегральной оценки необходимости использования инженерной службы в СПСЧ в субъектах Российской Федерации $W_{\text{инж}}$ приведены на рисунке. Инженерную службу 1-го разряда предлагается использовать в шести субъектах

Российской Федерации (выделены красным цветом на рисунке), инженерную службу 2-го разряда – в 16 субъектах (выделены желтым цветом), 3-го разряда – в 18 субъектах (выделены зеленым цветом). В 45 субъектах Российской Федерации необходимость использования инженерной службы отсутствует (на рисунке показаны синим цветом).

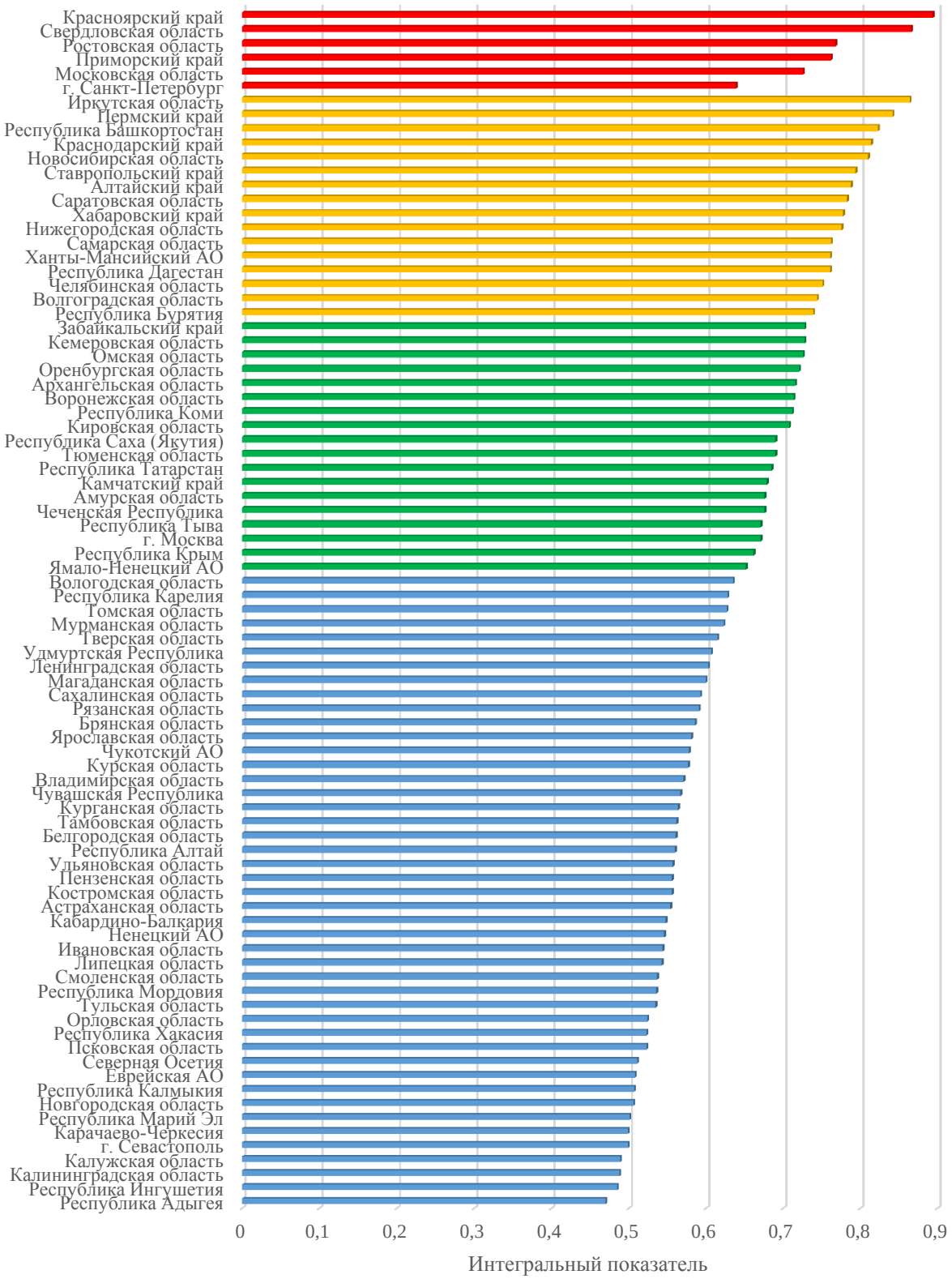


Рис. **Распределение субъектов Российской Федерации по величине интегральной оценки необходимости использования инженерной службы в СПСЧ**

Проведено сравнение результатов расчетов по математической модели с фактическим наличием инженерной службы в СПСЧ в субъектах Российской Федерации.

Из субъектов, вошедших в красную группу, инженерная служба создана во всех СПСЧ.

Из субъектов, вошедших в желтую группу, инженерная служба в СПСЧ создана в 7 субъектах из 16, еще пять субъектов заявили о необходимости создания инженерной службы.

Из субъектов, вошедших в зеленую группу, инженерная служба в СПСЧ есть в 8 субъектах из 18, еще три субъекта заявили о необходимости создания инженерной службы.

Из субъектов, вошедших в синюю группу, инженерная служба действует в СПСЧ 13 субъектов из 45. В восьми субъектах Российской Федерации, в которых отсутствует СПСЧ, заявили о необходимости создания инженерной службы в составе СПСЧ.

Была выполнена проверка существования статистической взаимосвязи между результатами расчетов по математической модели и фактическим наличием инженерной службы в СПСЧ в субъектах Российской Федерации с использование χ^2 критерия Пирсона [11, 12]. Полученные результаты можно отобразить в виде таблицы сопряженности (табл. 3).

Таблица 3

Таблица сопряженности для проверки взаимосвязи между результатами расчетов по математической модели и фактическим наличием или заявленной потребности в инженерной службе в СПСЧ в субъектах Российской Федерации

Группа	Количество субъектов Российской Федерации, в которых		Общее количество субъектов Российской Федерации
	создана инженерная служба СПСЧ или есть потребность	отсутствует инженерная служба или нет потребности	
Красная группа	6	0	6
Желтая группа	12	4	16
Зеленая группа	11	7	18
Синяя группа	19	26	45
Всего	48	37	85

Значение χ^2 – статистики для двухпольной табл. 3 равно 7,90. Критическое значение критерия χ^2 для одной степени свободы при уровне значимости 0,05 составляет 3,84. Расчетное значение превышает критическое, следовательно, можно говорить о взаимосвязи между результатами расчетов по математической модели и фактическим наличием инженерной службы в СПСЧ в субъектах Российской Федерации. При этом совпадение прогнозных значений по математической модели с фактическим наличием инженерной службы в СПСЧ в субъектах Российской Федерации составляет 65 %.

Заключение

Представлено обоснование использования инженерной службы в составе СПС частей ФПС ГПС с применением математической модели на основе теории нечетких множеств. Предложено деление инженерной службы на три разряда в зависимости от природно-климатических, географических, социальных и технико-экономических особенностей субъектов Российской Федерации, а также рисков возникновения ЧС и пожаров. На основе разработанной модели проведены расчеты интегральной оценки для обоснования необходимости использования инженерной службы в СПСЧ для каждого субъекта Российской Федерации с учетом разрядности. Инженерную службу 1-го разряда предложено использовать в шести субъектах Российской Федерации, инженерную службу 2-го разряда –

в 16 субъектах, 3-го разряда – в 18 субъектах. В 45 субъектах Российской Федерации необходимость в использовании инженерной службы отсутствует.

Разработанная модель может быть применена для обоснования необходимости использования других служб (групп) в составе СПСЧ.

Список источников

1. Киселёв Д.В. Модели управления развитием специализированных пожарно-спасательных частей // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. 2020. № 3. С. 77–83.

2. Специализированные подразделения пожарной охраны: монография / Ш.Ш. Дагиров [и др.]. М.: Академия ГПС МЧС России, 2017. 173 с.

3. Дилигенский Н.В., Дымова Л.Г., Севастьянов П.В. Нечеткое моделирование и многокритериальная оптимизация производственных систем в условиях неопределенности: технология, экономика, экология. М.: Изд-во Машиностроение, 2004. 397 с.

4. Baruah Hemanta K. The Theory of Fuzzy Sets: Beliefs and Realities // International journal of energy, information and communications. 2011. Vol. 2. Iss. 2. P. 1–22.

5. Ulrich Höhle, Stephen Ernest Rodabaugh. Mathematics of fuzzy sets: logic, topology and measure theory. The Handbooks of Fuzzy Sets Series. Springer, 1999. Vol. 3.

6. Миллер Д.А. Магическое число семь плюс-минус два: некоторые ограничения в нашей способности обрабатывать информацию. Инженерная психология. М.: Прогресс, 1964. С. 192–255.

7. Метод множителей Лагранжа: метод. пособие для студентов спец. 1-31 03 01-03 «Математика (экономическая деятельность)» / В.И. Бахтин [и др.]. Минск: БГУ, 2012. 40 с.

8. Bertsekas Dimitri P. Constrained Optimization and Lagrange Multiplier Methods. New York: Academic Press, 1982.

9. Регионы России. Социально-экономические показатели. Федеральная служба государственной статистики. URL: https://www.gks.ru/bgd/regl/b20_14p/Main.htm (дата обращения: 09.11.2022).

10. Цаликов Р.Х., Акимов В.А., Козлов К.А. Оценка природной, техногенной и экономической безопасности России. М.: ФГУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ) МЧС России, 2009. 464 с.

11. Гржибовский А.М. Анализ номинальных данных (независимые наблюдения) // Экология человека. 2008. № 6. С. 58–68.

12. Greenwood P.E., Nikulin M.S. A guide to chi-squared testing. New York: Wiley, 1996.

References

1. Kiselyov D.V. Modeli upravleniya razvitiem specializirovannyh pozharno-spasatel'nyh chastej // Pozhary i chrezvychajnye situacii: predotvrashchenie, likvidaciya. 2020. № 3. S. 77–83.

2. Specializirovannye podrazdeleniya pozharnoj ohrany: monografiya / Sh.Sh. Dagirov [i dr.]. M.: Akademiya GPS MCHS Rossii, 2017. 173 s.

3. Diligenskij N.V., Dymova L.G., Sevast'yanov P.V. Nechetkoe modelirovanie i mnogokriterial'naya optimizaciya proizvodstvennyh sistem v usloviyah neopredelennosti: tekhnologiya, ekonomika, ekologiya. M.: Izd-vo Mashinostroenie, 2004. 397 s.

4. Baruah Hemanta K. The Theory of Fuzzy Sets: Beliefs and Realities // International journal of energy, information and communications. 2011. Vol. 2. Iss. 2. P. 1–22.

5. Ulrich Höhle, Stephen Ernest Rodabaugh. Mathematics of fuzzy sets: logic, topology and measure theory. The Handbooks of Fuzzy Sets Series. Springer, 1999. Vol. 3.

6. Miller D.A. Magicheskoe chislo sem' plyus-minus dva: nekotorye ogranicheniya v nashej sposobnosti obrabatyvat' informaciyu. Inzhenernaya psihologiya. M.: Progress, 1964. S. 192–255.

7. Metod mnozhitelej Lagranzha: metod. posobie dlya studentov spec. 1-31 03 01-03 «Matematika (ekonomicheskaya deyatel'nost')» / V.I. Bahtin [i dr.]. Minsk: BGU, 2012. 40 s.

8. Bertsekas Dimitri P. Constrained Optimization and Lagrange Multiplier Methods. New York: Academic Press, 1982.

9. Regiony Rossii. Social'no-ekonomicheskie pokazateli. Federal'naya sluzhba gosudarstvennoj statistiki. URL: https://www.gks.ru/bgd/regl/b20_14p/Main.htm (data obrashcheniya: 09.11.2022).

10. Calikov R.H., Akimov V.A., Kozlov K.A. Ocenka prirodnoj, tekhnogennoj i ekonomicheskoj bezopasnosti Rossii. M.: FGU VNII GOCHS (FC) MCHS Rossii, 2009. 464 s.

11. Grzhibovskij A.M. Analiz nominal'nyh dannyh (nezavisimye nablyudeniya) // Ekologiya cheloveka. 2008. № 6. S. 58–68.

12. Greenwood P.E., Nikulin M.S. A guide to chi-squared testing. New York: Wiley, 1996.

Информация о статье:
Статья поступила в редакцию: 30.11.2022; одобрена после рецензирования: 29.12.2022; принята к публикации: 30.12.2022

The information about article:
The article was submitted to the editorial office: 30.11.2022; approved after review: 29.12.2022; accepted for publication: 30.12.2022

Информация об авторах:
Удавцова Елена Юрьевна, ведущий научный сотрудник научно-исследовательского центра организационно-управленческих проблем пожарной безопасности Всероссийского ордена «Знак Почета» Научно-исследовательского института противопожарной защиты МЧС России (143903, Московская обл., г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, д. 12), кандидат технических наук, e-mail: otdel_1_3@mail.ru, https://orcid.org//0000-0002-1343-0849
Бобринев Евгений Васильевич, ведущий научный сотрудник научно-исследовательского центра организационно-управленческих проблем пожарной безопасности Всероссийского ордена «Знак Почета» Научно-исследовательского института противопожарной защиты МЧС России (143903, Московская обл., г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, д. 12), кандидат биологических наук, e-mail: otdel_1_3@mail.ru, https://orcid.org//0000-0001-8169-6297
Кондашов Андрей Александрович, ведущий научный сотрудник научно-исследовательского центра организационно-управленческих проблем пожарной безопасности Всероссийского ордена «Знак Почета» Научно-исследовательского института противопожарной защиты МЧС России (143903, Московская обл., г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, д. 12), кандидат физико-математических наук, e-mail: akond2008@mail.ru, https://orcid.org//0000-0002-2730-1669

Information about the authors:
Udavtsova Elena Yu., leading researcher at the research center for organizational and managerial problems of fire safety of the All-Russian order of the «Badge of Honor» Research institute of fire defense of EMERCOM of Russia (143903, Moscow region, Balashikha, mkr. VNIIPO, 12), candidate of technical sciences, e-mail: otdel_1_3@mail.ru, https://orcid.org//0000-0002-1343-0849
Bobrinev Evgeny V., leading researcher at the research center for organizational and managerial problems of fire safety of the All-Russian order of the «Badge of Honor» Research institute of fire defense of EMERCOM of Russia (143903, Moscow region, Balashikha, mkr. VNIIPO, 12), candidate of biological sciences, e-mail: otdel_1_3@mail.ru, https://orcid.org//0000-0001-8169-6297
Kondrashov Andrey A., leading researcher at the research center for organizational and managerial problems of fire safety of the All-Russian order of the «Badge of Honor» Research institute of fire defense of EMERCOM of Russia (143903, Moscow region, Balashikha, mkr. VNIIPO, 12), candidate of physical and mathematical sciences, e-mail: akond2008@mail.ru, https://orcid.org//0000-0002-2730-1669

Научная статья
УДК 004.94

ОПЕРАТОРНЫЙ ЯЗЫК СОЗДАНИЯ СЦЕНАРИЕВ УПРАВЛЕНИЯ НЕСТАЦИОНАРНЫМИ ПРОЦЕССАМИ РЕМОНТНО-ПРОФИЛАКТИЧЕСКИХ РАБОТ СЛОЖНОЙ ТЕХНИЧЕСКОЙ АППАРАТУРЫ

Скатков Александр Владимирович.
Севастопольский государственный университет, г. Севастополь, Россия.
✉Доронина Екатерина Борисовна.
Научно-образовательный центр воздушно-космической обороны «Алмаз-Антей» им. академика В.П. Ефремова, г. Севастополь, Россия
✉doka0605@yandex.ru

Аннотация. Предлагается подход к решению задачи управления ремонтно-профилактическими и аварийно-восстановительными работами как формализованного сценария в рамках операционной теории описания нестационарных процессов на основе специального сформулированного операторного языка, который облегчит разработку аналитических и имитационных моделей. Предложены четыре сценария и построены имитационные модели для анализа и прогнозирования параметров технологических процессов ремонтно-профилактических и аварийно-восстановительных работ сложной аппаратуры, что позволит уточнить постановку задач поиска эффективных решений в смысле Парето.

Ключевые слова: сложная техническая аппаратура, техническое обслуживание, ремонт, ремонтно-профилактические работы, аварийно-восстановительные работы, планирование технического обслуживания, имитационное моделирование

Для цитирования: Скатков А.В., Доронина Е.Б. Операторный язык создания сценариев управления нестационарными процессами ремонтно-профилактических работ сложной технической аппаратуры // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2023. № 1. С. 48–61.

Scientific article

OPERATOR LANGUAGE FOR CREATING CONTROL SCRIPTS NON-STATIONARY PROCESSES OF REPAIR AND PREVENTIVE MAINTENANCE OF COMPLEX TECHNICAL EQUIPMENT

Skatkov Aleksandr V.
Sevastopol state university, Sevastopol, Russia.
✉Doronina Ekaterina B.
Scientific and educational center of aerospace defense «Almaz-Antey» named after academician V.P. Efremov, Sevastopol, Russia
✉doka0605@yandex.ru

Abstract. An approach is proposed to solving the problem of managing maintenance and emergency recovery operations as a formalized scenario within the framework of the operational theory of describing non-stationary processes based on a special formulated operator language that will facilitate the development of analytical and simulation models. Four scenarios are proposed and simulation models are constructed for analyzing and predicting the parameters of technological processes of maintenance and emergency recovery operations of complex equipment, which will clarify the formulation of the tasks of finding effective solutions in the sense of Pareto.

Keywords: complex technical equipment, maintenance, repair, maintenance and preventive maintenance, emergency recovery work, maintenance planning, simulation modeling

© Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2023

For citation: Skatkov A.V., Doronina E.B. Operator language for creating scenarios for managing non-stationary processes of repair and preventive maintenance of complex technical equipment // Scientific and analytical journal «Vestnik Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia». 2023. № 1. P. 48–61.

Введение

Процессы ремонтно-профилактических работ (РПР) сложной технической аппаратуры (СТА) могут быть как регламентными, стационарными, так и нестационарными, что привносит в анализ, планирование и управление неопределенности различных типов [1–4]. Кроме необходимости выполнения комплекса регламентных технологических операций и организационных действий по поддержанию работоспособности или восстановлению исправности при использовании по назначению СТА, при реализации управления процессами РПР СТА на нерегулярной основе, например, при оперативном ремонте или аварийно-восстановительных работах, возникает неопределенность в распределении ресурсов или определении временных рамок процесса. Источниками неопределенности РПР, кроме общеизвестных, являются: составной характер операций, вариабельность условий и сред реализации обслуживания, виды аварийно-восстановительных работ, выход из строя компонентов электрооборудования, что приводит к потере первоначальной производительности, перебоям в подаче электричества, серьезным механическим повреждениям или нарушению работоспособности подключенных электроприборов. Ремонтно-восстановительные или аварийно-восстановительные работы необходимы для оперативного устранения поломок, выявления и устранения причин неисправностей, выполнения запланированного технического обслуживания [5–8].

В источниках [9, 10] рассмотрены модели планирования на основе классификации ремонтов на плановые и неплановые, учитывается, что элементы системы связи и радиотехнического обеспечения полётов относятся к классу элементов с возрастающей функцией интенсивности отказов, аппроксимирующейся линейной функцией времени и коэффициента, определяющего интенсивность старения элементов. Предложенный в работе метод позволяет планировать интенсивности ремонтов, но не учитывает ряд описанных выше неопределенностей, связанных с изменением задач в ходе обслуживания СТА. В ряде источников рассматривается применение графо-аналитического подхода к планированию, в том числе операций РПР, представляющих собой обширную область исследований в теории графов с возможностью постановки и решения задач планирования, например, определения оптимальных вложений на участках рабочего процесса и т.п. [11].

Таким образом, необходимость разработки задач в различных постановках планирования РПР, нестационарный характер процесса РПР, а также распространенное применение графоаналитического подхода к решению приводят к необходимости создания нового операторного языка на графах рабочих процессов с целью описания операционных процессов РПР и дальнейшей постановки задач оптимизации, в том числе на основе Парето подхода, что и составляет содержание настоящей статьи.

Цель статьи

Для представления процесса управления РПР СТА как формализованного сценария в рамках операционной теории описания нестационарных процессов предложить специальный операторный язык, что позволит осуществить постановку задач анализа, оптимизации, в том числе поиска эффективных решений в смысле Парето.

Формулировка базовых положений операторного макроязыка

В предположении о том, что процесс РПР имеет дискретную природу, то есть четко различимые состояния, при описании этого процесса применим графо-аналитический подход. Такое описание процессов в РПР позволяет сформулировать ряд положений, касающихся режимов работы и описания альтернативных вариантов режимов на основе путей на графе процесса.

Схемы процессов и подпроцессов РПР СТА, сформулированные особенности построения информационного обеспечения РПР электронных модулей СТА отражают сложный иерархический характер таких структур. Для упорядочения процесса построения технологического процесса (ТП) РПР СТА и сокращения разнообразия приемов и методик реализации схемы, предложен операторный язык описания (ОЯО) технологического процесса РПР СТА, который основан на аналогиях описаний алгоритмов программных систем.

Сформулируем ряд необходимых понятий ОЯО ТП РПР:

– Операция (Оп) содержит одно или несколько неделимых действий из состава регламента РПР СТА (минимальная операционная единица РПР СТА).

– Макрооперация (МОп) – это набор операций с возможностью формирования альтернатив подпроцесса РПР СТА, то есть с возможностью операционного реконфигурирования РПР СТА.

МОп может быть описана следующим образом: МОп {список идентификаторов (№, наименование, шифр); ресурсоемкость (требуемые ресурсы), информативность (уровень исходной и выходной энтропии электронных модулей СТА), количество операций}.

МОп аналогична макросу, то есть набору команд и инструкций, группируемых вместе в виде единой команды для автоматического выполнения задачи или макрокоманде – программному алгоритму действий [12].

– Операционная заглушка (ОЗ) – ограничение доступа к определенным ОП с одной или несколькими целями: сокращение длительности РПР СТА; реконфигурирование подпроцесса РПР СТА; отладка процесса РПР СТА без его полной остановки и др.

Принятое обозначение ОЗ используется по аналогии с функций, возвращающей пустой результат или входные данные в неизменном виде, которая используется для наглядности при проектировании структуры классов приложения, часть функций может быть «заглушена» для отладки других функций, для ограничения доступа к некоторым полям класса (например, к корню дерева) [13].

На основе теории графов и с учетом множества ОЗ может быть описан принцип соотношения полного графа, соответствующего полному техпроцессу РПР СТА, и подграфа, соответствующего подмножеству базовых операций ТП РПР СТА.

– Операционная гиперссылка (ОГс) – определение точки перехода на Оп или МОп на другом иерархическом уровне ТП с целью обозначить возможность альтернативного пути при реализации РПР СТА.

Операция ОГс предложена по аналогии с гиперссылками гипертекста (hyperlink), которые определяются как часть гипертекстового документа, ссылающиеся на элемент в этом документе или на другой объект (файл (документ), каталог, приложение), расположенный на локальном диске или в компьютерной сети, либо на элементы этого объекта [14].

На основе введенных элементов операторного языка, технологический процесс РПР СТА может быть представлен как упорядоченная совокупность операций и макроопераций. Альтернативные допустимые технологические процессы РПР формируются за счет декомпозиций базовых техпроцессов РПР в случаях нестационарной динамики задач ремонта на основе ОЗ и ОГс, что позволит наиболее эффективно формировать альтернативные технологические процессы и реализовать исследование их характеристик на основе средств имитационного моделирования. Для расширения возможностей

моделирования при применении предложенного ОЯО, рассмотрим принципы и методы реструктуризации состава макроопераций техпроцесса РПР СТА.

Реструктуризация состава макроопераций ТП РПР СТА на основе введенных операторов макроязыка

Операционный язык представляет собой совокупность операторов и операндов, а также множество нотаций его реализации. Операнды ОЯО представлены следующим набором описаний: {Оп, МОп, ОЗ, ОГс} и набором операторов преобразований орграфа техпроцесса РПР. Рассмотрим их подробнее.

1. Оператор сочетания предшествующего или последующего этапов техпроцесса РПР OU_{ij} реализуется на основе сцепления его операций Oi и Oj:

$$OU_{ij} = Oi \times Oj,\ j = i + 1, \tag{1}$$

где i, j – индексы номеров операций Oi и Oj, $j, i \in N$ – множество всех этапов ТП РПР.

Этот операнд позволяет сформировать новый этап технологического процесса РПР, который содержит задачи предыдущих или последующих этапов в виде операций Oi и Oj, но требует меньшее время реализации. Снижение длительности нового этапа OU_{ij} может быть осуществлено за счет возможного отсутствия длительности паузы между операциями; реструктуризации самих этапов, участвующих в операции сцепления и т.п.

2. Оператор сочетания не предшествующего и не последующего (несмежных) этапов ТП РПР OU_{ij}, $j \neq i \pm 1$ реализуется на основе сцепления операций Oi и Oj:

$$OU_{ij} = Oi \times Oj,\ j \neq i \pm 1. \tag{2}$$

Примеры OU_{ij} для некоторого устройства, обозначенного условно Т1: совокупность операций нормоконтроля и описания, которые разнесены во времени и могут не являться последовательными этапами, но в определенных ситуациях – реализуются совместно.

3. Оператор поглощения (слияния) предыдущего или последующего технологического процесса РПР OP_{ij} реализуется на основе реструктуризации операций Oi и Oj:

$$OP_{ij} = Oi \rightarrow Oj,\ j = i + 1\ , \tag{3}$$

где символ «→» означает слияние i и j в операции i.

Этот оператор позволяет сформировать новый этап ТП РПР, который частично содержит задачи предыдущего и последующего этапов Oi и Oj, либо формируется на основе реинжиниринга (полной реструктуризации соседних этапов), при этом требует меньшее время реализации. Снижение длительности нового этапа OP_{ij} может быть осуществлено за счет полной или частичной реструктуризации самих этапов при их поглощении (слиянии) и т.п.

4. Оператор поглощения (слияния) несмежных этапов ТП РПР $OP_{ij}, j \neq i \pm 1$ реализуется на основе реструктуризации операций Oi и Oj:

$$OP_{ij} = Oi \rightarrow Oj,\ j \neq i \pm 1. \tag{4}$$

Пример OP_{ij} для рассматриваемого устройства Т1: реализация некоторого запроса к базе данных тестов, созданных для этого Т1 на основе одной операции реляционной алгебры и составного запроса из двух подзапросов.

Операторы с предварительным выделением важных работ, участвующих в снижении неопределенности, являются гибридными, то есть многоместными, остальные операторы, соответственно, одноместные. Операторная структура технологического процесса принимает сложный вид, и для адекватности описания предлагается использовать многоместные операторы.

Гибридный оператор укрупнения этапов ТП РПР OG_{ij} реализуется на основе двух или более описанных ранее операторов реструктуризации операций *Oi* и *Oj*:

$$OG_{ij} = \begin{cases} OU_{ij} = Oi \times Oj,\ j = i+1 \\ OU_{ij} = Oi \times Oj,\ j \neq i \pm 1 \\ OP_{ij} = Oi \to Oj,\ j = i+1 \\ OP_{ij} = Oi \to Oj,\ j \neq i \pm 1 \end{cases}. \quad (5)$$

Исходя из введенных описаний, сформулируем определение сценария технологического процесса ремонтно-профилактических работ СТА.

Под сценарием ТП РПР СТА будем понимать упорядоченное множество операций $O_i \in \Theta$, при условии, что $\exists\ O_p, p \in P$, $O_b, b \in B$, $O_\omega, \omega \in \Omega$ из подмножеств МОп, а также определены ОЗ и ОГс. Таким образом, определим сценарий как некоторый план РПР $\tilde{\Pi}_{NJ}$:

$$C_J : \tilde{\Pi}_{NJ} = < x_{11} \cdot O_1,\ x_{12} \cdot O_i, ...,\ x_{1N} \cdot O_J >;\ O_i \in \{O_p, O_B, O_\Omega\}, O_i \subseteq \Theta. \quad (6)$$

$$C_j = < x_i \cdot O_i \mid O_i \subseteq \Theta >;\ x = < x_1, x_2, ..., x_J >.$$

Следует отметить, что для $\tilde{\Pi}_{NJ}$ в (6) C_j и не всегда справедливо $O_p \cup O_b \cup O_\omega$ в Θ. Это условие отражает возможную операционную неполноту сценариев, например, в случае оперативного РПР с сокращением некоторых операций для обеспечения заданного времени выполнения (сокращение за счет дополнительных или избыточных операций): $O_p, p \in P$, $O_\omega, \omega \in \Omega$ в рамках текущей задачи $Z_j \in \{Z\},\ j = \|J\|$).

Структура сценария для графа технологического процесса РПР СТА имеет вид:

$$C_j < G_j, E_j > = C_j < G_j(a,b), w_b(o_b, r_b) >,$$

где $G_j(a,b)$ – структура орграфа; a – вершины, соответствующие ОП или МОп ($O_i \in \Theta$); b – дуги этого орграфа; E_j – параметры графа, в данном случае веса дуг, соответствующие временам выполнения операций и требуемым ресурсам на эту операцию $E_j = w_b(o_b, r_b)$.

Каждый сценарий может быть отображен в критериальном пространстве как вектор с помощью некоторой модели.

Таким образом, на основе приведенных формальных описаний операций и операторов ОЯО получено определение сценариев технологического процесса РПР, что позволило сузить множество квазиэффективных решений (полученных на основе нестационарного фронта Парето) в задаче многокритериальной оптимизации этого процесса. Сформулированные решения положены в основу системы поддержки принятия решений по повышению эффективности ремонтов СТА.

Задача определения альтернативных процессов планов РПР СТА

В качестве примера реализации РПР рассмотрим гетерогенное, мультикомпонентное сложное техническое устройство (СТУ) и его элемент Т1, примем множество Оп {О} (как этапов РПР), которое в общем случае реализуется следующей последовательностью работ: **О1**<Прием и идентификация Т1, входящего в состав СТУ>; **О2**<Прием и идентификация элемента Т1, входящего в состав устройства СТУ >; **О3**<Определение перечня типовых элементов замены (Тn), входящих в устройство СТУ, на которых реализован РПР>; **О4**<Анализ существующего (сопутствующего) ТЗ на РПР для устройства СТУ или его элементов Тn>; **О5**<Изучение технической документации на Т1 для определения уровня доработок, принятия решения о внесении доработок>; **О6**<Определение технических возможностей ремонтно-диагностической аппаратуры осуществлять необходимые действия для каждого Тn>; **О7**<Распределение Тn по конструктивному исполнению между различными типами ремонтно-диагностической аппаратуры в соответствии со спецификацией устройства СТУ >; **О8**<Утверждение списка Тn для разработки на определенном виде аппаратуры согласно специализации>; **О9**<Изучение технической документации на элемент Т1 устройства СТУ >; **О10**<Подготовка библиотеки элементов, используемых в Т1>; **О11**<Разметка схемной документации на Т1>; **О12**<Определение способа подключения Т1 к ремонтно-диагностической аппаратуре. Отработка схемы адаптера. Отработка конструкторской документации на адаптер>; **О13**<Изготовление адаптера>; **О14**<Создание алгоритмов проверки, настройки и ремонта Т1>; **О15**<Подключение Т1 к ремонтно-диагностической аппаратуре с помощью адаптера и отладка алгоритмов проверки, настройки и ремонта Т1>; **О16**<Отработка вспомогательного материала для диагностики и ремонта Т1>; **О17**<Документальное оформление РПР (инструкция проверки, схемная документация и т.д), проверка ее в нормоконтроле>; **О18**<Сдача РПР заказчику. Утверждение документации>; **О19**<Сдача утвержденной документации в архив>; **О20**<Техническое сопровождение устройства Т в процессе эксплуатации>.

Технологический процесс РПР СТУ конкретного Т1 состоит из набора операций, заданных лицом, принимающим решение (ЛПР), с учетом регламента. Выполнение этих работ может быть отображено множеством различных путей на графе. Имеется некоторая обоснованная регламентом свобода выбора варианта пути. К двум основным вариантам относятся: директивно-заданный набор операций и набор, обусловленный опытом исполнителя (специализированный набор операций).

На рис. 1 представлена полная схема работ (вид схемы ТП) РПР для приведенного множества операций *Oi*. с описанием макроопераций – укрупненных групп операций (УГО). Отметим, что структура и состав ОЯО выбраны таким образом, чтобы облегчить переход к построению имитационных моделей на базе инструментария AnyLogic.

Особенностями схемы ТП РПР, приведенной на рис. 1, являются: сложный многокомпонентный состав, избыточность операций как компенсация неопределенности, связанная со сложностью оборудования и возможных неполадок в его работе. Для организационно-технологических процессов, к которым относится ТП РПР рассматриваемого СТУ, возможно провести укрупнение путем композиции некоторых этапов с применением описанных выше операторов.

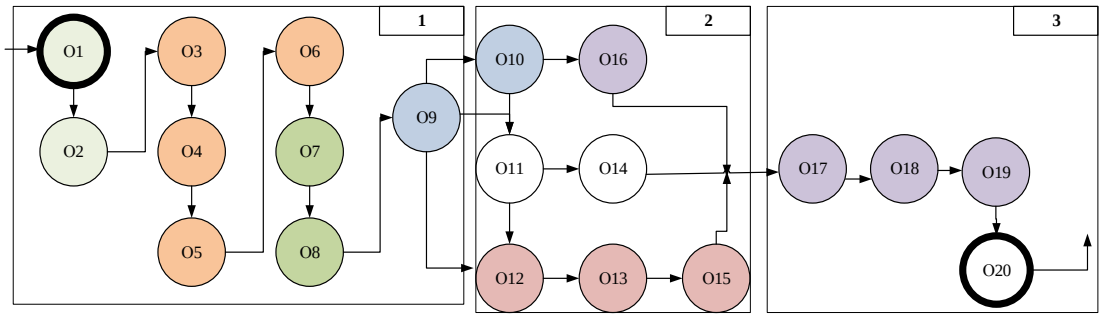


Рис. 1. **Схема модели ТП в рамках регламентных операций *Oi* для рассматриваемого СТА**

На схеме рис. 1 выделены некоторые УГО ТП исходя из спецификации операций в виде макроопераций: 1) O1–O9 – подготовительные $O_p, p \in P$; 2) O10–O15 – базовые РПР, $O_b, b \in B$; 3) O15–O20 –обеспечивающие РПР $O_\omega, \omega \in \Omega$.

Полный РПР определяется на двух уровнях: на нижем – как объединение всех возможных операций РПР (по регламенту): $\bigcup_{i=1}^{N} O_i$; на верхнем уровне – как объединение трех МОп: $\Theta = O_p \cup O_b \cup O_\omega$, где $O_p, p \in P$, $O_b, b \in B$, $O_\omega, \omega \in \Omega$ – подмножества макроопераций из множества Θ РПР. Обозначим Z_p – как задачу, являющуюся источником требований выполнения операций из подмножеств O_p, O_b, O_ω; Z – множество всех возможных задач обслуживания СТУ в рамках РПР. Считаем, что множество Θ является функционально полным, если выполняется условие: любая задача $Z_j \in \{Z\}, j = \|J\|$ может быть решена на основе некоторого $O_i \in \Theta$: $\forall z_i \in \{Z\}\ \exists\ O_i \in \Theta$.

В каждой макрооперации существует выбор альтернативных вариантов выполнения или игнорирования определенных работ в заданных организационных условиях. На основе выбранных операций в каждой МОп могут быть сформированы сценарии реализации ТП РПР, связанные с конкретным типом организации РПР (например, оперативный ремонт, полный ремонт и диагностика, проверка, заданная ЛПР). В условиях, связанных с оперативным решением задач или реализующих решения ЛПР, точный регламент работ не во всех случаях может быть осуществлен, что порождает неопределенность, вариативность и, как следствие, необходимость принятия решений по выбору варианта совокупности операций.

В связи с тем, что техпроцесс РПР СТА, приведенный на рис. 1, имеет сложный многокомпонентный состав, обладающий высоким уровнем избыточности, возможно провести его укрупнение путем композиции некоторых этапов. Применение принципов укрупнения этапов ТП РПР, описанное операторами (1–5), позволяет получить реструктурированный ТП РПР с сокращением времени на переключение между операциями и изменением их длительности в связи с реинжинирингом. С учетом операторов (1–5) построен укрупненный вид ТП РПР.

Для рассматриваемого СТА множество вариантов реализации РПР представлено в виде основных сценариев (С1–С4), приведенных в табл. 1.

Таблица 1

Описание альтернативных сценариев реализации технологических процессов РПР СТА

№	Сценарий	Орграф	Описание технологического процесса
1	C1	G1	Оперативный ремонт устройства T1, выбор базовых задач (минимальный набор задач)
2	C2	G2	Оптимальная диагностика устройства T1
3	C3	G3	Полная проверка устройства T1, полная реализация задач (максимальный набор задач)
4	C4	G4	Задачи, предложенные ЛПР

Для сценария C1, соответствующего минимальному набору операций, вектор ТП РПР определен как:

$$C1: x = < O_2, O_{4,5}, O_7, O_{8,9}, O_{10}, O_{11}, O_{12,13,15}, O_{14}, O_{17,18,19}, O_{20} > .$$

Для сценариев C2, C3, C4 характерна возможность однотипного укрупнения операций, что связано с учетом информативности и ресурсов в первую очередь. Для сценария C1, связанного с требованием оперативности реализации ТП РПР, и, следовательно, учета длительности операций, укрупнение производится особым способом (в соответствии с требованиями ЛПР).

Для сценария C2 – оптимальная диагностика (ремонт) устройства T1, вектор ТП РПР определены как:

$$C2: x = < O_3, O_{4,5}, O_{8,9}, O_{10}, O_{11}, O_{12,13,15}, O_{14}, O_{16,17}, O_{18,19}, O_{20} > .$$

Для сценария C3 – полная проверка T1, реализация всех операций, вектор ТП РПР определен как:

$$C3: x = < O_{1,2}, O_3, O_{4,5}, O_{6,7}, O_{8,9}, O_{10}, O_{11}, O_{12,13}, O_{14}, O_{15}, O_{16,17}, O_{18,19}, O_{20} > .$$

Для сценария C4 – текущая проверка T1, выбор этапов по требованию ЛПР, вектор ТП РПР определены как:

$$C4: x = < O_{1,2}, O_3, O_{4,5}, O_{8,9}, O_{10}, O_{11}, O_{12,13,15}, O_{14}, O_{16,17} > .$$

С учетом ряда особенностей построения имитационных моделей в среде AnyLogic, схема имитационной модели для сценария 1: оперативный ремонт устройства T1, выбор базовых задач (минимальный необходимый набор задач) в среде AnyLogic – приведена на рис. 2.

На рис. 3 и 4 приведены схемы моделей, реализованных в среде AnyLogic по сценариям C3 и C4 соответственно, отличающихся от приведенной на рис. 2 схемы с учетом возможности точечного изменения порядка следования операций, согласно оперативным решениям ЛПР.

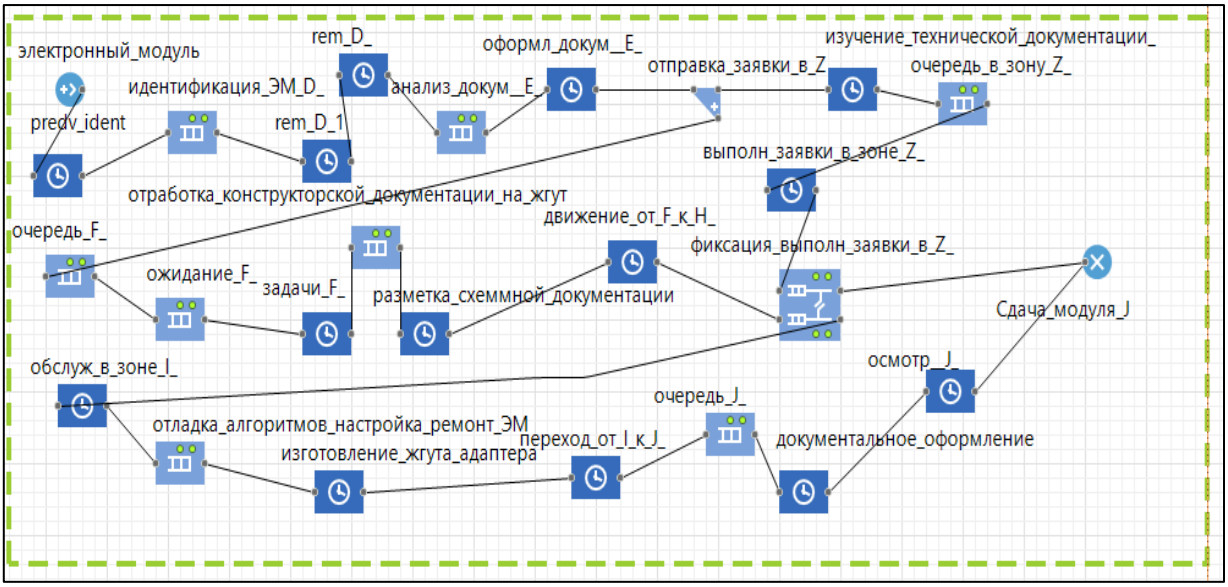


Рис. 2. **Схема модели для сценария С1 РПР СТА**

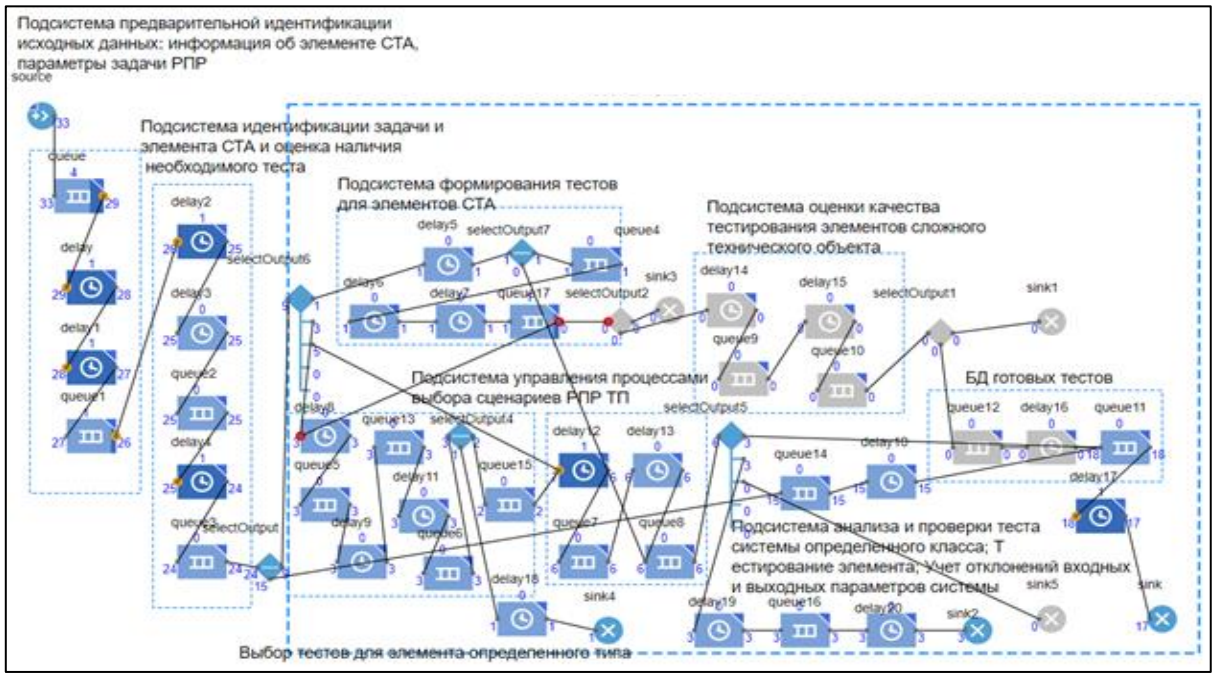


Рис. 3. **Схема модели полного РПР СТА по сценарию С3 с ветвлением, соответствующим изменению порядка операций ЛПР**

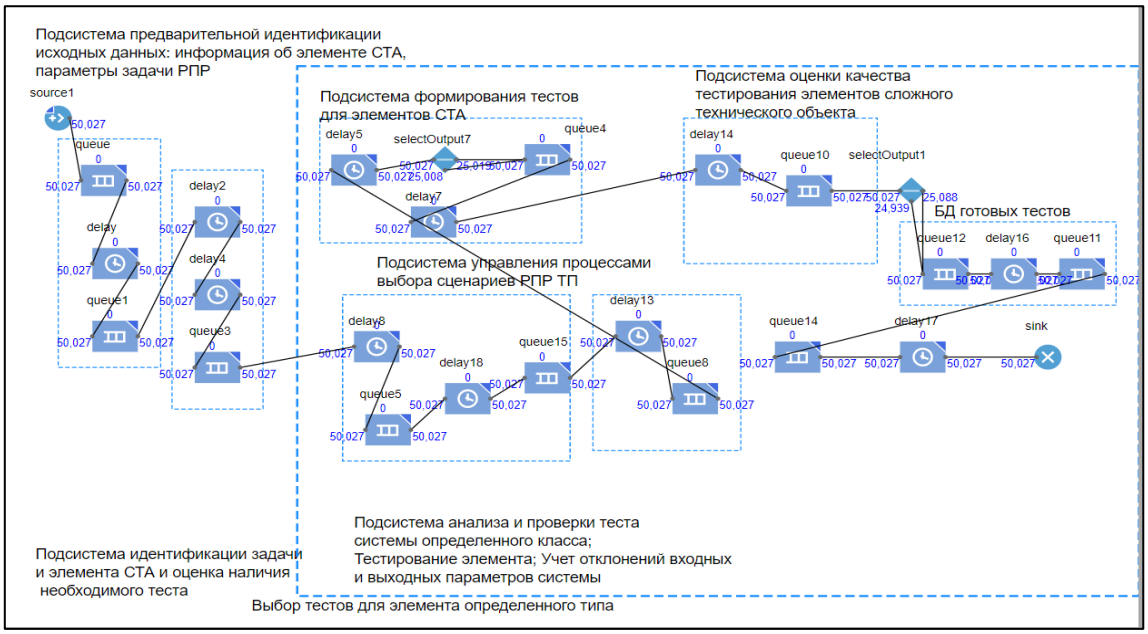


Рис. 4. **Схема модели РПР СТА в случае требования крайней оперативности и ветвлением, соответствующим изменению порядка операций ЛПР (сценарий С4)**

С учетом введенных предположений и построенных ранее схем сценариев С1, С3, С4, построена модель в среде AnyLogic для сценария С2: выбор необходимых задач в рамках реструктурированного ТП РПР (рис. 5).

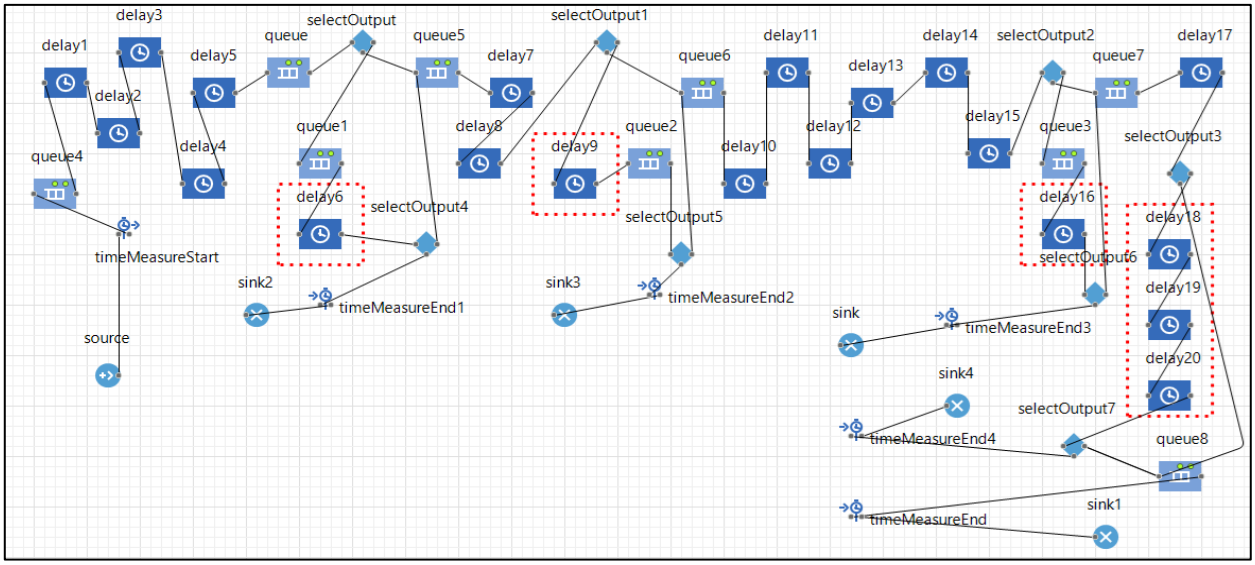


Рис. 5. **Схема модели сценария С2 РПР СТА**

Особенностью модели, приведенной на рис. 5, является возможность настройки отображенного в модели процесса РПР в зависимости от решения задачи МКО при заданных ЛПР условиях, что отражено наличием блоков selectOutput (выбора) и их параметризацией.

Таким образом, применение ОЯО позволило построить четыре сценария ТП РПР СТА с ориентацией на имитационные модели в вероятностной постановке. В противном случае, применение классического графового подхода привело бы к необходимости представления, разметки, декомпозиции и формулировки задачи управления ТП РПР СТА в детерминированном варианте с привлечением эксперта ЛПР.

В табл. 2 и на рис. 6 приведены результаты моделирования длительности реализации РПР для некоторого СТА по сценарию С3 (полный набор операций) и сравнение с результатами натурных замеров (экспериментов) по сценариям С1 и С3.

Таблица 2

Сравнение результатов моделирования длительности реализации РПР для некоторого СТА по сценарию С3

Номер операции ТП РПР СТА:	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	**19**	**20**	**Суммарное время на РПР**
Средняя длительность операции по С3 результату натурных наблюдений, час.	15	15	15	10	30	10	15	15	20	35	25	20	30	30	50	45	45	35	30	10	500
Результаты моделирования длительности операций по сценарию С3, час.	8	10	10	15	34	8	11	18	14	22	30	20	22	31	55	40	40	40	30	12	470
Средняя длительность операции по С1 результату натурных наблюдений, час.	15	15	15	10	30	0	15	15	0	35	25	20	30	30	50	0	45	0	0	0	350

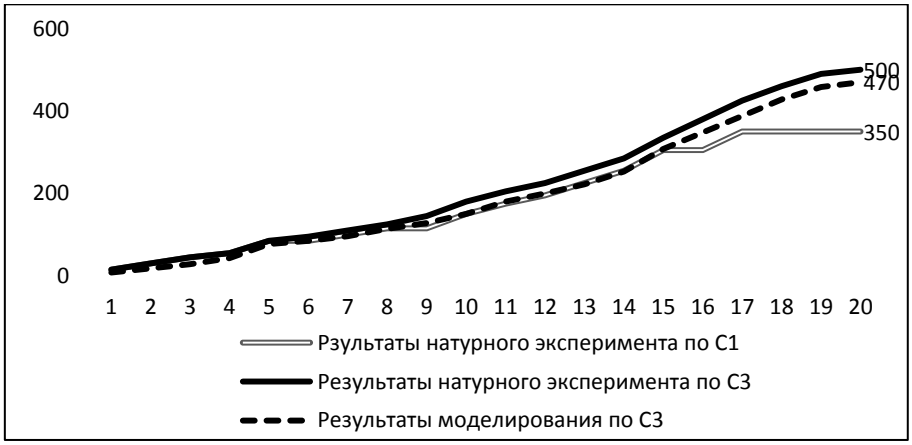


Рис. 6. **Сравнение результатов моделирования длительности реализации операций РПР для некоторого СТА по сценарию С3 (полный набор операций) с накоплением времени и результатов натурных замеров (экспериментов) по сценариям С1, С3**

Приведенные результаты в табл. 2 и на рис. 6 имитационного моделирования по полному сценарию С3 и сравнение с длительностями экспериментальных замеров по сценариям С1 и С3 отражают накопление расхождения времен, начиная с ОП О8–О15 и значительного расхождения с ОП О17, что подтверждается содержательным описанием сценариев и иллюстрирует применимость полученных моделей на практике.

Заключение

Для решения задачи построения и оптимизации технологического процесса РПР СТА предложен ОЯО, который основан на аналогиях описаний алгоритмов программных систем, что позволило формализовать сложные конструкции организационно-аналитического представления РПР. Формулировка операторов макроязыка позволила сформулировать сценарный подход, на основе которого предложен ряд конкретных решений оптимизации РПР СТА и построены схемы моделей по каждому из сценариев, описаны их особенности и принципы параметризации в вероятностной постановке задачи исследования.

На основе результатов моделирования по построенным схемам имитационных моделей в среде AnyLogic можно сделать вывод о том, что предложенный подход отражает развитие исходной модели и позволяет принимать решения по оптимизации нестационарных технологических процессов РПР наиболее эффективным образом.

Список источников

1. ГОСТ 18322–2016. Система технического обслуживания и ремонта оборудования. Термины и определения. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

2. ГОСТ 27.002–89. Надежность в технике основные понятия. Термины и определения. Доступ из информ.-правового портала «Гарант».

3. Арепин Ю.И., Смоляков А.А., Допира Р.В. Военная кибернетика: методология создания автоматизированных систем управления техническим обеспечением: монография. Тверь: ЗАО НИИ «Ценртпрограммсистем», 2006. 204 с.

4. Винник А.И., Макаренко Н.Г., Шаргаев А.А. Совершенствование системы технического обслуживания и ремонта бронетанкового вооружения и техники // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. 2016. № 4 (50). Р. 7–13.

5. Федотов А.В., Иванов П.С. Подход к построению имитационной модели системы технического обслуживания и ремонта военных приборов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2016. № 5. Р. 277–283.

6. Безуглов А., Кислицына О. Ключевые показатели эффективности при проведении технического обслуживания и ремонта оборудования // Russian Journal of Innovation Economics. 2019. № 9. P. 1501. DOI: 10.18334/vinec.9.4.41208.

7. Буренок В.М. Проблемы создания системы управления полным жизненным циклом вооружения, военной и специальной техники // Вооружение и экономика: электронный научный журнал. 2014. № 2 (27). С. 4–10.

8. Доронина Е.Б., Скатков А.В. Многокритериальная оптимизация ремонтно-профилактических работ сложной технической аппаратуры на основе нестационарного фронта Парето // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2022. № 1. С. 52–64.

9. Алексеев В.В., Хоменко И.В., Прохорский Р.А. Модели планирования ремонтов и замен элементов в процессе жизненного цикла сложных технических систем // Вестник Воронежского института МВД России. 2011. № 3. С. 94–102.

10. Методика построения и расчета интегрированной динамической сетевой модели процессов технического обслуживания и войскового ремонта образцов вооружения и военной техники воздушно-космических сил Земли / Д.В. Ягольников [и др.] // Наукоемкие технологии в космических исследованиях. 2017. № 9 (5). С. 26–32.

11. Афанасьев А.Н. Методология графо-аналитического подхода к анализу и контролю потоков работ в автоматизированном проектировании сложных компьютеризованных систем // Вестник УлГТУ. 2011. № 3 (55). С. 48.

12. Хювёнен Э., Сеппянен Й. Мир Лиспа: в 2-х т.; пер. с финск. М.: Мир, 1990. ISBN 5-03-001935-9 (рус.). ISBN 5-03-001336-9. ISBN 951-26-2787-6 (финск.)

13. Гленфорд Майерс, Том Баджетт, Кори Сандлер. Искусство тестирования программ. 3-е изд. М.: Диалектика, 2012. 272 с.

14. Роббинс Дж. HTML5, CSS3 и JavaScript. Исчерпывающее руководство: пер с англ. М.А. Райтман. 4-е изд. М.: ЭКСМО, 2014. 528 с.

References

1. GOST 18322–2016. Sistema tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta oborudovaniya. Terminy i opredeleniya. Dostup iz sprav.-pravovoj sistemy «Konsul'tantPlyus».

2. GOST 27.002–89. Nadezhnost' v tekhnike osnovnye ponyatiya. Terminy i opredeleniya. Dostup iz inform.-pravovogo portala «Garant».

3. Arepin Yu.I., Smolyakov A.A., Dopira R.V. Voennaya kibernetika: metodologiya

sozdaniya avtomatizirovannyh sistem upravleniya tekhnicheskim obespecheniem: monografiya. Tver': ZAO NII «Cenrtprogrammsistem», 2006. 204 s.

4. Vinnik A.I., Makarenko N.G., Shargaev A.A. Sovershenstvovanie sistemy tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta bronetankovogo vooruzheniya i tekhniki // Vestnik Sibirskoj gosudarstvennoj avtomobil'no-dorozhnoj akademii. 2016. № 4 (50). P. 7–13.

5. Fedotov A.V., Ivanov P.S. Podhod k postroeniyu imitacionnoj modeli sistemy tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta voennyh priborov // Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki. 2016. № 5. P. 277–283.

6. Bezuglov A., Kislicyna O. Klyuchevye pokazateli effektivnosti pri provedenii tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta oborudovaniya // Russian Journal of Innovation Economics. 2019. № 9. S. 1501. DOI: 10.18334/vinec.9.4.41208.

7. Burenok V.M. Problemy sozdaniya sistemy upravleniya polnym zhiznennym ciklom vooruzheniya, voennoj i special'noj tekhniki // Vooruzhenie i ekonomika: elektronnyj nauchnyj zhurnal. 2014. № 2 (27). S. 4–10.

8. Doronina E.B., Skatkov A.V. Mnogokriterial'naya optimizaciya remontno-profilakticheskih rabot slozhnoj tekhnicheskoj apparatury na osnove nestacionarnogo fronta Pareto // Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MCHS Rossii». 2022. № 1. S. 52–64.

9. Alekseev V.V., Homenko I.V., Prohorskij R.A. Modeli planirovaniya remontov i zamen elementov v processe zhiznennogo cikla slozhnyh tekhnicheskih sistem // Vestnik Voronezhskogo instituta MVD Rossii. 2011. № 3. S. 94–102.

10. Metodika postroeniya i rascheta integrirovannoj dinamicheskoj setevoj modeli processov tekhnicheskogo obsluzhivaniya i vojskovogo remonta obrazcov vooruzheniya i voennoj tekhniki vozdushno-kosmicheskih sil Zemli / D.V. Yagol'nikov [i dr.] // Naukoemkie tekhnologii v kosmicheskih issledovaniyah. 2017. № 9 (5). S. 26–32.

11. Afanas'ev A.N. Metodologiya grafo-analiticheskogo podhoda k analizu i kontrolyu potokov rabot v avtomatizirovannom proektirovanii slozhnyh komp'yuterizovannyh sistem // Vestnik UlGTU. 2011. № 3 (55). S. 48.

12. Hyuvyonen E., Seppyanen J. Mir Lispa: v 2-h t.; per. s finsk. M.: Mir, 1990. ISBN 5-03-001935-9 (rus.). ISBN 5-03-001336-9. ISBN 951-26-2787-6 (finsk.)

13. Glenford Majers, Tom Badzhett, Kori Sandler. Iskusstvo testirovaniya programm. 3-e izd. M.: Dialektika, 2012. 272 s.

14. Robbins Dzh. HTML5, CSS3 i JavaScript. Ischerpyvayushchee rukovodstvo: per s angl. M.A. Rajtman. 4-e izd. M.: EKSMO, 2014. 528 s.

Информация о статье:
Статья поступила в редакцию: 26.12.2022; одобрена после рецензирования: 09.01.2023; принята к публикации: 12.01.2023

Information about the article:
The article was submitted to the editorial office: 26.12.2022; approved after review: 09.01.2023; accepted for publication: 12.01.2023

Информация об авторах:
Скатков Александр Владимирович, профессор кафедры «Информационные технологии и компьютерные системы» Севастопольского государственного университета (299053, г. Севастополь, ул. Университетская, д. 33), доктор технических наук, профессор, e-mail: vm1945@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-5678-9587
Доронина Екатерина Борисовна, аспирант Автономной некоммерческой организации «Научно-образовательный центр воздушно-космической обороны «Алмаз-Антей» им. академика В.П. Ефремова» (121471, Москва, ул. Верейская, д. 41, стр. 2), e-mail: doka0605@yandex.ru

Information about authors:
Skatkov Aleksander V., professor of the department of «Information technologies and computer systems» of the Sevastopol state university (299053, Sevastopol, st. Universitetskaya, d. 33), doctor of technical sciences, professor, e-mail: vm1945@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-5678-9587
Doronina Ekaterina B., postgraduate student of the Autonomous non-profit organization «Scientific and educational center of aerospace defense «Almaz-Antey» named after academician V.P. Efremova, (121471, Moscow, Vereiskaya st., 41, buil. 2), e-mail: doka0605@yandex.ru

Научная статья
УДК 621.391

ОБОСНОВАНИЕ И ВЫБОР ВИДА ПЕРЕДАЧИ ДЛЯ ДЕКАМЕТРОВЫХ ЛИНИЙ РАДИОСВЯЗИ МЧС РОССИИ

Чудаков Андрей Михайлович;
Русин Александр Алексеевич.
Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного, Санкт-Петербург, Россия.
Жеглов Кирилл Дмитриевич.
Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, Санкт-Петербург, Россия.
✉Дворников Сергей Викторович;
Дворников Сергей Сергеевич.
Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, Санкт-Петербург, Россия;
Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного, Санкт-Петербург, Россия
✉practicdsv@yandex.ru

Аннотация. Представлены результаты по обоснованию выбора видов передачи и классов излучений для организации декаметровой связи в сетях МЧС России. Рассмотрены возможности средств и комплексов радиосвязи, находящихся на довольствии региональных подразделений МЧС России. Проведен анализ известных подходов и технологии к формированию сигналов, в том числе используемых в стандартах ALE 2G и ALE 3G. Исследованы возможности синтеза сигналов амплитудной модуляции на основе квадратурного подхода. Предложен способ формирования сигналов однополосной модуляции с управляемым уровнем несущего колебания. Проведена оценка помехоустойчивости приема однополосных передач. Определены направления дальнейшего исследования.

Ключевые слова: однополосная модуляция, управляемый уровень пилот-сигнала, квадратурный модулятор, радиосвязь МЧС России, каналы декаметровой связи

Для цитирования: Чудаков А.М., Русин А.А., Жеглов К.Д., Дворников С.В., Дворников С.С. Обоснование и выбор вида передачи для декаметровых линий радиосвязи МЧС России // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2023. № 1. С. 62–74.

© Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2023

Scientific article

JUSTIFICATION AND SELECTION OF THE TYPE OF TRANSMISSION FOR DECAMETERS RADIO COMMUNICATION LINES OF EMERCOM OF RUSSIA

Chudakov Andrey M.;
Rusin Alexander A.
Marshal of the Soviet Union S.M. Budyonny Military academy of communications, Saint-Petersburg, Russia.
Zheglov Kirill D.
Saint-Petersburg state university of aerospace instrumentation, Saint-Petersburg, Russia.
✉Dvornikov Sergei V.;
Dvornikov Sergei S.
Saint-Petersburg state university of aerospace instrumentation, Saint-Petersburg, Russia;
Marshal of the Soviet Union S.M. Budyonny Military academy of communications, Saint-Petersburg, Russia
✉practicdsv@yandex.ru

Abstract. The results of substantiating the choice of types of transmission and classes of radiation for the organization of decameter communication in the networks of EMERCOM of Russia are presented. The possibilities of means and complexes of radio communication, which are at the allowance of the regional divisions of EMERCOM of Russia, are considered. An analysis was made of known approaches and technologies for signal generation, including those used in the ALE 2G and ALE 3G standards. The possibilities of synthesizing amplitude modulation signals based on the quadrature approach are investigated. A method for generating single-sideband modulation signals with a controlled level of the carrier wave is proposed. The evaluation of the noise immunity of reception of single-sideband transmissions was carried out. Directions for further research are determined.

Keywords: single-sideband modulation, controlled pilot signal level, quadrature modulator, radio communication of the EMERCOM of Russia, decameter communication channels

For citation: Chudakov A.M., Rusin A.A., Zheglov K.D., Dvornikov S.V., Dvornikov S.S. Justification and selection of the type of transmission for decameter radio communication lines of EMERCOM of Russia // Scientific and analytical journal «Vestnik Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia». 2023. № 1. P. 62–74.

Введение

Работа подразделений МЧС России при ликвидации чрезвычайных ситуаций достаточно часто происходит на весьма удаленных территориях от мест постоянной дислокации [1–3]. В таких ситуациях для поддержания связи организуются радионаправления посредством радиостанций средней мощности декаметрового диапазона [4–6]. Для этих целей, согласно отчету Всероссийского ордена «Знак Почета» научно-исследовательского института противопожарной обороны Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий [2], активно применяются радиостанции как отечественного, так и импортного производства. Таковыми являются радиостанции Р-140, Р-161 А2М, Р-130, Байкал-12, Байкал-18, а также Кенвуд ТК-80 и Айком 1С-78 [7].

На дальностях связи свыше 200 км использование ионосферного канала распространения радиоволн накладывает свои особенности на выбор режимов работы и видов передач [8, 9]. При этом в качестве классов излучений, рекомендуемых для работы ионосферным каналом, Главным управлением МЧС России обосновано использование A1A, J3E, B8E, F1B, F7B [10]. Указанный выбор определен не только результатами многолетнего

опыта по организации связи на дальностях свыше 200 км, но и эксплуатационными возможностями имеющихся средств [2].

Следует учитывать, что радиостанция Р-161 А2М разрабатывалась в начале 80-х гг. прошлого века [11], поэтому и реализованные в ней технические решения относятся к эпохе аналоговых технологий. Вместе с тем развитие цифровых технологий обусловило переход к методам квадратурного синтеза и обработки сигналов [12–14], которые открывают новые возможности по реализации известных классов излучений, в том числе с однополосной модуляцией (ОМ). С учетом этого, в статье представлены результаты сравнительного анализа помехоустойчивости сигналов амплитудной модуляции (АМ) и ОМ, а также предложения по формированию сигналов ОМ с регулируемым уровнем пилот-сигнала.

Особенности передачи сигналов по линиям радиосвязи декаметрового диапазона

Организация радиосвязи посредством использования ионосферного канала связана с определенными трудностями, обусловленными как нестабильностью самого ионосферного образования [15, 16], так и высоким уровнем канальных шумов [17]. Указанные обстоятельства накладывают определенные ограничения на применение классов излучений и частотного ресурса, выбор частотных границ которого зависит от дистанции связи, времени года, суток, солнечной активности и других факторов [15, 18].

С учетом указанных допущений и ограничений практическое применение получили аналоговые, а в последнее время и цифровые виды передач, скорость которых ограничивается 200 Бод/с [10, 19]. Один из факторов, обуславливающих выбор указанного значения скорости, связан с многолучевостью ионосферного канала.

На практике при организации декаметровой радиосвязи преимущественно используют телефонный режим работы с ОМ [20, 21], сигналы которой имеют частично подавленный пилот-сигнал (класс излучений: A3-A1, B1; A3A-A1, B1; A3H-A1, B1) и амплитудную телеграфию (класс излучения: A1) [2].

Иногда для повышения объема передаваемой информации используют АМ, в каждой из полос которой передают независимые сообщения (класс излучения: A3B различных модификаций). Кроме того, в декаметровой радиосвязи широко используют тональные модемы STANAG 5066 или MIL-STD-188-110B стандарта ALE 2G [22] и MIL-STD-188-141B стандарта ALE 3G [23].

В основе стандарта ALE 2G используется восьмитональная частотная манипуляция без разрыва фазы, получившая название 8FSK [10, 22]. При этом передача ведется опять же методом ОМ в полосе 0,75–2,5 кГц с общей скоростью 375 бит/с при символьной скорости 125 Бод.

Стандарт ALE 3G реализован на основе технологии ортогонального частотного мультиплексирования канала (OFDM) [24]. Для устойчивой работы оборудования стандарта ALE 3G требуется жесткая синхронизация на основе использования навигационного оборудования.

Следует отметить, несмотря на то, что стандарт ALE разработан более 20 лет назад, широкого распространения на территории Российской Федерации он не получил [2, 23].

Поэтому для МЧС России актуальными являются вопросы разработки и совершенствования классов излучений на основе ОМ.

Квадратурный синтез сигналов АМ и ОМ

Поскольку сигналы ОМ являются разновидностью сигналов АМ, то предварительно рассмотрим особенности формирования последних.

Так, в общем случае сигнал АМ может быть записан в виде следующего аналитического выражения [25, 26]:

$$s_{\text{AM}}(t) = s_0(t)\left[1 + m_{AM}\frac{s_\Omega(t)}{|s_\Omega(t)|_{\max}}\right], \quad (1)$$

где $s_0(t)$ – несущее колебание; $s_\Omega(t)$ – модулирующее колебание; $m_{\text{АМ}}$ – индекс АМ.

Удобство представления сигналов АМ посредством выражения (1) обусловлено тем, что оно раскрывает сущность механизма его формирования.

Так, в соответствии с формулой (1), нормирование модулирующего колебания позволяет осуществлять регулирование глубины модуляции путем изменения параметра $m_{\text{АМ}}$ в пределах:

$$m_{\text{АМ}} \in [0;1].$$

В простейшем случае при модуляции несущего колебания $A_0\cos(2\pi f_0 t)$ гармоникой $A_\Omega\cos(2\pi f_\Omega t)$ получим следующее выражение:

$$s_{\text{АМ}}(t) = A_0\left[1 + m_{AM}\frac{A_\Omega\cos(2\pi f_\Omega t)}{A_\Omega}\right]\cos(2\pi f_0 t). \quad (2)$$

Согласно выражению (2) результирующий АМ сигнал будет представлять собой сумму трех колебаний:

$$s_{\text{АМ}}(t) = A_0\cos(2\pi f_0 t) + \frac{A_0 m_{AM}}{2}\cos(2\pi(f_0 + f_\Omega)t) + \frac{A_0 m_{AM}}{2}\cos(2\pi(f_0 - f_\Omega)t. \quad (3)$$

Визуальный анализ выражения (3) показывает, что амплитуда составляющих сигнала АМ, содержащих информационную часть, даже в лучшем случае будет равна половине амплитуды несущей. Заметим, что информационное наполнение второго и третьего члена выражения (3) одинаково. При этом мощность, приходящаяся на информационную часть каждого из информационных членов, как минимум в четыре раза будет меньше мощности, выделяемой на несущем колебании, которое не несет в себе информацию.

В качестве примера на рис. 1 показан сигнал АМ, а на рис. 2 его спектр.

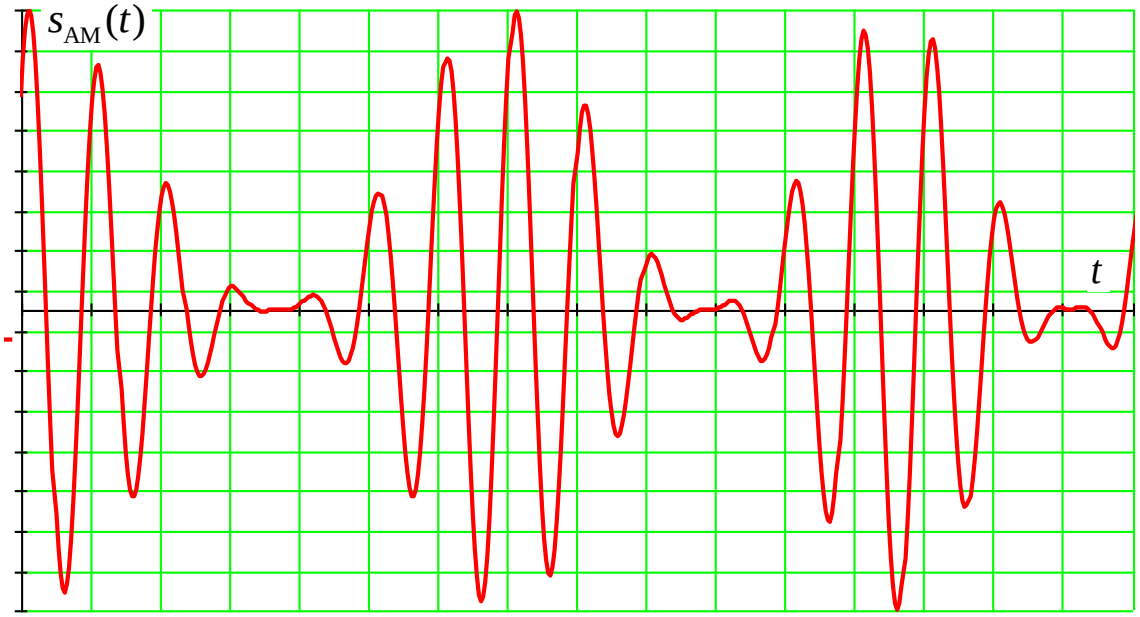


Рис. 1. **Временное представление сигнала АМ**

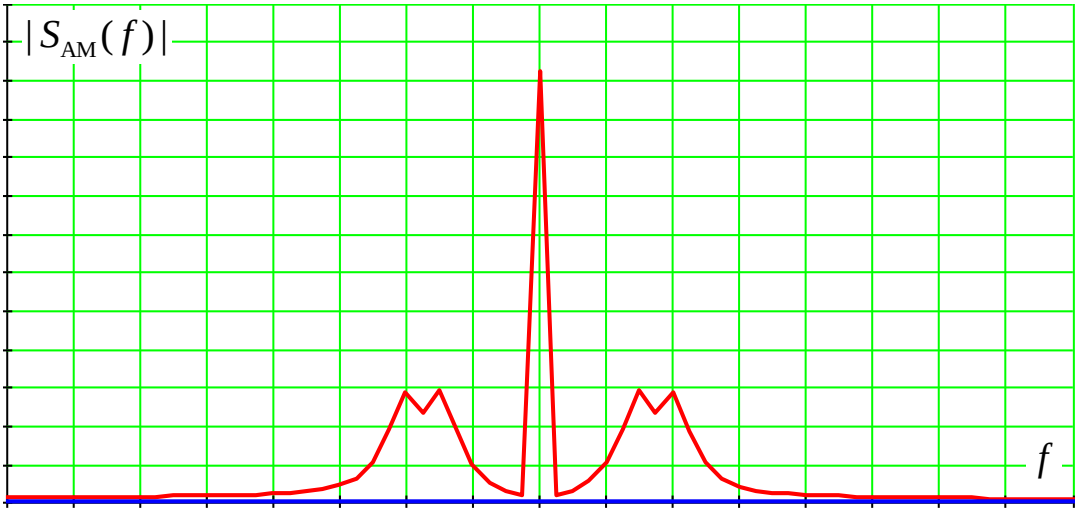


Рис. 2. **Спектральное представление сигнала АМ**

В комплексах Р-140 и Р-161 А2М сигналы классов излучений А3-А1, В1; А3А-А1, В1; А3Н-А1, В1 формируют путем дополнительной фильтрации спектральных составляющих первично сформированного сигнала АМ [27]. Это достаточно технически сложная процедура, поскольку предполагает наличие качественных фильтров высокого порядка.

Вместе с тем цифровые технологии открывают возможности перехода к квадратурной обработке сигналов. С таких позиций аналитическое выражение для квадратурного синтеза сигналов АМ представим в следующем аналитическом виде:

$$s_{AM}(t) = \frac{A_0}{\sqrt{2}}\left(1 + m_{AM}\frac{s_\Omega(t)}{|s_\Omega(t)|_{max}}\right)\cos(2\pi f_0 t) + \frac{A_0}{\sqrt{2}}\left(1 + m_{AM}\frac{s_\Omega(t)}{|s_\Omega(t)|_{max}}\right)\sin(2\pi f_0 t)\,. \qquad (4)$$

Удобство использования выражения (4) в том, что оно позволяет осуществлять синтез сигналов АМ на основе стандартного квадратурного модулятора [28], если предварительно модифицировать модулирующий сигнал путем его аддитивного суммирования с напряжением единичного уровня.

Более того, на основе выражения (4) возможен и квадратурный синтез сигналов ОМ:

$$s_{OM}(t) = \frac{A_0}{\sqrt{2}}\left(1 + m_{OM}\frac{s_\Omega(t)}{|s_\Omega(t)|_{max}}\right)\cos(2\pi f_0 t) \pm \frac{A_0}{\sqrt{2}}\left(1 + m_{OM}\frac{s^*_\Omega(t)}{|s^*_\Omega(t)|_{max}}\right)\sin(2\pi f_0 t)\,, \qquad (5)$$

где * – знак комплексного сопряжения по Гильберту.

В формуле (5) знак плюс используется при синтезе сигналов ОМ с нижней боковой полосой, а знак минус – с верхней.

Главным отличие синтеза сигнала ОС от АМ на основе квадратурного модулятора в том, что при ОМ необходимо модулирующий сигнал привести к аналитическому виду:

$$s_\Omega(t) = s_\Omega(t) + j s^*_\Omega(t)\,,$$

где j – мнимая единица.

В качестве примера на рис. 3 показан сигнал ОМ, а на рис. 4 представлен его спектр.

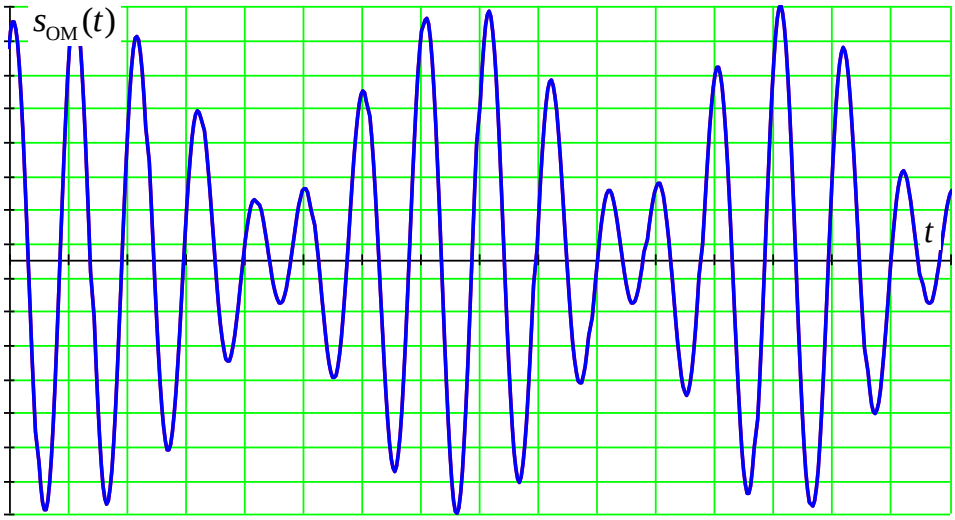


Рис. 3. **Временное представление сигнала ОМ**

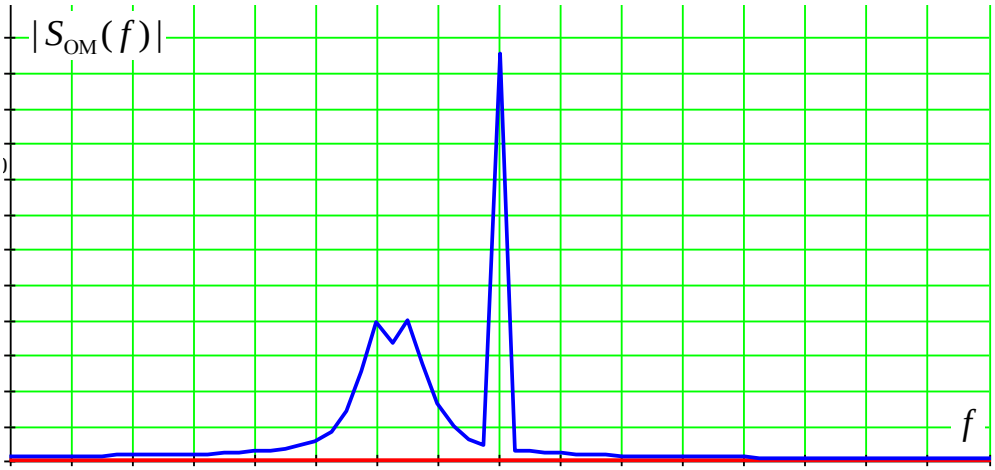


Рис. 4. **Спектральное представление сигнала ОМ**

Квадратурный синтез сохраняет все особенности свойственные сигналам АМ и ОМ, формируемых обычным способом.

Следует отметить, что формируемый согласно формуле (5) сигнал имеет постоянную несущую, выполняющую роль пилот-сигнала в трактах обработки при его демодуляции. Другой особенностью сигнала ОМ с несущей состоит в том, что аналогичный синтез сигнала без несущей не ведет к увеличению мощности боковой полосы, содержащей информационное наполнение. При этом мощность боковой полосы сигнала ОМ в два раза больше мощности сигнала АМ. Так на рис. 2 и 4 спектры сигналов АМ и ОМ представлены в одинаковых координатах.

Помехоустойчивость ОМ

В интересах оценки выигрыша в помехоустойчивости, обеспечиваемого в результате перехода от АМ к ОМ, перепишем выражение (5) в следующем виде [28, 29]:

$$s_{\text{ОМ}}(t) = M(t)A_0\cos(2\pi f_0 t + \varphi(t)),$$

где $M(t)$ – параметр, отображающий степень и характер изменения амплитуды A_0 сигнала ОМ в процессе модуляции; f_0 – несущая частота; $\varphi(t)$ – фаза колебания.

Учитывая, что функции $M(t)$ и $\varphi(t)$ достаточно медленно изменяются по отношению к частоте несущего колебания f_0, то усреднение квадрата значения $s_{\text{ОМ}}^2(t)$ дает нам среднюю мощность на входе приемника при нагрузке 1 Ом:

$$s_{\text{ОМ}}^2(t) = \frac{M_{\text{ср}}^2 A_0^2}{2} = P, \tag{6}$$

здесь величина $M_{\text{ср}}$ характеризует среднее значение амплитуды ОМ сигнала.

Учитывая случайный характер изменения параметра $M(t)$, зависящий от поведения модулирующего сигнала, перейдем в формуле (6) от показателя $M_{\text{ср}}$ к значению его пик-фактора Π^2 [30].

Так, средняя мощность сигнала ОМ на выходе тракта обработки с учетом величины пик-фактора может быть представлена как:

$$P = \frac{A_0^2}{\Pi^2}. \tag{7}$$

Причем соотношение (7) сохраняется как на входе демодулятора, так и на его выходе. Следовательно, показатель обобщенного энергетического выигрыша для сигнала ОМ, характеризующего его помехоустойчивость до и после демодулятора, можно записать:

$$\text{Е}_{\text{ОМ}} = \frac{\dfrac{1}{\upsilon^2/\Delta F_{\text{вых}}}\dfrac{A_0^2}{\Pi^2}}{\dfrac{1}{\upsilon_0^2/\Delta F_{\text{вх}}}\dfrac{A_0^2}{\Pi^2}} = \frac{\dfrac{\Delta F_{\text{вых}}}{\upsilon^2}}{\dfrac{\Delta F_{\text{вх}}}{\upsilon_0^2}} = \frac{\Delta F_{\text{вых}}}{\upsilon^2}\frac{\upsilon_0^2}{\Delta F_{\text{вх}}},$$

где $\Delta F_{\text{вых}}$ – полоса частот, занимаемая сигналом после демодулятора; $\Delta F_{\text{вх}}$ – полоса частот, занимаемая сигналом до демодулятора; υ_0^2 – уровень шумов до демодулятора; υ^2 – уровень шумов после демодулятора.

Учитывая, что при обработке сигналов ОМ занимаемая ими полоса частот до и после демодулятора не изменяется, то при гауссовом характере шума, когда $\upsilon^2 = \upsilon_0^2$, обобщенный энергетический выигрыш будет равен единице, то есть достигнет максимального значения.

Для понимания сущности полученного результата рассмотрим обобщенный энергетический выигрыш $\text{Е}_{\text{АМ}}$, обеспечиваемый при обработке сигналов АМ.

Поскольку средняя мощность для сигналов АМ определяется величиной коэффициента амплитудной модуляции следующим образом [29]:

$$P = \frac{A_0^2}{2}\left(1 + \frac{1}{\Pi^2}\right),$$

то отношение мощности сигнала к мощности помехи на входе демодулятора для АМ составит:

$$B_{\text{АМ}}^{\text{вх}} = \frac{A_0^2(1+\Pi^2)}{2\Pi^2\upsilon_0^2\Delta F_{\text{вх}}}.$$

В результате линейного преобразования в демодуляторе, отношение мощности сигнала к мощности помехи на его выходе приемника изменится и будет определяться как [29]:

$$B_{\text{АМ}}^{\text{вых}} = \frac{A_0^2}{2\Pi^2 \upsilon^2 \Delta F_{\text{вых}}}.$$

Следовательно, обобщенный энергетический выигрыш для АМ составит:

$$\text{Е}_{\text{АМ}} = \frac{B_{\text{АМ}}^{\text{вых}}}{B_{\text{АМ}}^{\text{вх}}} = \frac{2A_0^2 \Pi^2 \Delta F_{\text{вых}} \upsilon^2}{2\Pi^2 \upsilon_0^2 \Delta F_{\text{вх}} (1+\Pi^2)}.$$

А с учетом того, что для АМ сигнала справедливо равенство $\upsilon^2 = \upsilon_0^2 \times n$, а $\Delta F_{\text{вх}} = \Delta F_{\text{вых}} \times n$, то обобщенный энергетический будет равен:

$$\text{Е}_{\text{АМ}} = \frac{1}{(1+\Pi^2)}.$$

Согласно выражению, величина $\text{Е}_{\text{АМ}}$ зависит от значения пик-фактора. Поскольку для голосовых сообщений $\Pi^2 \approx 3{,}3$ [31], то значение $\text{Е}_{\text{АМ}} \approx 0{,}085$. Получается, что по помехоустойчивости передачи АМ более чем в 12 раз уступают передачам ОМ. Это связано с тем, что при формировании сигналов АМ основная часть мощности расходуется на несущее колебание, которое не участвует в передаче полезной информации.

Даже при использовании в качестве модулирующих сообщений колебаний тональной частоты, пик-фактор которых составляет $\Pi^2 \approx 1{,}41$, значение $\text{Е}_{\text{АМ}}$ более чем в три раза уступает величине $\text{Е}_{\text{ОМ}}$.

Следует отметить, что полученные результаты соответствуют строго сигналам ОМ, у которых отсутствует пилот-сигнал. Но передача таких сигналов в каналах с флуктуационными шумами связана с существенными сложностями. Поэтому на практике используют классы излучений, в которых сохраняется пилот-сигнал на уровне 10 % и 50 % [2, 32]. Но в этом случае обобщенный энергетический выигрыш для ОМ будет меньше единицы, соответственно 0,9 и 0,5.

Однако использование пилот-сигнала с постоянным уровнем (достаточно высоким) оправдано только на начальном этапе. После установления синхронизации необходимость в использовании пилот-сигнал отпадает. Учитывая указанные обстоятельства, предлагается регулировать его уровень в ходе сеанса связи. Для этого достаточно ввести в выражение (5) коэффициент управления пилот-сигналом $m_{\text{ПС}}$:

$$s_{\text{ОМ}}(t) = \frac{A_0}{\sqrt{2}}\left(m_{\text{ПС}} + m_{\text{ОМ}} \frac{s_\Omega(t)}{|s_\Omega(t)|_{\max}}\right)\cos(2\pi f_0 t) \pm \frac{A_0}{\sqrt{2}}\left(m_{\text{ПС}} + m_{\text{ОМ}} \frac{s_\Omega^*(t)}{|s_\Omega^*(t)|_{\max}}\right)\sin(2\pi f_0 t).$$

В результате открывается возможность путем регулирования $m_{\text{ПС}}$ от нуля до единицы перераспределять мощность пилот-сигнала на боковую составляющую в ходе сеанса связи.

Заключение

Полученные результаты позволяют сделать следующее заключение. Несмотря на активное внедрение технологии ортогонального частотного мультиплексирования каналов, определяемое стандартом ALE 3G, ее эффективное практическое использование оправдано лишь при возможности обеспечения высоко стабильной синхронизации посредством организации дополнительного навигационного канала. Поэтому ОМ по-прежнему является наиболее предпочтительным видом передачи для декаметровых линий радиосвязи, организуемых в интересах МЧС России.

Разработанный способ синтеза сигналов ОМ с управляемым пилот-сигналом открывает новые возможности по управлению энергетическим потенциалом радиолиний в условиях флуктуационных шумов.

Направление дальнейших исследований авторы связывают с повышением помехоустойчивости радиолиний за счет применения методов разнесенного приема и совместной частотно-временной обработки сигналов [33, 34].

Список источников

1. Макаров В.В., Блатова Т.А. Роль системы связи в выполнении основных задач МЧС России // Экономика и качество систем связи. 2022. № 1 (23). С. 3–13.

2. Система радиосвязи в МЧС России / С.В. Пацук [и др.] // Актуальные вопросы пожарной безопасности. 2022. № 2 (12). С. 41–49.

3. Каймонов О.С., Газизов Т.Т. Новый подход к обеспечению бесперебойной КВ-радиосвязи в системе МЧС России // Электронные средства и системы управления: материалы докладов Междунар. науч.-практ. конф. 2015. № 1-2. С. 30–34.

4. Березин А.В. Тенденции развития автоматизированных систем авиационной радиосвязи при решении задач МЧС России // Гелиогеофизические исследования. 2014. № 8. С. 23–24.

5. Ксенофонтов Ю.Г. К вопросам о качестве функционирования сетей радиосвязи оперативно-тактического звена противопожарной службы МЧС России // Приоритетные направления инновационной деятельности в промышленности: сб. научных статей по итогам II Междунар. науч. конф. 2020. С. 111–113.

6. Зайцева И.Н., Пшеничникова Ю.С. К вопросу об информационно-техническом обеспечении оперативных подразделений МЧС России // Фундаментальные проблемы системной безопасности: материалы III Школы-семинара молодых ученых: в 2 ч. 2016. С. 53–58.

7. Левченко А.С., Борисов Р.И. Актуальность проблемы выбора техники радиосвязи для узлов связи главных управлений МЧС России по субъектам РФ // Вестник научных конференций. 2015. № 1-1 (1). С. 95–97.

8. Дворников С.В., Пшеничников А.В., Аванесов М.Ю. Модель деструктивного воздействия когнитивного характера // Информация и космос. 2018. № 2. С. 22–29.

9. Подстригаев А.С. Повышение эффективности матричного приемника в сложной сигнальной обстановке на основе оптоволоконной линии задержки // Труды МАИ. 2021. № 116. С. 8.

10. Дворников С.В., Овчинников Г.Р., Балыков А.А. Программный симулятор ионосферного радиоканала декаметрового диапозона // Информация и космос. 2019. № 3. С. 6–12.

11. Лазоренко В.С. Зарождение и развитие ведомственной резервной сети коротковолновой радиосвязи // Техника радиосвязи. 2016. № 1 (28). С. 18–25.

12. Теоретические положения повышения помехоустойчивости сигнально-кодовых конструкций квадратурных сигналов / С.В. Дворников [и др.] // Информация и космос. 2015. № 3. С. 13–16.

13. Синицын Р.В., Ашимов Н.М. Квадратурный прием и обработка n-разрядного двоичного фазоманипулированного сигнала // Электромагнитные волны и электронные системы. 2012. Т. 17. № 4. С. 52–61.

14. Пьо А.Ч., Ко Ко.Л. Формирование и обработка многочастотных сигналов с квадратурной амплитудной модуляцией на базе банков комплексных фильтров // Радиоэлектроника, Электротехника и Энергетика. Тезисы докладов. 2020. С. 42.

15. Воробьев К.А. Модель ионосферного канала с переменными параметрами // Системы синхронизации, формирования и обработки сигналов. 2013. Т. 4. № 4. С. 202–204.

16. Лобов Е.М., Смердова Е.О. Использование метода обратной фильтрации в задаче оценки импульсной характеристики ионосферного канала // DSPA: Вопросы применения цифровой обработки сигналов. 2016. Т. 6. № 1. С. 100–103.

17. Дворников С.В., Пшеничников А.В., Бурыкин Д.А. Структурно-функциональная модель сигнального созвездия с повышенной помехоустойчивостью // Информация и космос. 2015. № 2. С. 4–7.

18. Частотно-временное оценивание параметров сигналов на основе функций огибающих плотности распределения их энергии / С.В. Дворников [и др.] // Информация и космос. 2007. № 4. С. 41–45.

19. Дворников С.В. Теоретические основы синтеза билинейных распределений. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2007. 268 с.

20. Вагин С.В. Однополосная модуляция // Новая наука: Проблемы и перспективы. 2016. № 10-2. С. 114–116.

21. Анализ помехоустойчивости передач с однополосной модуляцией в каналах с флуктуационными помехами / А.С. Дворников [и др.] // Вопросы радиоэлектроники. Сер.: Техника телевидения. 2022. № 4. С. 58–64.

22. Telecom Bureau, ITU-D/SG (2000-12-14). Frequency Agile Systems in the MF/HF Bands (doc) // International Telecommunication Union.

23. MIL STD 188-141A / MIL STD 188-141B 2G ALE Audio Samples. URL: https://dokumen.tips/documents/ale-mil-std-188-141b.html?page=1 (дата обращения: 08.12.2022).

24. Исследование субканальных шумов сигналов, сформированных по технологии ортогонального частотного мультиплексирования / А.Р. Бестугин [и др.] // Вопросы радиоэлектроники. Сер.: Техника телевидения. 2018. № 3. С. 123–129.

25. Агиевич С.Н., Дворников С.В., Гусельников А.С. Описание сигналов в базисах функций сплайн-Виленкина-Кристенсона // Контроль. Диагностика. 2009. № 3. С. 52–57.

26. Способ формирования сигналов с однополосной угловой модуляцией для передачи дискретной информации / В.В. Сазонов [и др.] // REDS: Телекоммуникационные устройства и системы. 2016. Т. 6. № 1. С. 122–126.

27. Применение однополосной квадратурной модуляции для формирования сигналов с однополосной OFDM / А.Б. Коханов [и др.] // Современные информационные и электронные технологии. 2014. Т. 1. № 15. С. 211–212.

28. Синтез фазоманипулированных вейвлет-сигналов / С.В. Дворников [и др.] // Информационные технологии. 2015. Т. 21. № 2. С. 140–143.

29. Верзунов М.В. Однополосная модуляция в радиосвязи. М.: Воениздат, 1972. 96 с.

30. Волков Л.Н., Немировский М.С., Шинаков Ю.С. Системы цифровой радиосвязи: базовые методы и характеристики: учеб. пособие. М.: Эко-Трендз, 2005. 392 с.

31. Автоматизированная система контроля интенсивности физических полей рассеивания сигналов / А.А. Алексеев [и др.] // Научное приборостроение. 2000. Т. 10. № 3. С. 77–87.

32. Дворников С.В., Пшеничников А.В. Формирование спектрально-эффективных сигнальных конструкций в радиоканалах передачи данных контрольно-измерительных комплексов // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2017. Т. 60. № 3. С. 221–228.

33. Метод обнаружения радиоизлучений на основе частотно-временного распределения Алексеева / С.В. Дворников [и др.] // Научное приборостроение. 2006. Т. 16. № 1. С. 107–115.

34. Дворников С.В. Демодуляция сигналов на основе обработки их модифицированных частотно-временных распределений // Цифровая обработка сигналов. 2009. № 2. С. 7–11.

References

1. Makarov V.V., Blatova T.A. Rol' sistemy svyazi v vypolnenii osnovnyh zadach MCHS Rossii // Ekonomika i kachestvo sistem svyazi. 2022. № 1 (23). S. 3–13.

2. Sistema radiosvyazi v MCHS Rossii / S.V. Pacuk [i dr.] // Aktual'nye voprosy pozharnoj bezopasnosti. 2022. № 2 (12). S. 41–49.

3. Kajmonov O.S., Gazizov T.T. Novyj podhod k obespecheniyu besperebojnoj KV-radiosvyazi v sisteme MCHS Rossii // Elektronnye sredstva i sistemy upravleniya: materialy dokladov Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. 2015. № 1-2. S. 30–34.

4. Berezin A.V. Tendencii razvitiya avtomatizirovannyh sistem aviacionnoj radiosvyazi pri reshenii zadach MCHS Rossii // Geliogeofizicheskie issledovaniya. 2014. № 8. S. 23–24.

5. Ksenofontov Yu.G. K voprosam o kachestve funkcionirovaniya setej radiosvyazi operativno-takticheskogo zvena protivopozharnoj sluzhby MCHS Rossii // Prioritetnye napravleniya innovacionnoj deyatel'nosti v promyshlennosti: sb. nauchnyh statej po itogam II Mezhdunar. nauch. konf. 2020. S. 111–113.

6. Zajceva I.N., Pshenichnikova Yu.S. K voprosu ob informacionno-tekhnicheskom obespechenii operativnyh podrazdelenij MCHS Rossii // Fundamental'nye problemy sistemnoj bezopasnosti: materialy III Shkoly-seminara molodyh uchenyh: v 2 ch. 2016. S. 53–58.

7. Levchenko A.S., Borisov R.I. Aktual'nost' problemy vybora tekhniki radiosvyazi dlya uzlov svyazi glavnyh upravlenij MCHS Rossii po sub"ektam RF // Vestnik nauchnyh konferencij. 2015. № 1-1 (1). S. 95–97.

8. Dvornikov S.V., Pshenichnikov A.V., Avanesov M.Yu. Model' destruktivnogo vozdejstviya kognitivnogo haraktera // Informaciya i kosmos. 2018. № 2. S. 22–29.

9. Podstrigaev A.S. Povyshenie effektivnosti matrichnogo priemnika v slozhnoj signal'noj obstanovke na osnove optovolokonnoj linii zaderzhki // Trudy MAI. 2021. № 116. S. 8.

10. Dvornikov S.V., Ovchinnikov G.R., Balykov A.A. Programmnyj simulyator ionosfernogo radiokanala dekametrovogo diapozona // Informaciya i kosmos. 2019. № 3. S. 6–12.

11. Lazorenko V.S. Zarozhdenie i razvitie vedomstvennoj rezervnoj seti korotkovolnovoj radiosvyazi // Tekhnika radiosvyazi. 2016. № 1 (28). S. 18–25.

12. Teoreticheskie polozheniya povysheniya pomekhoustojchivosti signal'no-kodovyh konstrukcij kvadraturnyh signalov / S.V. Dvornikov [i dr.] // Informaciya i kosmos. 2015. № 3. S. 13–16.

13. Sinicyn R.V., Ashimov N.M. Kvadraturnyj priem i obrabotka n-razryadnogo dvoichnogo fazomanipulirovannogo signala // Elektromagnitnye volny i elektronnye sistemy. 2012. T. 17. № 4. S. 52–61.

14. P'o A.Ch., Ko Ko.L. Formirovanie i obrabotka mnogochastotnyh signalov s kvadraturnoj amplitudnoj modulyaciej na baze bankov kompleksnyh fil'trov // Radioelektronika, Elektrotekhnika i Energetika. Tezisy dokladov. 2020. S. 42.

15. Vorob'ev K.A. Model' ionosfernogo kanala s peremennymi parametrami // Sistemy sinhronizacii, formirovaniya i obrabotki signalov. 2013. T. 4. № 4. S. 202–204.

16. Lobov E.M., Smerdova E.O. Ispol'zovanie metoda obratnoj fil'tracii v zadache ocenki impul'snoj harakteristiki ionosfernogo kanala // DSPA: Voprosy primeneniya cifrovoj obrabotki signalov. 2016. T. 6. № 1. S. 100–103.

17. Dvornikov S.V., Pshenichnikov A.V., Burykin D.A. Strukturno-funkcional'naya model' signal'nogo sozvezdiya s povyshennoj pomekhoustojchivost'yu // Informaciya i kosmos. 2015. № 2. S. 4–7.

18. Chastotno-vremennoe ocenivanie parametrov signalov na osnove funkcij ogibayushchih plotnosti raspredeleniya ih energii / S.V. Dvornikov [i dr.] // Informaciya i kosmos. 2007. № 4. S. 41–45.

19. Dvornikov S.V. Teoreticheskie osnovy sinteza bilinejnyh raspredelenij. SPb.: Izd-vo Politekhn. un-ta, 2007. 268 s.

20. Vagin S.V. Odnopolosnaya modulyaciya // Novaya nauka: Problemy i perspektivy. 2016. № 10-2. S. 114–116.

21. Analiz pomekhoustojchivosti peredach s odnopolosnoj modulyaciej v kanalah s fluktuacionnymi pomekhami / A.S. Dvornikov [i dr.] // Voprosy radioelektroniki. Ser.: Tekhnika televideniya. 2022. № 4. S. 58–64.

22. Telecom Bureau, ITU-D/SG (2000-12-14). Frequency Agile Systems in the MF/HF Bands (doc) // International Telecommunication Union.

23. MIL STD 188-141A / MIL STD 188-141B 2G ALE Audio Samples. URL: https://dokumen.tips/documents/ale-mil-std-188-141b.html?page=1 (data obrashcheniya: 08.12.2022).

24. Issledovanie subkanal'nyh shumov signalov, sformirovannyh po tekhnologii ortogonal'nogo chastotnogo mul'tipleksirovaniya / A.R. Bestugin [i dr.] // Voprosy radioelektroniki. Ser.: Tekhnika televideniya. 2018. № 3. S. 123–129.

25. Agievich S.N., Dvornikov S.V., Gusel'nikov A.S. Opisanie signalov v bazisah funkcij splajn-Vilenkina-Kristensona // Kontrol'. Diagnostika. 2009. № 3. S. 52–57.

26. Sposob formirovaniya signalov s odnopolosnoj uglovoj modulyaciej dlya peredachi diskretnoj informacii / V.V. Sazonov [i dr.] // REDS: Telekommunikacionnye ustrojstva i sistemy. 2016. T. 6. № 1. S. 122–126.

27. Primenenie odnopolosnoj kvadraturnoj modulyacii dlya formirovaniya signalov s odnopolosnoj OFDM / A.B. Kohanov [i dr.] // Sovremennye informacionnye i elektronnye tekhnologii. 2014. T. 1. № 15. S. 211–212.

28. Sintez fazomanipulirovannyh vejvlet-signalov / S.V. Dvornikov [i dr.] // Informacionnye tekhnologii. 2015. T. 21. № 2. S. 140–143.

29. Verzunov M.V. Odnopolosnaya modulyaciya v radiosvyazi. M.: Voenizdat, 1972. 96 s.

30. Volkov L.N., Nemirovskij M.S., Shinakov Yu.S. Sistemy cifrovoj radiosvyazi: bazovye metody i harakteristiki: ucheb. posobie. M.: Eko-Trendz, 2005. 392 s.

31. Avtomatizirovannaya sistema kontrolya intensivnosti fizicheskih polej rasseivaniya signalov / A.A. Alekseev [i dr.] // Nauchnoe priborostroenie. 2000. T. 10. № 3. S. 77–87.

32. Dvornikov S.V., Pshenichnikov A.V. Formirovanie spektral'no-effektivnyh signal'nyh konstrukcij v radiokanalah peredachi dannyh kontrol'no-izmeritel'nyh kompleksov // Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Priborostroenie. 2017. T. 60. № 3. S. 221–228.

33. Metod obnaruzheniya radioizluchenij na osnove chastotno-vremennogo raspredeleniya Alekseeva / S.V. Dvornikov [i dr.] // Nauchnoe priborostroenie. 2006. T. 16. № 1. S. 107–115.

34. Dvornikov S.V. Demodulyaciya signalov na osnove obrabotki ih modificirovannyh chastotno-vremennyh raspredelenij // Cifrovaya obrabotka signalov. 2009. № 2. S. 7–11.

Информация о статье:
Статья поступила в редакцию: 17.01.2023; одобрена после рецензирования: 26.01.2023; принята к публикации: 27.01.2023

The information about article:
The article was submitted to the editorial office: 17.01.2023; approved after review: 26.01.2023; accepted for publication: 27.01.2023

Информация об авторах:
Чудаков Андрей Михайлович, доцент Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного (194064, Санкт-Петербург, Тихорецкий пр., д. 3), кандидат технических наук, доцент, e-mail: chudo_f_m@yandex.ru
Русин Александр Алексеевич, доцент Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного (194064, Санкт-Петербург, Тихорецкий пр., д. 3), кандидат технических наук, доцент, e-mail: arusin@rambler.ru
Жеглов Кирилл Дмитриевич, аспирант кафедры конструирования и технологий электронных и лазерных средств (Кафедра 23) Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения (190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67), e-mail: jegl_84@mail.com
Дворников Сергей Викторович, профессор кафедры радиотехнических и оптоэлектронных комплексов (Кафедра 21) Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения (190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67); профессор кафедры радиосвязи Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного, доктор технических наук, профессор, e-mail: practicdsv@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-4889-0001
Дворников Сергей Сергеевич, доцент кафедры конструирования и технологий электронных и лазерных средств (Кафедра 23) Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения (190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67); научный сотрудник научно-исследовательского отдела Военной академия связи им. С.М. Буденного, кандидат технических наук, e-mail: dvornik92@mail.com

Information about authors:
Chudakov Andrei M., associate professor of the Marshal of the Soviet Union S.M. Budyonny Military academy of communications (194064, Saint-Petersburg, Tikhoretsky pr., 3), candidate of technical sciences, associate professor, e-mail: chudo_f_m@yandex.ru
Rusin Alexander A., associate professor of the Marshal of the Soviet Union S.M. Budyonny Military academy of communications (194064, Saint-Petersburg, Tikhoretsky pr., 3), candidate of technical sciences, associate professor, e-mail: arusin@rambler.ru
Zheglov Kirill D., post-graduate student of the department of design and technologies of electronic and laser means (Department 23) Saint-Petersburg state university of aerospace instrumentation (190000, Saint-Petersburg, Bolshaya Morskaya st., 67), e-mail: jegl_84@mail.com
Dvornikov Sergey V., professor of the department of radio engineering and optoelectronic complexes (Department 21) Saint-Petersburg state university of aerospace instrumentation (190000, Saint-Petersburg, Bolshaya Morskaya st., 67); professor of the department of radio communications of the Marshal of the Soviet Union S.M. Budyonny Military academy of communications, doctor of technical sciences, professor, e-mail: practicdsv@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-4889-0001
Dvornikov Sergey S., associate professor of the department of design and technologies of electronic and laser means (Department 23) Saint-Petersburg state university of aerospace instrumentation (190000, Saint-Petersburg, Bolshaya Morskaya st., 67); researcher of the research department of the Marshal of the Soviet Union S.M. Budyonny Military academy of communications, candidate of technical sciences, e-mail: dvornik92@mail.com

Научная статья
УДК 621.391

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ДЕКАМЕТРОВЫХ ЛИНИЙ РАДИОСВЯЗИ

Власенко Виктор Иванович.
Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного, Санкт-Петербург, Россия.
Оков Игорь Николаевич.
Филиал АО «Концерн радиостроения «ВЕГА», Санкт-Петербург, Россия.
Дворников Сергей Сергеевич;
✉Дворников Сергей Викторович.
Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, Санкт-Петербург, Россия;
Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного, Санкт-Петербург, Россия
✉practicdsv@yandex.ru

Аннотация. Представлены результаты по исследованию возможности повышения эффективности функционирования линий радиосвязи в декаметровом диапазоне за счет введения в антенную систему рефлекторов. Рассмотрены условия организации радиосвязи с удаленными подразделениями МЧС России в коротковолновом диапазоне частот. Определен метод исследования на основе моделирования. Представлены результаты, характеризующие направленные свойства антенных систем с линейным и плоским рефлектором. Приведены численные расчеты значения коэффициента направленного действия и ослабления излучений по заднему лепестку и боковым лепесткам. Сформулированы предложения по практическому использованию результатов, и определены направления дальнейших исследований.

Ключевые слова: декаметровые линии радиосвязи, линейные и плоские рефлекторы, направленные свойства антенн, радиосвязь МЧС России

Для цитирования: Власенко В.И., Оков И.Н., Дворников С.С., Дворников С.В. Повышение эффективности функционирования декаметровых линий радиосвязи // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2023. № 1. С. 75–84.

Scientific article

IMPROVING THE EFFICIENCY OF DECAMETER RADIO COMMUNICATION LINES

Vlasenko Victor I.
Military academy of communications of Marshal of the Soviet Union S.M. Budyonny, Saint-Petersburg, Russia.
Okov Igor N.
Branch of JSC «radio engineering Concern «VEGA», Saint-Petersburg, Russia.
Dvornikov Sergey S.;
✉Dvornikov Sergey V.
Saint-Petersburg state university of aerospace instrumentation, Saint-Petersburg, Russia;
Military academy of communications of Marshal of the Soviet Union S.M. Budyonny, Saint-Petersburg, Russia
✉practicdsv@yandex.ru

Abstract. The results of the study of the possibility of increasing the efficiency of the functioning of radio communication lines in the decameter range by introducing reflectors into the antenna system

© Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2023

are presented. The conditions for organizing radio communication with remote subdivisions of EMERCOM of Russia in the shortwave frequency range are considered. The research method based on modeling is determined. The results characterizing the directional properties of antenna systems with a linear and flat reflector are presented. Numerical calculations of the value of the directivity coefficient and attenuation of radiation in the back lobe and side lobes are given. Proposals for the practical use of the results are formulated and directions for further research are identified.

Keywords: decameter radio communication lines, linear and flat reflectors, directional properties of antennas, radio communication of EMERCOM of Russia

For citation: Vlasenko V.I., Okov I.N., Dvornikov S.S., Dvornikov S.V. Improving the efficiency of decameter radio communication lines // Scientific and analytical journal «Vestnik Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia». 2023. № 1. P. 75–84.

Введение

Широкий спектр задач, возложенных на МЧС России, предполагает работу его подразделений на значительных удалениях от мест их постоянной дислокации [1–3]. Указанные обстоятельства стимулируют руководство МЧС России к поиску приемлемых решений для организации устойчивого управления удаленными подразделениями спасателей [4–6].

Очевидно, что в таких ситуациях наиболее эффективным решением видится применение систем спутниковой связи [7–9]. Однако высокая стоимость и сложность организации такой связи в Арктическом регионе существенно ограничивают ее практическое применение для управления удаленными подразделениями МЧС России. Альтернативным решением такой проблемы является применение систем радиосвязи коротковолнового диапазона частот [10, 11]. Системы декаметровой радиосвязи широко используются в подразделениях МЧС во многих регионах России [12]. Прежде всего, это связано с тем, что организации декаметровой радиосвязи не требует высокого уровня технологического оснащения территорий и жесткой привязки к системам навигационного обеспечения [13, 14]. Но при этом следует учитывать, что высокий уровень канальных шумов существенно ограничивает эффективность декаметровых радиолиний [15, 16].

Поэтому актуальной проблемой является поиск технических решений, направленных на повышение эффективности связи коротковолнового диапазона. Одно из таких направлений связано с совершенствованием антенных систем декаметровых систем радиосвязи. Данный аспект уже рассматривался на страницах данного издания [17]. В настоящей статье представлены результаты по повышению эффективности радиолиний за счет применения антенных рефлекторов.

Анализ проблемы и целевая установка

Теория и практика организации декаметровой радиосвязи показывают, что эффективная работа радиолинии существенно зависит от возможностей применяемых антенных систем [18]. Вместе с тем наиболее просто повысить технические характеристики антенн возможно с помощью рефлектора [19, 20]. Это объясняется возможностью посредством применения рефлектора формировать направленные диаграммы антенн.

Именно за счет применения рефлектора обеспечивается повышение концентрации электромагнитного поля (ЭМ-поля) в заданном направлении с минимальным уровнем боковых лепестков и максимальным значением коэффициента направленного действия (КНД) [21].

Первоначально в антеннах применяли рефлекторы в виде линейных проводников. Такие рефлекторы используются и в настоящее время в многоэлементных антеннах осевого излучения [22].

В общем случае рефлектор может быть как активным, так и пассивным. Но в любом случае его размещают в ближней области с другими излучателями, в частности вибраторами. С таких позиций рефлектор можно рассматривать как связанный вибратор. В режиме передачи

взаимодействие рефлектора и вибратора проявляется в виде наводимых ЭМ-полей, поэтому неприемлемо понятие отражения ЭМ-волн от рефлектора [23]. Аналогично можно рассматривать взаимодействия вибраторов с пространственными рефлекторами, выполненными в виде любой поверхности, находящейся в ближней области, то есть на малом расстоянии от основного излучателя по сравнению с длиной волны ($r < \lambda$) [24].

Заметим, что интерференция ЭМ-полей основного излучателя и рефлектора происходит в дальней области ($r >> \lambda$), а в пространстве – в пределах диаграммы направленности (ДН) антенной системы. В то время в режиме приема интерференция ЭМ-волн, отраженных от рефлектора и наведенного поля, на основном излучателе происходит на входе приемника [25, 26].

В высокочастотных диапазонах, где можно выполнить условие $r > \lambda$, правомерно говорить об отражении ЭМ-волн от рефлектора в соответствии с законом Снеллиуса и лучевой трактовкой ЭМ-волн [27].

Таким образом, актуальным видится разработка практических рекомендаций по выбору формы рефлектора, удовлетворяющего требованиям военной системы связи при работе в различных частотных диапазонах.

Метод исследования:
Условия оптимального расположения рефлектора относительно вибратора

В настоящее время для диапазонов декаметровых, метровых и частично дециметровых волн рефлекторы выполняют в виде линейных вибраторов или плоских поверхностей [28]. Такие рефлекторы могут увеличить напряженность ЭМ-поля возбудителя до двух раз, а КНД улучшить не более чем в четыре раза. Данное заключение подтверждает теория связанных вибраторов и так называемый метод зеркальных изображений [29].

С целью проверки такого утверждения воспользуемся компьютерными методами моделирования [29], в интересах оптимизации формы и расположения рефлектора. Результаты расчета приведены на рис. 1, 2. В частности, на рис. 1 представлена ДН полуволнового вибратора в вертикальной плоскости без рефлектора, а на рис. 2 – при наличии линейного рефлектора, расположенного в направлении 180°.

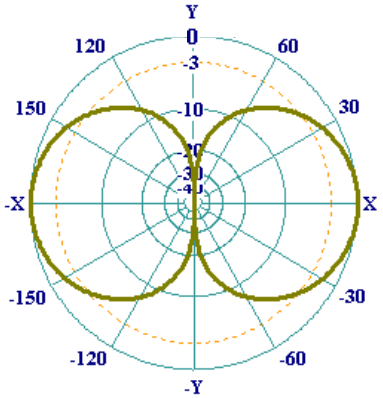


Рис. 1. **ДН в плоскости полуволнового вибратора без рефлектора**

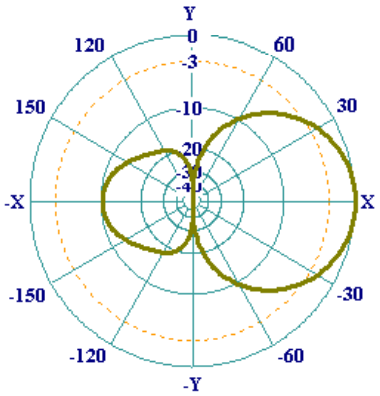


Рис. 2. **ДН в плоскости полуволнового вибратора с линейным рефлектором**

Результаты моделирования, представленные на рис. 1, 2, проводились при следующих исходных данных: частота 10 МГц.

Следует отметить, что если у обычного вибратора КНД составило 1,64, то при наличии рефлектора его значение достигло величины, равной 4. То есть направленные свойства улучшились более чем в 2,4 раза.

Заметим, что направленность антенной системы, состоящей из двух связанных вибраторов, будет зависеть от места установки рефлектора и его размеров. При этом зависимость КНД и входного сопротивления или коэффициента стоячей воны (КСВ) имеют противоположный характер изменения. То есть при уменьшении расстояния между вибраторами повышается КНД, но при этом уменьшается сопротивление излучения, и растет величина КСВ.

Проведенный анализ показал, что оптимальное удаление рефлектора должно быть в пределах (0,2…0,25) λ, а его размеры можно увеличить не более чем на 5 % от размера активного вибратора, к которому подключен фидер.

Результаты исследования

Учитывая, что в диапазоне коротких волн при радиосвязи ионосферными волнами применяют плоские апериодические рефлекторы в виде горизонтальных проводов параллельных вибраторам, то именно их рассмотрим в ходе дальнейшего исследования.

Так, при взаимодействии вибраторов и плоского рефлектора чаще всего используют метод зеркальных изображений [29]. Вибраторы и плоский рефлектор располагают в ближней зоне, поэтому существенное увеличения КНД в этом случае даже теоретически невозможно. Поэтому применение плоских вибраторов следует рассматривать только как рациональное решение.

На рис. 3 представлена антенная система на основе плоского вибратора, а на рис. 4 изображена его ДН в азимутальной плоскости.

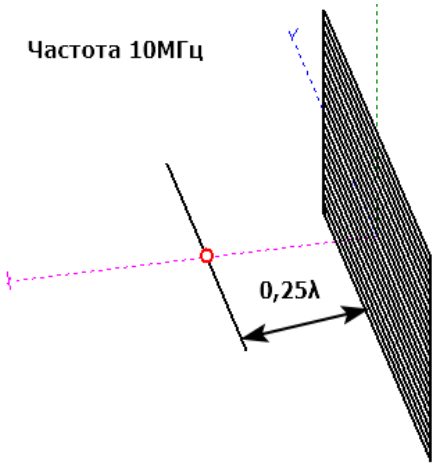


Рис. 3. **Модель антенной системы, состоящей из вибратора с плоским рефлектором**

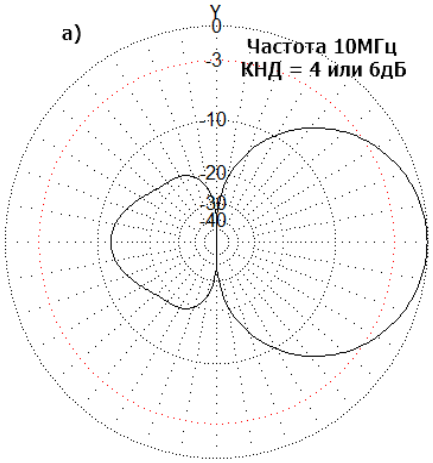


Рис. 4. **ДН антенной системы, состоящей из вибратора с плоским рефлектором**

Диаграмма направленности, изображенная на рис. 4, получена при условии расположения вибратора перед плоским рефлектором на удалении 7,5 м.

Анализ результатов, представленных на рис. 2, 4, показывает, что переход от линейного рефлектора к плоскому рефлектору, фактически не дает ни какого выигрыша. И значение КНД остается в пределах 6 дБ. Справедливости ради следует отметить, что применение плоского рефлектора позволяет несколько снизить уровень заднего лепестка ДН, в пределах 3 дБ по отношению к антенной системе с линейным рефлектором.

Заметим, что переход от рефлектора плоского типа к уголковому рефлектору приводит лишь к незначительному повышению КНД и снижению уровня обратного излучения. При этом значительно ухудшается согласование с фидером.

Таким образом, при расположении любого рефлектора в ближней зоне ЭМ-поля излучателя его КНД можно увеличить в 3…4 раза. Для дальнейшего увеличения КНД

основной излучатель необходимо располагать в волновой области ЭМ-поля рефлектора или применять синфазные антенные решетки с плоским рефлектором.

В качестве примера на рис. 5 представлена антенная система, состоящая из двух полуволновых вибраторов и плоского рефлектора. На рис. 6 изображена формируемая этой антенной системой ДН в плоскости вектора *H*.

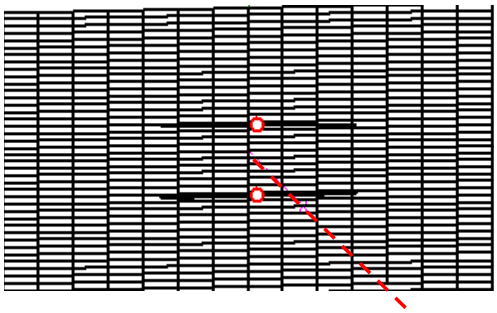


Рис. 5. **Модель антенной системы, состоящей из двух вибраторов с плоским рефлектором**

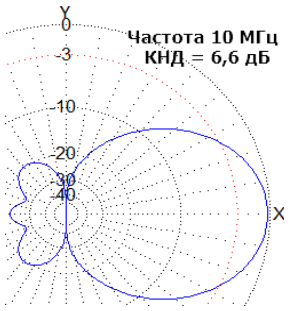


Рис. 6. **ДН антенной системы, состоящей из двух вибраторов с плоским рефлектором**

Согласно полученным результатам, использование дополнительного вибратора приводит к незначительному повышению КНД (на 0,6 дБ). Но при этом происходит существенное снижение излучения по заднему лепестку (порядка 11 дБ), что ведет к улучшению условий электромагнитной совместимости.

Заключение

Полученные результаты позволяют сделать следующее заключение. Повышение эффективности функционирования линий декаметровой радиосвязи возможно за счет применения рефлекторов в антенных системах. Но, учитывая сложность и громоздкость антенн в коротковолновом диапазоне частот, практический интерес могут представлять лишь линейные рефлекторы, расположенные в противоположном направлении от корреспондента.

Такое техническое решение позволит повысить направленные свойства в 2,4 раза, при значении КНД порядка 6 дБ. В дальнейшем авторы планируют исследовать возможности повышения эффективности приема на основе реализации методов частотно-временной обработки сигналов [30–32].

Список источников

1. Сиников А.А., Асанин А.В. Эффективность функционирования систем радиосвязи МЧС России // Приоритетные направления развития инфокоммуникационных технологий, систем связи и оповещения РСЧС и ГО: сб. трудов XXXI Междунар. науч.-практ. конф. Химки: Акад. гражданской защиты МЧС России, 2021. С. 52–56. EDN IBVWHR.

2. Организация информационного обеспечения мобильных групп спасателей в Арктической зоне Российской Федерации / И.Ф. Бажуков [и др.] // Динамика систем, механизмов и машин. 2018. Т. 6. № 4. С. 3–9. DOI: 10.25206/2310-9793-2018-6-4-3-9. EDN VMCSTU.

3. Папырин В.В., Сидоров В.К. Некоторые аспекты организации цифровой коротковолновой радиосвязи в Арктике // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС службы МЧС России». 2019. № 3. С. 1–6. EDN EBBYNR.

4. Кириченко Е.В., Зарубина Е.Ю. Применение информационно-управляющих систем для обеспечения взаимодействия органов управления Единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций // Пожарная и техносферная безопасность: проблемы и пути совершенствования. 2021. № 1 (8). С. 196–201. EDN IATNBG.

5. Басов В.А., Холостов А.Л. Об управлении радиосвязью при ликвидации чрезвычайных ситуаций техногенного характера подразделениями Государственной противопожарной службы // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. 2021. № 3. С. 13–20. DOI: 10.25257/FE.2021.3.13-20. EDN BFJRQG.

6. Маркин Ю. Системы связи на территориях Севера // Гражданская защита. 2021. № 10 (554). С. 13. EDN CDXXRF.

7. Рекунов С., Львова Ю., Ульяновский А. Обеспечение связи в экстремальных условиях // Гражданская защита. 2020. № 2 (534). С. 35–37. EDN IKHLQA.

8. Иваненко А.О. Предложения по обеспечению связи при ликвидации чрезвычайных ситуаций с использованием беспилотных летательных аппаратов // Технологии гражданской безопасности. 2022. Т. 19. № 2 (72). С. 37–40. DOI: 10.54234/CST.19968493.2022.19.2.72.7.37. EDN YTMFAQ.

9. Асташов С.П., Кухоренко А.Н., Лукьянчик Д.П. Организация связи в мобильных пунктах управления двойного назначения // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. 2018. № 2 (44). С. 137–140. EDN JEOIKC.

10. Повышение эффективности приема в декаметровых линиях радиосвязи МЧС России / В.И. Власенко [и др.] // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2022. № 4. С. 91–100. EDN OAOOSY.

11. Макаров В.В., Блатова Т.А. Роль системы связи в выполнении основных задач МЧС России // Экономика и качество систем связи. 2022. № 1 (23). С. 3–13. EDN MLGBQQ.

12. Каймонов О.С., Газизов Т.Т. Новый подход к обеспечению бесперебойной КВ-радиосвязи в системе МЧС России // Электронные средства и системы управления: материалы докладов Междунар. науч.-практ. конф. 2015. № 1-2. С. 30–34. EDN VDDVVP.

13. Дворников С.В., Пшеничников А.В. Формирование спектрально-эффективных сигнальных конструкций в радиоканалах передачи данных контрольно-измерительных комплексов // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2017. Т. 60. № 3. С. 221–228. DOI: 10.17586/0021-3454-2017-60-3-221-228. EDN YGSOYN.

14. Система радиосвязи в МЧС России / С.В. Пацук [и др.] // Актуальные вопросы пожарной безопасности. 2022. № 2 (12). С. 41–49. DOI: 10.37657/vniipo.avpb.2022.56.71.005. EDN OFZCXQ.

15. Дворников С.В., Овчинников Г.Р., Балыков А.А. Программный симулятор ионосферного радиоканала декаметрового диапозона // Информация и космос. 2019. № 3. С. 6–12. EDN CGVGIJ.

16. Василевич Е.В. Информационная система обеспечения беспроводной связью органов управления МЧС России: специальность 05.25.05 «Информационные системы и процессы»: автореф. дис. … канд. техн. наук. СПб., 2009. 22 с. EDN NKUZQZ.

17. Дворников С.В., Власенко В.И., Бибарсов М.Р. Антенная система воздушного ретранслятора для систем подвижной связи // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2022. № 3. С. 58–67. EDN ADREBW.

18. Александров Д.А. Особенности КВ-радиосвязи // Академическая публицистика. 2022. № 3-1. С. 22–24. EDN ZJQDPE.

19. Гурин А.В. Исследование особенностей применения КВ-радиосвязи в Арктике // Наука и образование в Арктическом регионе: материалы междунар. науч.-практ. конф. Мурманск: Мурманский гос. техн. ун-т, 2019. С. 317–325. EDN ZNFSCN.

20. Дворников С.В. Теоретические основы синтеза билинейных распределений. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2007. 268 с.

21. Гавлиевский С.Л. Потенциал КВ-радиосвязи для технологических сетей связи // Вестник связи. 2019. № 8. С. 2–5. EDN MPMZPB.

22. Комаров Г.В., Куликова Д.Ю., Кочетов А.В. Многодисковая сверхширокополосная антенна осевого излучения // Антенны и распространение радиоволн: сб. докладов Всерос. науч.-техн. конф. СПб.: С.-Петерб. гос. электротехнический ун-т «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), 2021. С. 5–6. EDN NOFEKC.

23. Формирование управляемого рефлектора СВЧ-антенны на основе активного метаматериала / Ю.Г. Пастернак [и др.] // Телекоммуникации. 2022. № 5. С. 2–7. DOI: 10.31044/1684-2588-2022-0-5-2-7. EDN HFDCXP.

24. Автоматизированная система контроля интенсивности физических полей рассеивания сигналов / А.А. Алексеев [и др.] // Научное приборостроение. 2000. Т. 10. № 3. С. 77–87. EDN HSQLKR.

25. Комплекс антенн по технологии поверхностного волновода / В.П. Кисмереликин [и др.] // Вестник Академии гражданской авиации. 2019. № 4 (15). С. 126–129. EDN RPCOUO.

26. Дворников С.В., Пшеничников А.В., Аванесов М.Ю. Модель деструктивного воздействия когнитивного характера // Информация и космос. 2018. № 2. С. 22–29. EDN XTKZXN.

27. Парадокс закона Снеллиуса и обоснование нового явления в физике / А.В. Рысин [и др.] // Sciences of Europe. 2018. № 30-1 (30). С. 56–65. EDN YBCBRZ.

28. Иванов А.М. Широкополосный ленточный вибратор с плоским рефлектором // Наука настоящего и будущего. 2021. Т. 2. С. 158–160. EDN RMIVIJ.

29. Кутьин З.А., Шейнман И.Л. Модификация метода зеркальных изображений для уточнения теоретической модели в лабораторной работе по исследованию электростатического поля двухпроводной линии методом моделирования // СПбНТОРЭС: труды ежегодной НТК. 2019. № 1 (74). С. 405–407. EDN KGHBLX.

30. Частотно-временное оценивание параметров сигналов на основе функций огибающих плотности распределения их энергии / С.В. Дворников [и др.] // Информация и космос. 2007. № 4. С. 41–45. EDN KXAKNX.

31. Метод обнаружения радиоизлучений на основе частотно-временного распределения Алексеева / С.В. Дворников [и др.] // Научное приборостроение. 2006. Т. 16. № 1. С. 107–115. EDN HSMBUV.

32. Дворников С.В. Демодуляция сигналов на основе обработки их модифицированных частотно-временных распределений // Цифровая обработка сигналов. 2009. № 2. С. 7–11. EDN KVEHTD.

References

1. Sinikov A.A., Asanin A.V. Effektivnost' funkcionirovaniya sistem radiosvyazi MCHS Rossii // Prioritetnye napravleniya razvitiya infokommunikacionnyh tekhnologij, sistem svyazi i opoveshcheniya RSCHS i GO: sb. trudov XXXI Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. Himki: Akad. grazhdanskoj zashchity MCHS Rossii, 2021. S. 52–56. EDN IBVWHR.

2. Organizaciya informacionnogo obespecheniya mobil'nyh grupp spasatelej v Arkticheskoj zone Rossijskoj Federacii / I.F. Bazhukov [i dr.] // Dinamika sistem, mekhanizmov i mashin. 2018. T. 6. № 4. S. 3–9. DOI: 10.25206/2310-9793-2018-6-4-3-9. EDN VMCSTU.

3. Papyrin V.V., Sidorov V.K. Nekotorye aspekty organizacii cifrovoj korotkovolnovoj radiosvyazi v Arktike // Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS sluzhby MCHS Rossii». 2019. № 3. S. 1–6. EDN EBBYNR.

4. Kirichenko E.V., Zarubina E.Yu. Primenenie informacionno-upravlyayushchih sistem dlya obespecheniya vzaimodejstviya organov upravleniya Edinoj gosudarstvennoj sistemy preduprezhdeniya i likvidacii chrezvychajnyh situacij // Pozharnaya i tekhnosfernaya bezopasnost': problemy i puti sovershenstvovaniya. 2021. № 1 (8). S. 196–201. EDN IATNBG.

5. Basov V.A., Holostov A.L. Ob upravlenii radiosvyaz'yu pri likvidacii chrezvychajnyh situacij tekhnogennogo haraktera podrazdeleniyami Gosudarstvennoj protivopozharnoj sluzhby // Pozhary i chrezvychajnye situacii: predotvrashchenie, likvidaciya. 2021. № 3. S. 13–20. DOI: 10.25257/FE.2021.3.13-20. EDN BFJRQG.

6. Markin Yu. Sistemy svyazi na territoriyah Severa // Grazhdanskaya zashchita. 2021. № 10 (554). S. 13. EDN CDXXRF.

7. Rekunov S., L'vova Yu., Ul'yanovskij A. Obespechenie svyazi v ekstremal'nyh usloviyah // Grazhdanskaya zashchita. 2020. № 2 (534). S. 35–37. EDN IKHLQA.

8. Ivanenko A.O. Predlozheniya po obespecheniyu svyazi pri likvidacii chrezvychajnyh situacij s ispol'zovaniem bespilotnyh letatel'nyh apparatov // Tekhnologii grazhdanskoj bezopasnosti. 2022. T. 19. № 2 (72). S. 37–40. DOI: 10.54234/CST.19968493.2022.19.2.72.7.37. EDN YTMFAQ.

9. Astashov S.P., Kuhorenko A.N., Luk'yanchik D.P. Organizaciya svyazi v mobil'nyh punktah upravleniya dvojnogo naznacheniya // Chrezvychajnye situacii: preduprezhdenie i likvidaciya. 2018. № 2 (44). S. 137–140. EDN JEOIKC.

10. Povyshenie effektivnosti priema v dekametrovyh liniyah radiosvyazi MCHS Rossii / V.I. Vlasenko [i dr.] // Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MCHS Rossii». 2022. № 4. S. 91–100. EDN OAOOSY.

11. Makarov V.V., Blatova T.A. Rol' sistemy svyazi v vypolnenii osnovnyh zadach MCHS Rossii // Ekonomika i kachestvo sistem svyazi. 2022. № 1 (23). S. 3–13. EDN MLGBQQ.

12. Kajmonov O.S., Gazizov T.T. Novyj podhod k obespecheniyu besperebojnoj KV-radiosvyazi v sisteme MCHS Rossii // Elektronnye sredstva i sistemy upravleniya: materialy dokladov Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. 2015. № 1-2. S. 30–34. EDN VDDVVP.

13. Dvornikov S.V., Pshenichnikov A.V. Formirovanie spektral'no-effektivnyh signal'nyh konstrukcij v radiokanalah peredachi dannyh kontrol'no-izmeritel'nyh kompleksov // Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Priborostroenie. 2017. T. 60. № 3. S. 221–228. DOI: 10.17586/0021-3454-2017-60-3-221-228. EDN YGSOYN.

14. Sistema radiosvyazi v MCHS Rossii / S.V. Pacuk [i dr.] // Aktual'nye voprosy pozharnoj bezopasnosti. 2022. № 2 (12). S. 41–49. DOI: 10.37657/vniipo.avpb.2022.56.71.005. EDN OFZCXQ.

15. Dvornikov S.V., Ovchinnikov G.R., Balykov A.A. Programmnyj simulyator ionosfernogo radiokanala dekametrovogo diapozona // Informaciya i kosmos. 2019. № 3. S. 6–12. EDN CGVGIJ.

16. Vasilevich E.V. Informacionnaya sistema obespecheniya besprovodnoj svyaz'yu organov upravleniya MCHS Rossii: special'nost' 05.25.05 «Informacionnye sistemy i processy»: avtoref. dis. … kand. tekhn. nauk. SPb., 2009. 22 s. EDN NKUZQZ.

17. Dvornikov S.V., Vlasenko V.I., Bibarsov M.R. Antennaya sistema vozdushnogo retranslyatora dlya sistem podvizhnoj svyazi // Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MCHS Rossii». 2022. № 3. S. 58–67. EDN ADREBW.

18. Aleksandrov D.A. Osobennosti KV-radiosvyazi // Akademicheskaya publicistika. 2022. № 3-1. S. 22–24. EDN ZJQDPE.

19. Gurin A.V. Issledovanie osobennostej primeneniya KV-radiosvyazi v Arktike // Nauka i obrazovanie v Arkticheskom regione: materialy mezhdunar. nauch.-prakt. konf. Murmansk: Murmanskij gos. tekhn. un-t, 2019. S. 317–325. EDN ZNFSCN.

20. Dvornikov S.V. Teoreticheskie osnovy sinteza bilinejnyh raspredelenij. SPb.: Izd-vo Politekhn. un-ta, 2007. 268 s.

21. Gavlievskij S.L. Potencial KV-radiosvyazi dlya tekhnologicheskih setej svyazi // Vestnik svyazi. 2019. № 8. S. 2–5. EDN MPMZPB.

22. Komarov G.V., Kulikova D.Yu., Kochetov A.V. Mnogodiskovaya sverhshirokopolosnaya antenna osevogo izlucheniya // Antenny i rasprostranenie radiovoln: cb. dokladov Vseros. nauch.-tekhn. konf. SPb.: S.-Peterb. gos. elektrotekhnicheskij un-t «LETI» im. V.I. Ul'yanova (Lenina), 2021. S. 5–6. EDN NOFEKC.

23. Formirovanie upravlyaemogo reflektora SVCH-antenny na osnove aktivnogo metamateriala / Yu.G. Pasternak [i dr.] // Telekommunikacii. 2022. № 5. S. 2–7. DOI: 10.31044/1684-2588-2022-0-5-2-7. EDN HFDCXP.

24. Avtomatizirovannaya sistema kontrolya intensivnosti fizicheskih polej rasseivaniya signalov / A.A. Alekseev [i dr.] // Nauchnoe priborostroenie. 2000. T. 10. № 3. S. 77–87. EDN HSQLKR.

25. Kompleks antenn po tekhnologii poverhnostnogo volnovoda / V.P. Kismerelikin [i dr.] // Vestnik Akademii grazhdanskoj aviacii. 2019. № 4 (15). S. 126–129. EDN RPCOUO.

26. Dvornikov S.V., Pshenichnikov A.V., Avanesov M.Yu. Model' destruktivnogo vozdejstviya kognitivnogo haraktera // Informaciya i kosmos. 2018. № 2. S. 22–29. EDN XTKZXN.

27. Paradoks zakona Snelliusa i obosnovanie novogo yavleniya v fizike / A.V. Rysin [i dr.] // Sciences of Europe. 2018. № 30-1 (30). S. 56–65. EDN YBCBRZ.

28. Ivanov A.M. Shirokopolosnyj lentochnyj vibrator s ploskim reflektorom // Nauka nastoyashchego i budushchego. 2021. T. 2. S. 158–160. EDN RMIVIJ.

29. Kut'in Z.A., Shejnman I.L. Modifikaciya metoda zerkal'nyh izobrazhenij dlya utochneniya teoreticheskoj modeli v laboratornoj rabote po issledovaniyu elektrostaticheskogo polya dvuhprovodnoj linii metodom modelirovaniya // SPbNTORES: trudy ezhegodnoj NTK. 2019. № 1 (74). S. 405–407. EDN KGHBLX.

30. Chastotno-vremennoe ocenivanie parametrov signalov na osnove funkcij ogibayushchih plotnosti raspredeleniya ih energii / S.V. Dvornikov [i dr.] // Informaciya i kosmos. 2007. № 4. S. 41–45. EDN KXAKNX.

31. Metod obnaruzheniya radioizluchenij na osnove chastotno-vremennogo raspredeleniya Alekseeva / S.V. Dvornikov [i dr.] // Nauchnoe priborostroenie. 2006. T. 16. № 1. S. 107–115. EDN HSMBUV.

32. Dvornikov S.V. Demodulyaciya signalov na osnove obrabotki ih modificirovannyh chastotno-vremennyh raspredelenij // Cifrovaya obrabotka signalov. 2009. № 2. S. 7–11. EDN KVEHTD.

Информация о статье:
Статья поступила в редакцию: 06.02.2023; одобрена после рецензирования: 10.02.2023; принята к публикации: 13.02.2023

The information about article:
The article was submitted to the editorial office: 06.02.2023; approved after review: 10.02.2023; accepted for publication: 13.02.2023

Информация об авторах:
Власенко Виктор Иванович, старший преподаватель кафедры Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного (194064, Санкт-Петербург, Тихорецкий пр., д. 3), кандидат технических наук, доцент, e-mail: viktor_vlasenko@yandex.ru
Оков Игорь Николаевич, ведущий научный сотрудник филиала АО «Концерн «Вега» (197022, Санкт-Петербург, ул. Академика Павлова, д. 14 а), доктор технических наук, профессор, e-mail: okov1@mail.ru
Дворников Сергей Сергеевич, доцент кафедры конструирования и технологий электронных и лазерных средств (Кафедра 23) Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения (190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67); научный сотрудник научно-исследовательского отдела Военной академия связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного, кандидат технических наук, e-mail: dvornik92@mail.com
Дворников Сергей Викторович, профессор кафедры радиотехнических и оптоэлектронных комплексов (Кафедра 21) Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения (190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67); профессор кафедры радиосвязи Военной академии связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного, доктор технических наук, профессор, e-mail: practicdsv@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-4889-0001

Information about authors:
Vlasenko Viktor I., senior lecturer of the department of the Military academy of communications named after Marshal of the Soviet Union S.M. Budyonny (194064, Saint-Petersburg, Tikhoretsky ave., 3), candidate of technical sciences, associate professor, e-mail: viktor_vlasenko@yandex.ru
Okov Igor N., leading researcher at branch of JSC «Concern «VEGA» (197022, Saint-Petersburg, Akademika Pavlova str., 14 a), doctor of technical sciences, professor, e-mail: okov1@mail.ru
Dvornikov Sergey S., associate professor of the department of design and technology of electronic and laser devices (Department 23) of the Saint-Petersburg state university of aerospace instrumentation (190000, Saint-Petersburg, Bolshaya Morskaya str., 67); researcher of the research department of the Military academy of communications named after Marshal of the Soviet Union S.M. Budyonny, candidate of technical sciences, e-mail: dvornik92@mail.com
Dvornikov Sergey V., professor of the department of radio engineering and optoelectronic complexes (Department 21) of the Saint-Petersburg state university of aerospace instrumentation (190000, Saint-Petersburg, Bolshaya Morskaya str., 67); professor of the department of radio communications of the Military academy of communications named after Marshal of the Soviet Union S.M. Budyonny, doctor of technical sciences, professor, e-mail: practicdsv@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-4889-0001

Научная статья
УДК 614.84

ОПИСАТЕЛЬНАЯ СТАТИСТИКА ОЦЕНОК ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ТЕРРИТОРИАЛЬНЫХ ОРГАНОВ МЧС РОССИИ ПО ВОПРОСАМ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ПОЖАРНОГО НАДЗОРА

Искалин Виктор Иосифович;
Сорокин Владимир Александрович;
✉Туз Наталья Владимировна.
Всероссийский ордена «Знак Почета» научно-исследовательский институт противопожарной обороны МЧС России, г. Балашиха, Московская обл., Россия
✉ntuz@yandex.ru

Аннотация. Представлены описательные статистики результатов расчета оценок деятельности территориальных органов МЧС России по вопросам осуществления федерального государственного пожарного надзора, осуществления дознания, лицензирования и предоставления государственных услуг в области пожарной безопасности. Расчеты выполнены в соответствии с методикой, разработанной в рамках реформирования законодательства в данной области. Источниками исходных данных для расчета являются ведомственные формы статистической отчетности, а также информационные системы, используемые МЧС России. Показатели сформированы по принципу отражения результативности, качества и эффективности работы территориальных органов. Они распределены на непересекающиеся группы, выполняется отражение их значений на шкалу желательности и агрегирование с учетом весов. Расчет оценок осуществляется на уровне каждой группы, совокупность полученных оценок формирует итоговую оценку. Расчет оценок осуществляется в каждом территориальном органе МЧС России. На основе итоговой оценки для каждого территориального органа МЧС России рассчитывается их рейтинг и место. Выявлены колебания значений итоговой оценки по группам следующим образом: либо во втором квартале в сторону снижения, а затем – увеличения, либо снижение без увеличения, либо изменение оценок отсутствует. Эти колебания оказывают влияние на изменение рейтинга и места территориальных органов МЧС России. Для наглядного отображения изменений используются гистограммы, диаграммы с усами и диаграмма рассеяния. Методика применяется для оперативного реагирования на изменение форм и методов работы, своевременной их корректировки в целях повышения качества принимаемых организационно-управленческих решений в области пожарной безопасности.

Ключевые слова: групповые и итоговые оценки деятельности, функция Харрингтона, агрегирование показателей, рейтинг, выбросы

Для цитирования: Искалин В.И., Сорокин В.А., Туз Н.В. Описательная статистика оценок деятельности территориальных органов МЧС России по вопросам осуществления федерального государственного пожарного надзора // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2023. № 1. С. 85–97.

© Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2023

Scientific article

DESCRIPTIVE STATISTICS OF ASSESSMENTS OF THE ACTIVITIES OF THE TERRITORIAL BODIES OF EMERCOM OF RUSSIA ON THE IMPLEMENTATION OF FEDERAL STATE FIRE SUPERVISION

Iskalin Viktor I.;
Sorokin Vladimir A.;
✉Tuz Natalia V.
All-Russian order «Badge of Honor» research institute of fire defense of EMERCOM of Russia, Balashikha, Moscow region, Russia
✉ntuz@yandex.ru

Abstract. The article presents descriptive statistics of the results of calculating estimates of the activities of the territorial bodies of EMERCOM of Russia on the implementation of federal state fire supervision, inquiry, licensing and provision of public services in the field of fire safety. The calculations were carried out in accordance with the methodology developed as part of the reform of legislation in this area. The sources of the initial data for the calculation are departmental forms of statistical reporting, as well as information systems used by EMERCOM of Russia. The indicators are formed according to the principle of reflecting the effectiveness, quality and efficiency of the work of territorial bodies. They are divided into disjoint groups, their values are reflected on the desirability scale and aggregated taking into account weights. The estimates are calculated at the level of each group, the totality of the obtained estimates forms the final assessment. Estimates are calculated in each territorial body of EMERCOM of Russia. Based on the final assessment for each territorial body of EMERCOM of Russia, their rating and place are calculated. Fluctuations in the values of the final assessment by groups were revealed as follows: either in the second quarter downward, and then – an increase, or a decrease without an increase, or there is no change in estimates. These fluctuations have an impact on the change in the rating and location of the territorial bodies of EMERCOM of Russia. Histograms, diagrams with whiskers and a scattering diagram are used to visually display the changes. The methodology is used for rapid response to changes in forms and methods of work, their timely adjustment in order to improve the quality of organizational and managerial decisions in the field of fire safety.

Keywords: group and final performance evaluations, Harrington function, aggregation of indicators, rating, emissions

For citation: Iskalin V.I., Sorokin V.A., Tuz N.V. Descriptive statistics of assessments of the activities of territorial bodies of EMERCOM of Russia on the implementation of federal state fire supervision // Scientific and analytical journal «Vestnik Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia». 2023. № 1. P. 85–97.

Введение

В рамках современного реформирования контрольно-надзорной деятельности были внесены изменения в нормативные правовые документы, регламентирующие организацию и осуществление государственного пожарного контроля. Это вызвало необходимость в совершенствовании подходов к осуществлению оценки деятельности территориальных органов МЧС России по вопросам организации и осуществления надзорной деятельности и профилактической работы, дознания, лицензирования и предоставления государственных услуг в области пожарной безопасности. Вследствие данных мероприятий разработана и утверждена приказом МЧС России от 9 марта 2022 г. № 168 «Об утверждении Методики оценки деятельности территориальных органов МЧС России по вопросам осуществления федерального государственного пожарного надзора, осуществления дознания,

лицензирования и предоставления государственных услуг в области пожарной безопасности» [1] Методика, позволяющая оценить деятельность территориальных органов МЧС России с использованием научно-обоснованных систем показателей и критериев оценки, сформированных с учетом актуальной нормативно-правовой базы.

В соответствии с данным приказом [1] производится расчет оценок деятельности территориальных органов МЧС России по вопросам осуществления федерального государственного пожарного надзора, осуществления дознания, лицензирования и предоставления государственных услуг в области пожарной безопасности (оценка деятельности территориальных органов МЧС России).

Формирование показателей, используемых в Методике, основано на анализе статистических данных по рассматриваемым направлениям, деятельности территориальных органов МЧС России, при этом учитывается принцип применения показателей, ориентированных на результат, качество и эффективность работы.

Перечень показателей, используемых в Методике, состоит из 25 относительных показателей, распределенных по пяти группам [1]:

– деятельность по улучшению обстановки с пожарами («1 Пожары»);

– организация и осуществление надзорной деятельности и профилактической работы («2 Надзор»);

– организация и осуществление дознания по делам о пожарах («3 Надзор»);

– организация и осуществление лицензирования и предоставления государственных услуг («4 Лицензирование»);

– коррупционные проявления («5 Коррупция»).

Источниками данных, необходимых для определения научно обоснованных критериев оценки и расчета значений показателей, являются сведения, содержащиеся в ведомственных формах статистической отчетности, формируемых органами государственного пожарного надзора (ГПН), а также в информационных системах, эксплуатируемых органами ГПН МЧС России.

В данной публикации приводится описательная статистика результатов расчета за период 1–3 кварталы 2022 г.

Теоретические основы и методы расчета

Основу методики [1] составляет научно обоснованная система показателей и критериев оценки [2], построенная в соответствии с требованиями работы [3]: показатели зависят от деятельности территориальных органов МЧС России; совокупность показателей составляет систему; выполнение функций исполнителями не только улучшает отчетность, но и не ухудшает реальное положение дел; определение показателей обеспечивает однозначность интерпретации как специалистами, так и конечными потребителями услуг; отчетные данные как основа показателей поступают со строгой периодичностью.

Схема взаимосвязи оценок и показателей представлена на рис. 1.

Показатели распределены на непересекающиеся группы.

Оценка начинается на уровне групп и завершается на уровне «Итоговая оценка».

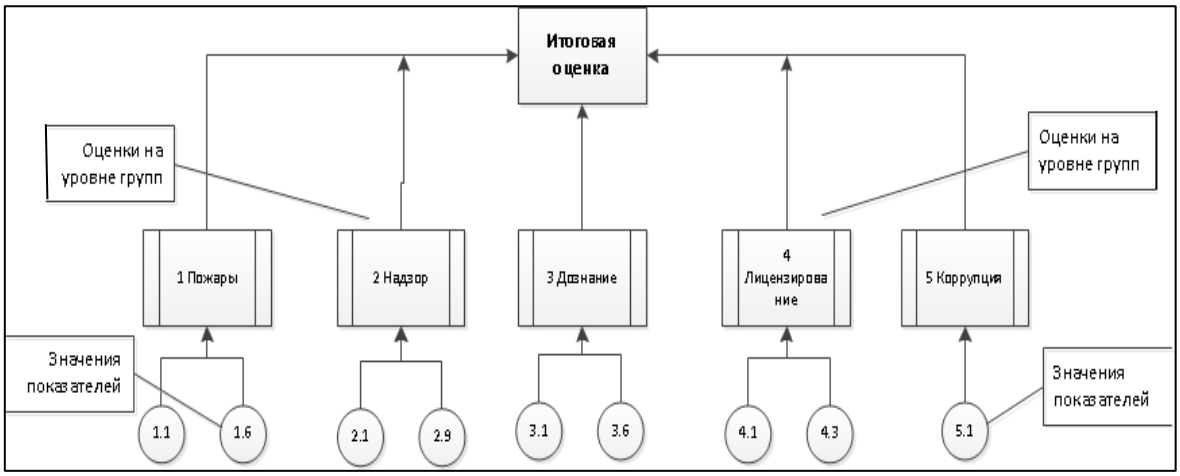


Рис. 1. **Схема взаимосвязи показателей и оценок**

Математический подход по расчету оценки деятельности территориальных органов МЧС России, используемый в рамках Методики, основан на функции Харрингтона (шкале желательности) [4]. Основным расчетным элементом функции Харрингтона является преобразование значений разнородных и разнонаправленных показателей оценки в единую шкалу от 0 до 1.

На уровне групп выполняется отражение показателей на шкалу желательности и агрегирование с учетом весов показателей по формуле [1]:

$$D_i = \sum_{j=1}^{n_i} \alpha_{i,j} * d_{i,j} \ , \sum_{j=1}^{n_i} \alpha_{i,j} = 1,$$

где D_i групповая оценка, $i = 1, 2, .., 5$; $d_{i,j}$ – значение j-го показателя в i -й группе по шкале Харрингтона, $j = 1, 2, \dots, n_i$; n_i – число показателей в i-й группе; $\alpha_{i,j}$ – относительные веса показателей.

На основании итоговой оценки, полученной для каждого из 85 территориальных органов МЧС России, рассчитываются их рейтинги и распределяются места в списке территориальных органов.

И рейтинги, и места рассчитываются на основе итоговых оценок. Особенностью рейтинга является одинаковая направленность с оценками по шкале желательности: «чем больше, тем лучше». В случае мест, наоборот: «чем меньше, тем лучше».

Расчет оценок на всех уровнях схемы взаимосвязи (рис. 1) может быть осуществлен как в каждом территориальном органе МЧС России, так и в целом по Российской Федерации.

Распределение мест в общем рейтинге территориальных органов МЧС России в целом по Российской Федерации возможно только при сравнении итоговых оценок всех территориальных органов между собой.

Результаты расчета оценки деятельности предоставляются территориальным органам МЧС России по завершении оцениваемого периода, для повышения качества принимаемых организационно-управленческих решений территориальными органами МЧС России в рамках предоставленных полномочий.

Предполагается, что после получения результатов оценки, уполномоченные должностные лица территориальных органов МЧС России могут обратить внимание на показатели, по которым получены низкие значения, с целью улучшения их значений в следующем отчетном периоде.

Результаты исследования и их обсуждение

В табл. 1–3 представлены описательные статистики итоговых и групповых оценок, а также рейтингов, рассчитанных по итоговым оценкам [5].

Таблица 1

Описательные статистики оценок и рейтингов в 1 квартале 2022 г.

Статистика	Итог	Рейтинг	1 Пожары	2 Надзор	3 Дознание	4 Лицензирование	5 Коррупция
count	85	85	85	85	85	85	85
mean	0,5695	43,00	0,1421	0,1193	0,1151	0,0738	0,1192
std	0,0386	24,68	0,0231	0,0170	0,0153	0,0093	0,0000
min	0,4812	1,00	0,0777	0,0779	0,0595	0,0528	0,1192
25%	0,5456	22,00	0,1285	0,1110	0,1046	0,0673	0,1192
50%	0,5721	43,00	0,1418	0,1231	0,1171	0,0763	0,1192
75%	0,5946	64,00	0,1615	0,1277	0,1265	0,0801	0,1192
max	0,6778	85,00	0,1838	0,1570	0,1424	0,0902	0,1192

Таблица 2

Описательные статистики оценок и рейтингов во 2 квартале 2022 г.

Статистика	Итог	Рейтинг	1 Пожары	2 Надзор	3 Дознание	4 Лицензирование	5 Коррупция
count	85	85	85	85	85	85	85
mean	0,5422	43,00	0,1285	0,1168	0,1096	0,0708	0,1164
std	0,0399	24,68	0,0245	0,0161	0,0156	0,0101	0,0182
min	0,3668	1,00	0,0629	0,0732	0,0591	0,0154	0,0000
25%	0,5273	22,00	0,1189	0,1036	0,1018	0,0647	0,1192
50%	0,5466	43,00	0,1267	0,1193	0,1115	0,0725	0,1192
75%	0,5714	64,00	0,1459	0,1299	0,1209	0,0778	0,1192
max	0,6176	85,00	0,1762	0,1477	0,1388	0,0883	0,1192

Таблица 3

Описательные статистики оценок и рейтингов в 3 квартале 2022 г.

Статистика	Итог	Рейтинг	1 Пожары	2 Надзор	3 Дознание	4 Лицензирование	5 Коррупция
count	85	85	85	85	85	85	85
mean	0,5593	43,00	0,1231	0,1265	0,1200	0,0706	0,1192
std	0,0337	24,68	0,0235	0,0163	0,0126	0,0075	0,0000
min	0,4635	1,00	0,0373	0,0807	0,0914	0,0536	0,1192
25%	0,5406	22,00	0,1114	0,1159	0,1120	0,0648	0,1192
50%	0,5605	43,00	0,1250	0,1299	0,1191	0,0719	0,1192
75%	0,5813	64,00	0,1405	0,1362	0,1290	0,0765	0,1192
max	0,6313	85,00	0,1616	0,1560	0,1506	0,0867	0,1192

Примечание: count – объем выборки; mean – среднее значение; std – стандартное отклонение; min – минимальное значение; 25 % – 25-й процентиль; 50 % – 50-й процентиль (медиана); 75 % – 75-й процентиль; max – максимальное значение

Из сравнения средних значений оценок следует, что средняя итоговая оценка (0,5695; 0,5422; 0,5593) несколько понизилась во втором квартале и далее снова слегка повысилась.

Похожие колебания наблюдаются и в случае групповых оценок. Медиана итоговых оценок практически не отличается от средних значений (0,5721; 0,5466; 0,5605).

На рис. 2–4 представлены гистограммы [6–8] распределения итоговых оценок с наложенной кривой плотности распределения. Из сравнения рисунков следует, что моды распределений (значения с наибольшей частотой) также подвержены колебаниям.

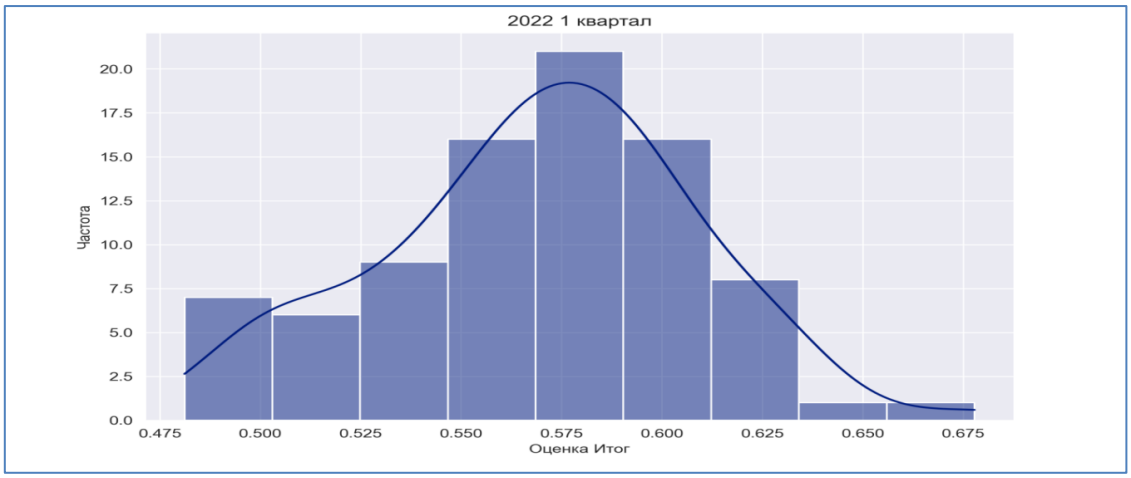


Рис. 2. **Распределение итоговых оценок в 1 квартале 2022 г.**

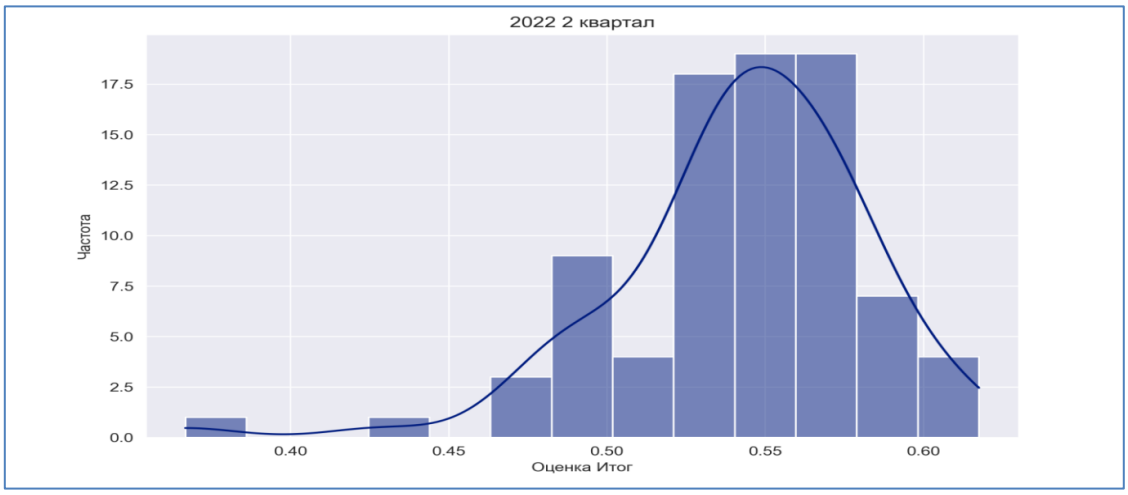


Рис. 3. **Распределение итоговых оценок во 2 квартале 2022 г.**

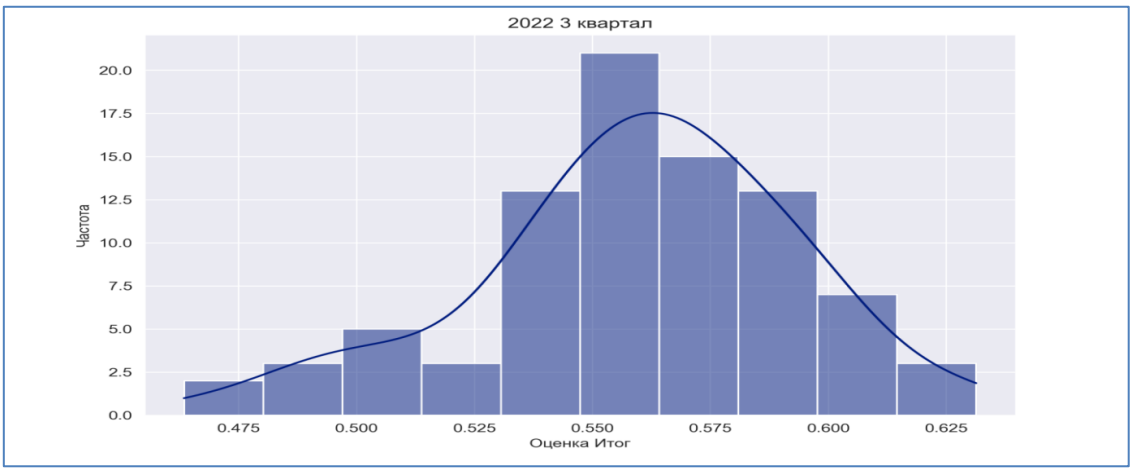


Рис. 4. **Распределение итоговых оценок в 3 квартале 2022 г.**

Таким образом, ожидаемого монотонного возрастания оценок, как следствие улучшения работы территориальных органов МЧС России, не наблюдается, что, в свою очередь, может быть связано с особенностями подготовки исходных данных. Особенностью является отбор сведений, характеризующих деятельность территориальных органов МЧС России, основанный на принципе «Нарастающего итога».

На рис. 5 представлена описательная статистика итоговых оценок в виде диаграммы размаха (box plot) [7, 9].

Box plot («диаграмма с усами») – это полезная визуализация данных, которая иллюстрирует пять различных сводных статистик:

– минимальное значение;
– первый квартиль (25-й процентиль);
– медиана;
– третий квартиль (75-й процентиль);
– максимальное значение.

Кроме того, диаграмма отображает выбросы, которые существуют в данных. Выбросы обычно классифицируются как значения, превышающие межквартильный интервал в 1,5 раза (наблюдаются за пределами «усов»).

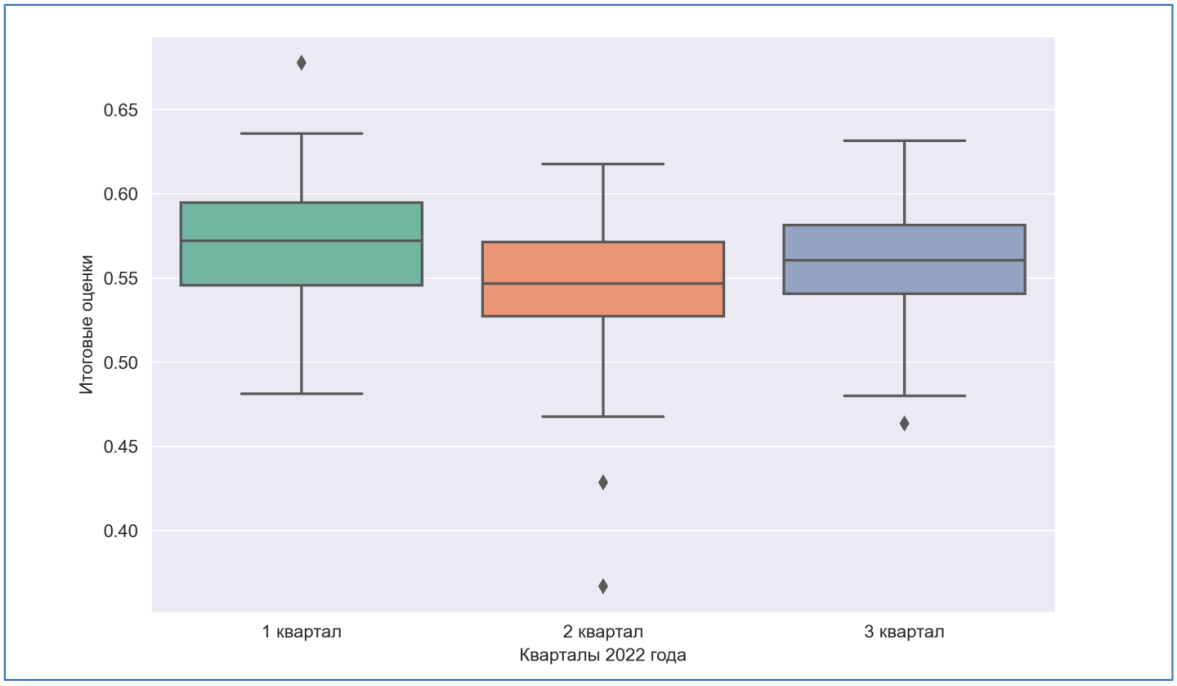


Рис. 5. **Поквартальное сравнение итоговых оценок**

Данные рис. 5 подтверждают, что монотонного возрастания оценок не наблюдается. Наблюдаются выбросы во всех случаях:

– в 1 квартале – в сторону больших оценок;
– во 2–3 кварталах – в сторону меньших оценок.

На рис. 6–10 представлены коробчатые диаграммы взвешенных групповых оценок, из которых формируется итоговая оценка [7, 9].

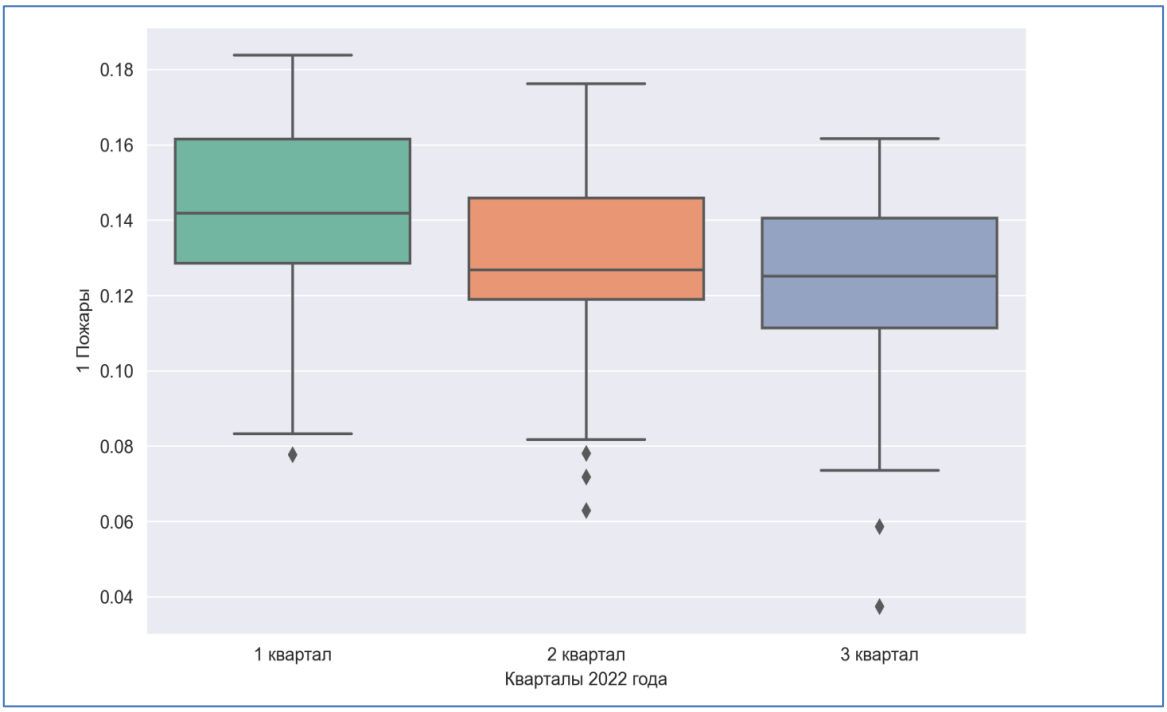


Рис. 6. **Поквартальное сравнение взвешенных оценок группы «1 Пожары»**

Из данных рис. 6 следует, что оценки группы «1 Пожары» монотонно снижаются. При этом наблюдаются выбросы в сторону низких оценок.

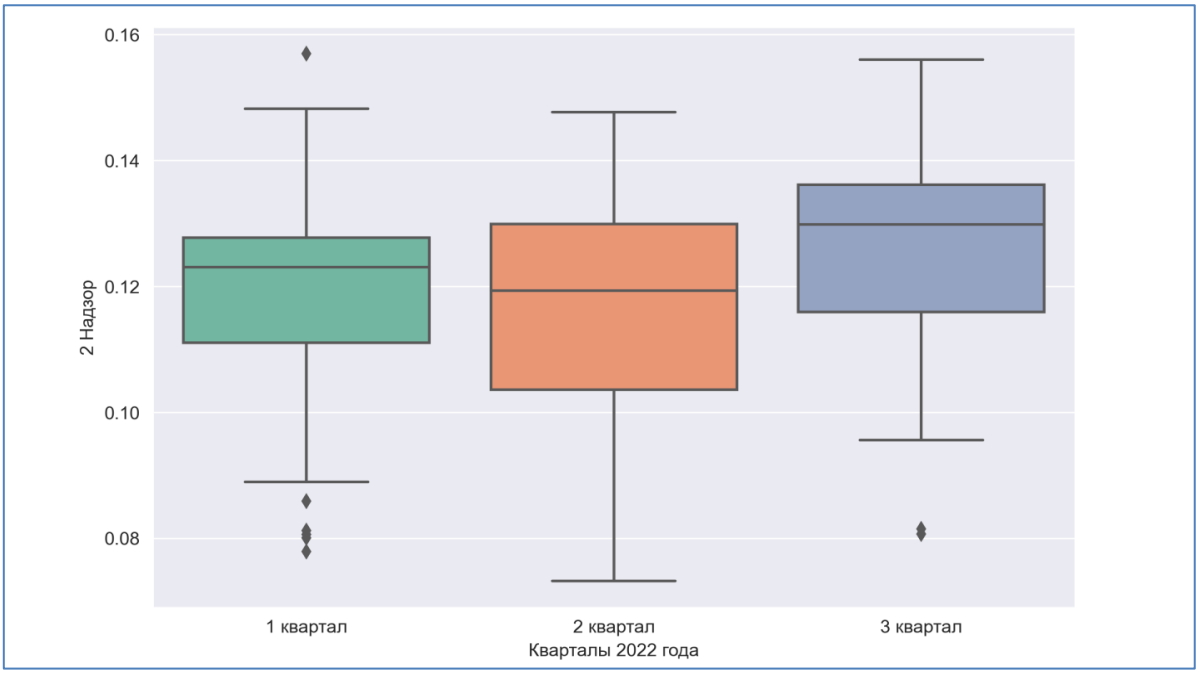


Рис. 7. **Поквартальное сравнение взвешенных оценок группы «2 Надзор»**

По данным рис. 7 наблюдается небольшое повышение оценок группы «2 Надзор». В 1 и 3 кварталах наблюдаются выбросы, причем в 1 квартале имеют место выбросы в обе стороны, в 3 квартале – только в меньшую сторону.

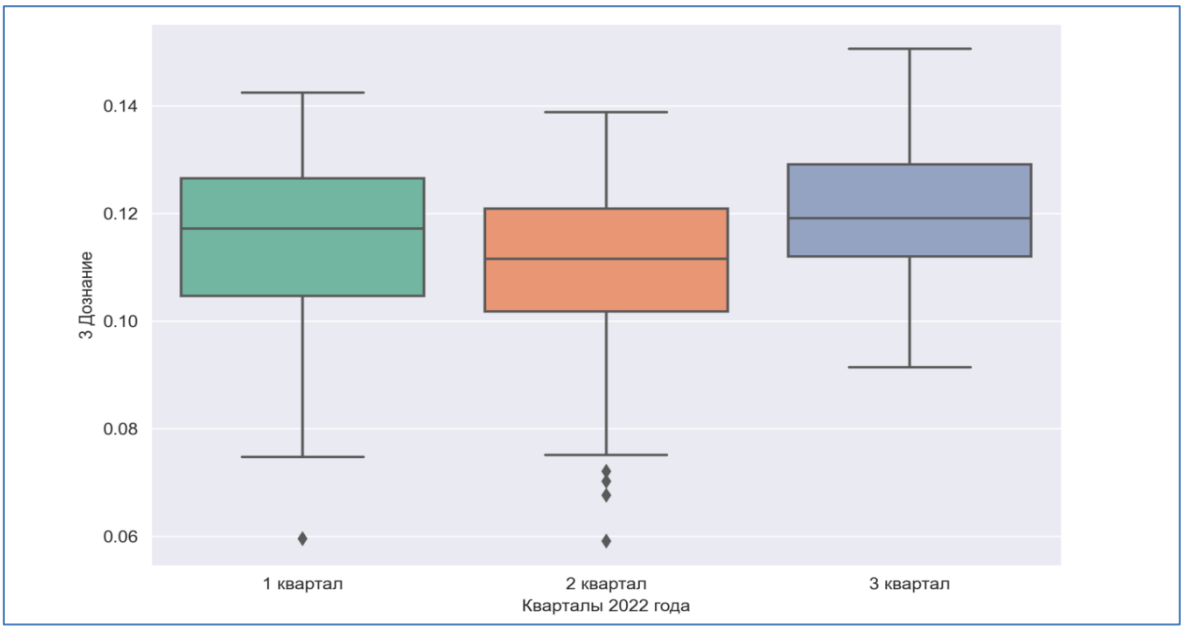


Рис. 8. **Поквартальное сравнение взвешенных оценок группы «3 Дознание»**

По данным рис. 8 в группе «3 Дознание» наблюдается сначала снижение, потом повышение оценок, а также выбросы в 1 и 2 кварталах в меньшую сторону.

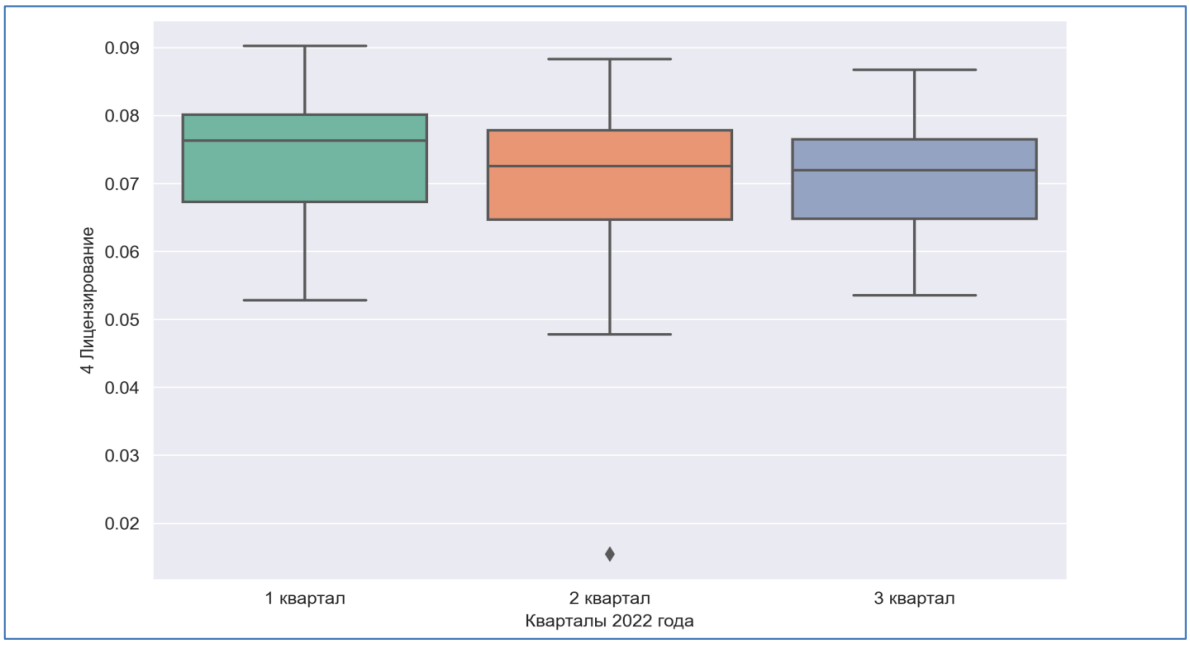


Рис. 9. **Поквартальное сравнение взвешенных оценок группы «4 Лицензирование»**

По данным рис. 9 в группе «4 Лицензирование» наблюдается некоторое снижение оценок. Выброс в меньшую сторону только во 2 квартале.

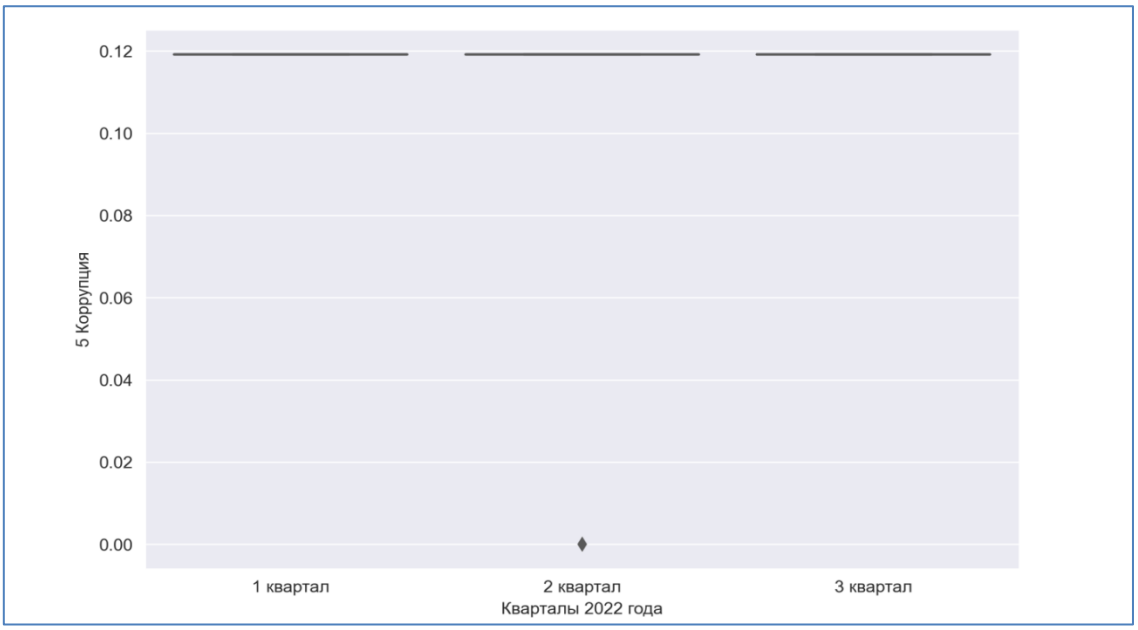


Рис. 10. **Сравнение взвешенных оценок группы «5 Коррупция»**

По данным рис. 10 в группе «5 Коррупция» изменения оценок нет, наблюдается выброс во 2 квартале. Указанный выброс связан с условиями расчета показателя 5.1 (расчет производится по полугодиям).

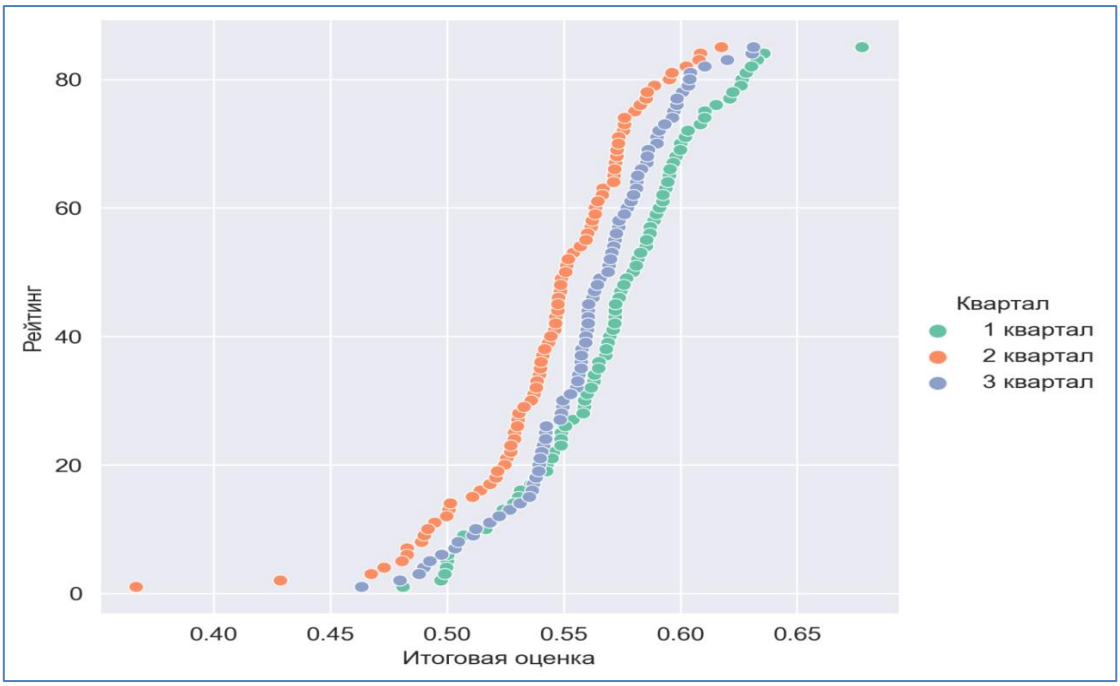


Рис. 11. **Зависимость рейтинга от итоговой оценки**

На рис. 11 представлена зависимость рейтинга от итоговой оценки в виде диаграммы рассеяния [7, 10].

По данным, представленным на рис. 11, наблюдается:

– в 1 квартале 2022 г. кривая смещена в сторону более высоких оценок;

– во 2 квартале 2022 г. кривая «сместилась» в сторону низких оценок;

– в 3 квартале 2022 г. кривая заняла промежуточное положение между предыдущими кривыми.

Согласно информации, представленной в табл. 1–3 и на рис. 11, в большинстве случаев значительное изменение рейтинга территориальных органов МЧС России связано со снижением (ростом) значений показателей группы № 1 «Деятельность по улучшению обстановки с пожарами».

Также к важным факторам, влияющим на изменения мест территориальных органов МЧС России в общем рейтинге, относятся:

1) значительные снижения (рост) значений показателей, имеющих наибольший весовой коэффициент. К указанным показателям относятся показатели № 1.1, 1.2, 2.3, 2.4, 3.3, 5.1. Снижение (рост) указанных показателей существенным образом влияет на итоговую оценку деятельности территориального органа МЧС России;

2) общая тенденция снижения итоговых значений оценки деятельности по территориальным органам МЧС России во 2 квартале 2022 г., которая связана с особенностями расчета отдельных показателей. Указанные особенности регламентированы положениями раздела 1 «Общие положения. Исходная система данных» Методики [1].

Заключение

Вариация результатов оценки деятельности территориальных органов МЧС России за период 1–3 кварталы 2022 г., в том числе и распределение результатов групповых оценок, свидетельствует об эффективности применяемого подхода.

Используемая научно-обоснованная система показателей и критериев оценки деятельности территориальных органов МЧС России в полной мере характеризует уровень достижения приоритетных направлений государственной политики в области пожарной безопасности, а также способствует оперативному реагированию территориальных органов МЧС России на выбор эффективных механизмов осуществления надзорной деятельности и профилактической работы, дознания по делам о пожарах, лицензирования и предоставлению услуг в области пожарной безопасности.

Список источников

1. Об утверждении Методики оценки деятельности территориальных органов МЧС России по вопросам осуществления федерального государственного пожарного надзора, осуществления дознания, лицензирования и предоставления государственных услуг в области пожарной безопасности: приказ МЧС России от 9 марта 2022 г. № 168. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

2. Разработка научно обоснованных критериев и методики оценки деятельности территориальных органов МЧС России по вопросам осуществления надзорной деятельности и профилактической работы, осуществления дознания, лицензирования и представления государственных услуг: Отчет о НИР. Балашиха: ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2022.

3. Нагимова А.М. Эффективность деятельности государственных органов управления как фактор повышения качества жизни в регионе: проблемы оценки и измерения: монография. Казань: Казан. гос. ун-т, 2009. 188 с.

4. Harrington E.C. The desirable function. – Industrial Quality Control. 1965. Vol. 21. № 10. P. 124–131.

5. How to Get the Descriptive Statistics for Pandas DataFrame. URL: https://www.geeksforgeeks.org/how-to-get-the-descriptive-statistics-for-pandas-dataframe/ (дата обращения: 25.12.2022).

6. Гистограммы и графики распределения в Python // Блог компании SkillFactory. URL: https://habr.com/ru/company/skillfactory/blog/683738/ (дата обращения: 20.12.2022).

7. Seaborn для визуализации данных в Python. URL: https://pythonru.com/biblioteki/seaborn-plot (дата обращения: 26.12.2022).

8. Seaborn. histplot. URL: //https://seaborn.pydata.org/generated/seaborn.histplot.html (дата обращения: 26.12.2022).

9. Seaborn. boxplot. URL: https://seaborn.pydata.org/generated/seaborn.boxplot.html (дата обращения: 26.12.2022).

10. Seaborn. scatterplot. URL: https://seaborn.pydata.org/generated/seaborn.scatterplot.html (дата обращения: 26.12.2022).

References

1. Ob utverzhdenii Metodiki ocenki deyatel'nosti territorial'nyh organov MCHS Rossii po voprosam osushchestvleniya federal'nogo gosudarstvennogo pozharnogo nadzora, osushchestvleniya doznaniya, licenzirovaniya i predostavleniya gosudarstvennyh uslug v oblasti pozharnoj bezopasnosti: prikaz MCHS Rossii ot 9 marta 2022 g. № 168. Dostup iz sprav.-pravovoj sistemy «Konsul'tantPlyus».

2. Razrabotka nauchno obosnovannyh kriteriev i metodiki ocenki deyatel'nosti territorial'nyh organov MCHS Rossii po voprosam osushchestvleniya nadzornoj deyatel'nosti i profilakticheskoj raboty, osushchestvleniya doznaniya, licenzirovaniya i predstavleniya gosudarstvennyh uslug: Otchet o NIR. Balashiha: FGBU VNIIPO MCHS Rossii, 2022.

3. Nagimova A.M. Effektivnost' deyatel'nosti gosudarstvennyh organov upravleniya kak faktor povysheniya kachestva zhizni v regione: problemy ocenki i izmereniya: monografiya. Kazan': Kazan. gos. un-t, 2009. 188 s.

4. Harrington E.C. The desirable function. – Industrial Quality Control. 1965. Vol. 21. № 10. P. 124–131.

5. How to Get the Descriptive Statistics for Pandas DataFrame. URL: https://www.geeksforgeeks.org/how-to-get-the-descriptive-statistics-for-pandas-dataframe/ (data obrashcheniya: 25.12.2022).

6. Gistogrammy i grafiki raspredeleniya v Python // Blog kompanii SkillFactory. URL: https://habr.com/ru/company/skillfactory/blog/683738/ (data obrashcheniya: 20.12.2022).

7. Seaborn dlya vizualizacii dannyh v Python. URL: https://pythonru.com/biblioteki/seaborn-plot (data obrashcheniya: 26.12.2022).

8. Seaborn. histplot. URL: //https://seaborn.pydata.org/generated/seaborn.histplot.html (data obrashcheniya: 26.12.2022).

9. Seaborn. boxplot. URL: https://seaborn.pydata.org/generated/seaborn.boxplot.html (data obrashcheniya: 26.12.2022).

10. Seaborn. scatterplot. URL: https://seaborn.pydata.org/generated/seaborn.scatterplot.html (data obrashcheniya: 26.12.2022).

Информация о статье:
Статья поступила в редакцию: 19.01.2023; одобрена после рецензирования: 26.02.2023; принята к публикации: 27.02.2023

Information about the article:
The article was submitted to the editorial office: 19.01.2023; approved after review: 26.02.2023; accepted for publication: 27.02.2023

Информация об авторах:
Искалин Виктор Иосифович, ведущий научный сотрудник научно-исследовательского центра организационно-управленческих проблем пожарной безопасности Всероссийского ордена «Знак Почета» научно-исследовательского института противопожарной обороны МЧС России (143903, Московская обл., г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, д. 12), кандидат химических наук, доцент
Сорокин Владимир Александрович, начальник сектора научно-исследовательского центра организационно-управленческих проблем пожарной безопасности Всероссийского ордена «Знак Почета» научно-исследовательского института противопожарной обороны МЧС России (143903, Московская обл., г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, д. 12)
Туз Наталья Владимировна, начальник сектора научно-исследовательского центра организационно-управленческих проблем пожарной безопасности Всероссийского ордена «Знак Почета» научно-исследовательского института противопожарной обороны МЧС России (143903, Московская обл., г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, д. 12), e-mail: ntuz@yandex.ru

Information about authors:
Iskalin Viktor I., leading researcher at the research center for organizational and managerial problems of fire safety of the All-Russian order «Badge of Honor» of the research institute of fire defense of EMERCOM of Russia (143903, Moscow region, Balashikha, mkr. VNIIPO, 12), candidate of chemical sciences, associate professor
Sorokin Vladimir A., head of the sector of the research center for organizational and managerial problems of fire safety of the All-Russian order «Badge of Honor» of the research institute of fire defense of EMERCOM of Russia (143903, Moscow region, Balashikha, mkr. VNIIPO, 12)
Tuz Natalia V., head of the sector of the research center for organizational and managerial problems fire safety of the All-Russian Order «Badge of Honor» of the research institute of fire defense of EMERCOM of Russia (143903, Moscow region, Balashikha, mkr. VNIIPO, 12), e-mail: ntuz@yandex.ru

Научная статья
УДК 338.48

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ПРОЦЕССА ВЫБОРА МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ГРУППИРОВКИ СИЛ ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

✉Белоуско Юрий Александрович.
Главное управление МЧС России по Республике Мордовия (по защите, мониторингу и прогнозированию чрезвычайных ситуаций) – управление гражданской защиты, г.о. Саранск, Россия
✉belousko.y@inbox.ru

Аннотация. В современных автоматизированных системах организационно-технологического управления, типичным представителем которых являются автоматизированные системы управления, наивысшим уровнем представления данных является цифровая картографическая информация. В статье предлагается модель процесса выбора местоположения сил ликвидации последствий чрезвычайной ситуации для принятия верного и наиболее быстрого управленческого решения по организации действия сил и средств. Обосновывается использование формата SXF из множества существующих обменных форматов, который позволяет с большей эффективностью решить задачи выбора местоположения элементов группировки ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций.

Ключевые слова: выбор местоположения, управленческое решение, обработка информации, формат SXF

Для цитирования: Белоуско Ю.А. Разработка модели процесса выбора местоположения элементов группировки сил ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2023. № 1. С. 98–108.

Scientific article

DEVELOPMENT OF A MODEL FOR SELECTING THE LOCATION OF ELEMENTS OF A GROUP OF EMERGENCY RESPONSE FORCES TO MAKE THE MOST EFFECTIVE MANAGEMENT DECISION

✉Belousko Yuri A.
Main directorate of EMERCOM of Russia in the Republic of Mordovia (for protection, monitoring and forecasting of emergency situations) – civil protection department, Saransk, Russia
✉belousko.y@inbox.ru

Abstract. In modern automated systems of organizational and technological management, a typical representative of which are automated control systems, the highest level of data representation is the digital cartographic information. The article offers a model of the process of choosing the location of emergency forces to make the right and most rapid managerial decision on the organization of the forces and resources. Use of format SXF, from set of existing exchange formats which allows to solve a problem of a choice of a site of elements of group liquidation of consequences of emergencies with greater efficiency is proved.

Keywords: location selection, management decision, information processing, SXF format

For citation: Belousko Yu.A. Development of a model for selecting the location of elements of a group of emergency response forces to make the most effective management decision // Scientific and analytical journal «Vestnik Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia». 2023. № 1. P. 98–108.

© Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2023

Введение

Существующее в настоящее время геоинформационное обеспечение задач выбора районов для размещения элементов группировки ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций (ЧС) является бессистемным, слабо автоматизированным, с большей долей ручного труда должностных лиц органов управления ЧС и не отвечает современным требованиям по оперативности доступа к информации и обеспечению требуемого уровня информационных потребностей.

Проблема совершенствования геоинформационного обеспечения задач выбора районов для размещения элементов группировки ЧС стоит очень остро, что проявляется в неэффективности планирования аварийно-спасательных работ.

Учитывая частичную проработку данной проблемы, для её дальнейшего разрешения требуется развитие модели представления цифровой картографической информации и методики оценки свойств участков местности для геоинформационного обеспечения задач выбора районов размещения элементов группировки ликвидации последствий ЧС.

Методы исследования

В современных автоматизированных системах организационно-технологического управления, типичным представителем которых являются автоматизированные системы управления, наивысшим уровнем представления данных в технологии использования данных о поверхности Земли, то есть в геоинформационных технологиях, является цифровая картографическая информация (ЦКИ). ЦКИ представляет собой комбинацию цифровой карты местности (ЦКМ) и дополнительной информации, которая может быть нанесена пользователем на топографическую карту при решении прикладных задач. В сферах организационного управления такой дополнительной информацией являются различные символы или знакографическая информация [1, с. 28, 29].

Базовый формат обмена SXF был разработан и утвержден для хранения ЦКМ, обмена данными между различными геоинформационными системами (ГИС), создания цифровых и электронных карт и решения прикладных задач в интересах правоохранительных министерств и ведомств. Этот открытый формат позволяет решать функциональные задачи с более высокой эффективностью, так как он наделен качествами, позволяющими размещать на его основе архивы электронных карт с использованием различных технических средств. Также для обмена пространственными данными между ГИС [2, с. 114, 115].

ЦКМ – это копия топографической карты формата доставки, хранящаяся в средствах автоматизации в форматах приложений (презентаций). Эта двойственность форматов ЦКМ обусловлена следующим.

ЦКМ в формате доставки представляет собой набор данных сложной структуры. Каждый из них соответствует одному листу топографической карты и имеет объем от 0,5 до 6 МБ и сложную многослойную структуру. В связи с этим непосредственное использование ЦКМ из-за больших объемов данных и высокой сложности алгоритмов доступа к данным приводит к значительному увеличению продолжительности решения прикладных задач в автоматизированных системах управления с использованием ГИС [3, с. 41].

Поэтому с целью повышения эффективности решения прикладных задач в автоматизированных системах управления и при наличии жестких ограничений на объем обрабатываемой картографической информации целесообразно провести предварительное преобразование формата доставки ЦКМ в формат представления, снижающий сложность алгоритма доступа к данным. Это преобразование выполняется путем усечения ЦКМ до требуемой степени полноты и детализации, пересчета географических координат объектов из системы координат ЦКМ в геодезические координаты, формирования матрицы высот и типов местности и выполнения ряда других операций [4, с. 46, 47].

В соответствии с информационными потребностями решения многих дополнительных задач в автоматизированных системах управления рационально использовать такие типы представления центральной системы управления, как линейное, площадное, сетевое, контурное.

Линейный, сетевой и контурный форматы представления ЦКИ хранят данные о положении на местности картографических объектов непосредственно в виде отсчетов координат. Положение площадных картографических объектов в формате представления задается координатами узлов аппроксимирующей ломаной линии (АЛЛ) [5].

Результаты исследования и их обсуждение

В ГИС существуют такие главные виды координат, как точка, незамкнутая и замкнутая линии и полигон. Данных о координатах будет недостаточно чтобы охарактеризовать картографическую либо сложную графическую информации. Картографические объекты, кроме метрической, наделены определенной описательной информацией, например, политических единиц, городов, рек и т.д. Характеристики объектов, которые входят в состав этой информации, называются атрибутами. Атрибуты изображают тематические и временные характеристики. Благодаря атрибутам можно выполнять анализ объектов. Информация об атрибутах находится в базах данных, с применением стандартных форм запросов и разных фильтров и выражений математической логики [6, с. 11].

Описание атрибута является дополнением к описанию координат. Вместе они описывают ГИС-модели в крупном масштабе и решают проблемы типизации исходных данных. Все это упрощает процессы классификации и обработки картографической информации.

Как показывает анализ, выше упомянутые форматы ЦКИ в стандартной форме SXF, с одной стороны, весьма избыточны, а с другой – недостаточны. В связи с этим структуру форматов ЦКИ в аспекте решения задачи выбора местоположения элементов группировки ликвидации последствий ЧС рационально подвергнуть модернизации. Обобщенная структура форматов представления ЦКИ с учетом предлагаемых изменений приведена на рисунке [7].

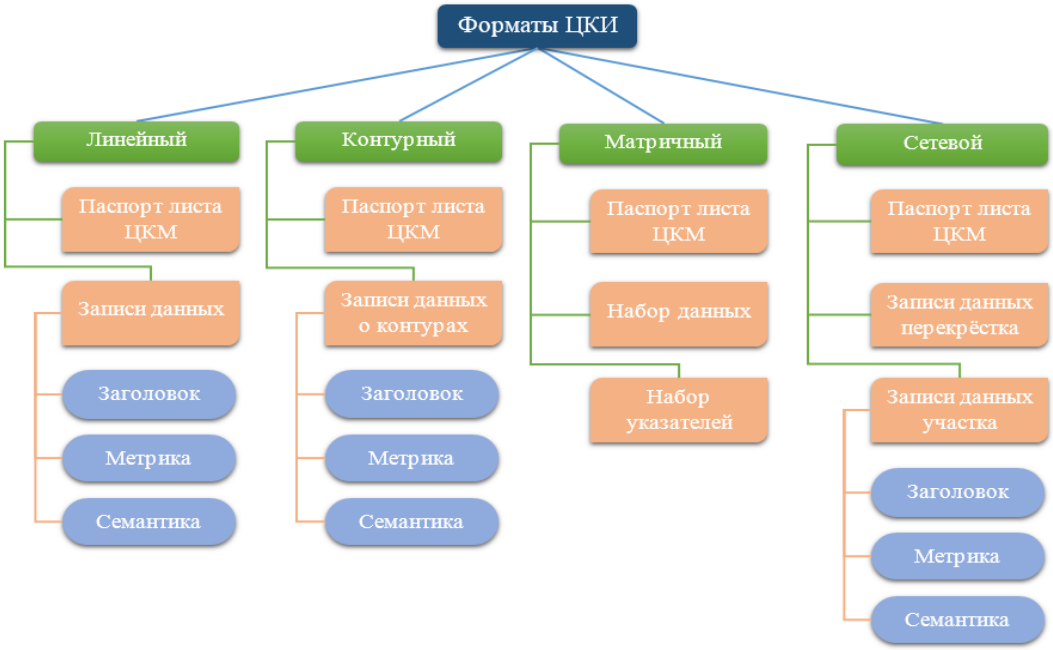


Рис. **Обобщенная структура форматов представления ЦКИ**

Формально модель представления ЦКИ, необходимой для решения задач по выбору местоположения элементов группировки ликвидации последствий ЧС, записывается в следующем виде:

$$\mathbf{M} = \langle \Pi, \mathbf{Z} \rangle,$$

где П – совокупность паспортных данных (паспорт листа карты); $\mathbf{Z} = \{z_i\}$ – набор записей данных.

Паспортные данные предназначены для отображения сведений, характерных для всех записей набора данных [8, с. 14].

Как правило, этими сведениями определяются границы листа карты и мощность (количество записей) набора данных. Паспортные данные имеют следующий вид:

$$\Pi = \langle K_{\text{пред}}, E_{\text{изм}}, N_{\text{зап}} \rangle,$$

где $K_{\text{пред}}$ – предельные координаты; $E_{\text{изм}}$ – единицы измерений координат; $N_{\text{зап}}$ – количество записей в наборе данных.

Для линейного, контурного и сетевого форматов наборы записей данных имеют единую форму представления. Для этих форматов отдельная запись z_i имеет следующий вид:

$$z_i = \langle Id_i, Type_i, \mathbf{Met}_i, \mathbf{Sem}_i \rangle,$$

где Id_i – идентификатор (классификационный код) *i*-го картографического объекта в наборе; $Type_i$ – тип объекта (точечный, линейный, площадной); $\mathbf{Met}_i$ – множество метрик объекта; $\mathbf{Sem}_i$ – множество элементов семантики объекта.

Метрика объекта имеет следующий формат представления:

$$\mathbf{Met}_i = \{K_{ij}\},$$

где K_{ij} – *j*-й координатный отсчет *i*-го объекта.

Элемент семантики объекта имеет следующий формат представления:

$$\mathbf{Sem}_i = \{\langle Name_{ij}, C_{ij} \rangle\},$$

где $Name_{ij}$ – наименование *j*-й характеристики *i*-го объекта; C_{ij} – значение *j*-й характеристики *i*-го объекта.

За основу структуры линейного формата принята структура формата SXF с некоторыми изменениями и дополнениями. В частности, данные координат картографических объектов хранятся в оптимизированной векторной географической форме. Информация в паспортной записи хранится в символьной и двоичной форме, в зависимости от поля записи. Двоичные поля содержат целые числа длиной два или четыре байта. Некоторые поля могут содержать данные, умноженные на масштабный коэффициент.

Классификационный код картографического объекта в качестве одной из частей заголовка записи данных определяет тип объекта из таблицы требуемых категорий [9, с. 1461].

Таблица нумеруется в паспортном файле в соответствии с размером первичного материала, национальной картографической системой и другими условиями.

Метрика объекта – это координаты точек контура объекта, размещенных поэтапно, или координаты точки привязки для объектов, не имеющих оцифрованного контура. Метрика объекта ЦКМ расположена в системе координат устройства, на котором она была получена. Для получения правильных координат объекта используются данные из файла паспорта.

Сфера данных семантики включает в себя блоки данных переменной длины. Для символьного поля длина характеристики не превышает 255 символов в строке. Для цифрового целочисленного поля степень числа равна десяти, масштабный коэффициент для записи чисел с дробной частью или больших чисел. Масштабный коэффициент может иметь значение от -127 до +127. Количество блоков данных совпадает с количеством семантических характеристик для данного объекта.

Как показывает анализ информационных потребностей задач выбора местоположения элементов группировки реагирования на ЧС, в качестве характеристик элементарного рельефа достаточно иметь абсолютную высоту местности, относительную высоту местных объектов и тип поверхности (ЭУМ). Эти потребности задач удовлетворяются с использованием матричного формата представления ЦКИ.

Из перечисленных полей данных матричного формата ЭУМ особое внимание следует уделить типу поверхности, который включает в себя восемь объектов, причем объекты независимы и могут принимать значения в любой комбинации («1» – наличие объекта, «0» – отсутствие) [10, с. 29].

Поле «Тип поверхности» может включать такие признаки: наличие данных об участке, населенный пункт, лес, кустарник, водная поверхность (море, озеро, река и т.д.), открытая поверхность (поле, поляна в лесу, и т.д.), труднопроходимая местность, дорожная доступность (возможность достижения данного участка с использованием транспорта по автомобильным дорогам или вне дорог), запрещенная зона для развертывания или перемещения сил и средств группировки ликвидации последствий ЧС (например, зона заражения, солончаки).

В матричном формате ЦКМ для обеспечения точности данных выбор шага регулярной сетки координат имеет определяющее значение. Максимальную точность данных матричной ЦКМ, очевидно, можно получить, выбрав шаг сетки, равный погрешности исходной ЦКМ формата SXF. К примеру, при формировании матричной ЦКМ формата SXF масштаба 1:100 000 шаг сетки координат принимают равным 50 м. Тогда требуется объем данных ЦКМ до 12 800 байт на км^2 [11, с. 39].

При решении задач выбора места расположения элементов группировки ликвидации последствий ЧС часто возникает необходимость использования данных дорожного кадастра. Эти возможности обеспечиваются сетевым форматом данных ЦКИ, поскольку он обладает свойствами, необходимыми для удовлетворения потребностей этих задач.

В задачах выбора местоположения элементов группировки ликвидации последствий ЧС, частным решением которых является определение местоположения объекта в пределах заданной территории в виде произвольного многоугольника, необходимо использовать контурный формат ЦКИ для удовлетворения потребностей в данных [12, с. 118].

При создании ЦКМ формата SXF в качестве исходного картографического материала используются в основном стандартные топографические карты, имеющие погрешность не более 0,5 мм в масштабе карты, а разрешающая способность прибора составляет 0,04 мм [13, с. 26, 27].

Для того чтобы оптимизировать точность географических координат ЦКМ, представляется целесообразным ввести специальные единицы измерения широты и долготы. В качестве единицы измерения введем значение, соответствующее общей погрешности ЦКМ. Погрешность ЦКМ, выраженная в радианах по широте и долготе, будет разной. Единица измерения широты немного изменится, когда она изменится из-за несферичности Земли. Единица долготы будет увеличиваться с увеличением широты по мере уменьшения длины параллели [14, с. 4].

Единицы измерения широты и долготы могут быть рассчитаны для любого листа формата ЦКМ SXF на основе данных, хранящихся в паспорте карты. Включив единицы измерения широты и долготы в паспорт данных и выразив координаты картографических объектов в виде целых чисел в соответствующих единицах, можно получить ЦКМ в географических координатах с объемом данных, немного превышающим объем ЦКМ в формате SXF. После удаления координат линейных и площадных картографических объектов, совпадающих в результате округления, также возможно уменьшить их объем до 10 % [15].

Дальнейший анализ значений координат ЦКМ в географической форме связан с выявлением тенденций изменения координат линейных и площадных картографических объектов. Как показывает практика работы с ЦКМ различных масштабов, изменение значений широты и долготы от эталона к эталону в линейных и площадных объектах более чем в 95 % случаев находится в диапазоне от -127 до +127. Если вы сохраняете абсолютные координаты начальной точки линейного объекта или контура площадного объекта в ЦКМ, а для остальных точек сохраняете изменение их координат относительно предыдущей, то координаты всех точек можно записать в два байта (по одному байту на широту и долготу). Аналогичный способ записи координат предусмотрен в формате SXF, но используется редко и называется «векторной формой». Использование векторной формы позволяет уменьшить объем ЦКМ до 25 % [14, с. 14].

При анализе векторной формы координат видно, что, как правило, она далека от оптимальной, поскольку в ЦКМ также есть площадные объекты, которые имеют доступ к рамке листа карты. Картографические объекты такого листа имеют в составе своих контуров длинные отрезки, проходящие через рамку листа, значения координат которых после всех преобразований выходят за пределы оптимального диапазона (от -127 до +127). При переводе координат этих объектов в векторную форму выбирается представление значений в виде целого типа Integer (два байта на координату). С учетом общего количества сегментов в контурах избыточность данных в координатах таких объектов может составлять более 98 %. Такая ситуация, например, наблюдается в дата-центре формата SXF практически для всех картографических объектов типа «лесной массив». Это обстоятельство обосновывает высокую актуальность решения задачи определения требуемой точности представления цифровых картографических объектов ЦКМ.

Приведем постановку задачи определения требуемой точности представления цифровых картографических объектов.

Дано:

$P_i = \{X_i, Y_i\}$, $i = 1, \ldots, n$ – отсчет координат в формате SXF, где $X_i = X(P_i)$ и $Y_i = Y(P_i)$ – значения координат точки в единицах прибора; n – количество отсчетов координат линейного или площадного картографического объекта; $K = \{P_1, P_2, \ldots, P_i, \ldots, P_n\}$ – множество координат линейного или площадного объекта в формате *SXF*, $1 \le i \le n$; $G_i = \{B_i, L_i\}$ – отсчет координат в формате применения, где $B_i = B(G_i)$ – долгота; $L_i = L(G_i)$ – широта точки G_i, выраженная в относительных единицах; $C = \{G_1, G_2, \ldots, G_i, \ldots, G_n\}$ – множество координат объекта в формате применения.

Метрику дискретизации i-го отрезка АЛЛ объекта K в формате SXF зададим в виде:

$$\delta_i(K) = \max\left\{\mathrm{abs}\left[X(P_{i+1}) - X(P_i)\right],\ \mathrm{abs}\left[Y(P_{i+1}) - Y(P_i)\right]\right\},\ 1 \le i < n.$$

Метрика дискретизации координат объекта в формате SXF тогда будет определяться выражением:

$$\Delta(K) = \max\left[\delta_i(K)\right].$$

Определим аналогично метрику дискретизации *i*-го отрезка АЛЛ объекта *C* в формате применения:

$$\delta_i(C) = \max\left\{\mathrm{abs}\left[B(G_i) - B(G_{i-1})\right],\ \mathrm{abs}\left[L(G_i) - L(G_{i-1})\right]\right\}.$$

Тогда метрика дискретизации координат объекта в формате применения будет иметь вид:

$$\Delta(C) = \max\left[\delta_i(C)\right].$$

Объем данных отсчета координат в формате применения в битах, полученный вследствие векторизации, будет определяться выражением:

$$w(C) = 2\left\{\mathrm{int}\left[\lg_2\Delta(C)\right] + 1\right\}.$$

Объем данных координат объекта в формате применения:

$$W(C) = (n-1)w(C) + W_0,$$

где W_0 – объем данных координат начальной точки объекта (является константой).

Требуется построить:

$f(P_i): P_i \to G_i$ – функцию пересчета отсчета координат из системы SXF в систему формата применения (вид функции может быть различным и определяется как проекцией картографического источника ЦКМ, так и требуемой точностью пересчета координат);

$F(K): K \to C$ – функцию пересчета координат объекта из системы SXF в систему формата применения, такую, что $\forall i, 1 \le i \le n$, $G_i = f(P_i)$.

Определим операцию изменения (уменьшения) метрики дискретизации объекта $dm(K)$ следующим образом: середину каждого отрезка АЛЛ объекта, для которого метрика дискретизации отсчета координат конечной точки равна метрике дискретизации объекта, включим в качестве новой вершины ломаной между вершинами начала и конца отрезка.

Так как во всех основных проекциях карт $f(P)$ монотонна, операция $dm(K)$ направлена на уменьшение как $\Delta(K)$, так и $\Delta(C)$. Поэтому в общем случае справедливо соотношение:

$$\Delta\left\{F\left[dm(K)\right]\right\} \le \Delta\left[F(K)\right].$$

Равенство в данном выражении возможно только в случае, когда $\Delta\left[F(K)\right] = 1$. Это означает, что точность картографических данных достигла минимального значения и ее дальнейшая оптимизация не реализуема.

Из определения операции $dm(K)$ следует, во-первых, что $dm(K)$ увеличивает количество отсчетов координат объекта *n*, во-вторых, повышает точность данных в формате применения:

$$w\left\{F\left[dm(K)\right]\right\} = w\left[F(K)\right] - 2.$$

Пусть операция $dm(K)$ увеличила количество вершин на *m*, тогда справедливо выражение:

$$W\left\{F\left[dm(K)\right]\right\}=(n+m-1)\left\{w\left[F(K)\right]-1\right\}+W_0.$$

Повышение точности картографических данных возможно, если выполняется хотя бы одно из ниже приведенных условий:

$$W\left\{F\left[dm(K)\right]\right\}<W\left[F(K)\right]. \quad (1)$$

$$(n+m-1)\left\{w\left[F(K)\right]-2\right\}+W_0<(n-1)w\left[F(K)\right]+W_0. \quad (2)$$

$$nw\left[F(K)\right]+mw\left[F(K)\right]-w\left[F(K)\right]-2n-2m+2<nw\left[F(K)\right]-w\left[F(K)\right]. \quad (3)$$

$$mw\left[F(K)\right]-2n-2m+2<0. \quad (4)$$

$$m\left(w\left[F(K)\right]-2\right)<2n-2. \quad (5)$$

$$m<2\frac{n-1}{w\left[F(K)\right]-2}. \quad (6)$$

Пусть $z(C)$ – функция, вычисляющая количество отрезков АЛЛ в формате применения, для которых $\delta_i(C)=\Delta(C)$. Тогда, основная идея метода определения требуемой точности представления цифровой картографической информации сводится к следующему.

Если $z\left[F(K)\right]\geq 2\frac{n-1}{w\left[F(K)\right]-2}$, то требуемой точностью представления цифровой картографической информации является $F(K)$. В противном случае выполняется преобразование $K:=dm(K)$ и повторяется проверка условий (1–6). Такая процедура продолжается до нарушения хотя бы одного из условий (1–6).

По определению $z\left[F(K)\right]\leq n$. Но так как при каждом преобразовании $K:=dm(K)$ уменьшается значение $w\left[F(K)\right]$, то эта процедура обладает свойством безусловной сходимости [17, с. 14].

Из анализа условий (1–6) можно сделать вывод, что наибольший выигрыш по точности представления картографической информации будет у тех картографических объектов, у которых достаточно велико значение метрики дискретизации, но доля отрезков АЛЛ объекта, имеющих максимальное значение метрики дискретизации, мала [18, с. 46].

Заключение

Таким образом, применение предложенной модели представления ЦКИ о местоположении элементов группировки ликвидации последствий ЧС при использовании формата SXF позволяет с большей эффективностью решать прикладные функциональные задачи ГИС, не снижая точности представления ЦКИ. Предложенные форматы представления ЦКИ позволяют значительно повысить оперативность представления и обработки геоинформации и существенно снизить ряд требований к техническим

характеристикам средств автоматизации, отображающих ЦКИ на рабочих местах автоматизированных систем управления.

Выбор и использование формата SXF из множества существующих обменных форматов, обладающего требуемыми свойствами, позволяет с большей эффективностью решить задачи выбора местоположения элементов группировки ликвидации последствий ЧС, не снижая при этом точности представления картографической информации.

Список источников

1. Система управления спасательными формированиями при угрозе возникновения чрезвычайных ситуаций гидрологического характера: монография / А.В. Калач [и др.]; под ред. А.В. Калача. Воронеж: Воронежский ин-т ФСИН России; СПб.: С.-Петерб. ун-т ГПС МЧС России, 2018. 163 с.

2. Занько Н.Г., Малаян К.Р., Русак О.Н. Безопасность жизнедеятельности: учеб. / под ред. О.Н. Русака. Изд-во 17-е., стер. СПб: Лань, 2017. 704 с.

3. Гришко А.К., Лысенко А.В., Моисеев С.А. Прогнозирование и оптимизация управления процессов проектирования сложных технических систем в масштабе реального времени // Надежность и качество сложных систем. 2018. № 1 (21). С. 40–45.

4. Преодолевая холод. Интересы и политика стран Азиатско-Тихоокеанского региона в Арктике: вызовы и возможности для России / под ред. В.Л. Ларина, С.К. Песцова. Владивосток: ИИАЭ ДВО РАН, 2017. 400 с.

5. Реестр потенциально опасных объектов на территории Тверской области. URL: http://www.69.mchs.gov.ru (дата обращения: 17.09.2020).

6. Сбойчакова А.В. Роль Арктического совета в формировании политики экологической безопасности в Арктике: автореф. дис. ... канд. полит. наук. СПб., 2018. 25 с.

7. Уроки и советы по QGIS. URL: http://www.qgistutorials.com/ru/docs/getting_started_wit_pyqgis.html (дата обращения: 20.08.2017).

8. Фомин А.А. Анализ переработки сельскохозяйственной продукции в России и законодательное обеспечение развития отрасли // Московский экономический журнал. 2017. № 3. С. 25.

9. Карандеев Д.Ю. Подходы к решению задачи поиска оптимальной структуры распределительной сети на основе инструментов теории информации // Проспект Свободный – 2018: Междунар. науч.-практ. конф. Красноярск: Сибирский федер. ун-т, 2018. С. 1461–1463.

10. Каримова А.А. Современные подходы к технологии создания и обновления государственных топографических карт и планов // Геодезия и Картография. 2018. № 3. С. 29–33.

11. Кефели И.Ф. Арктика в проекте «Большая Евразия»: к вопросу о методологии геополитической экспертизы // Геополитика и безопасность. 2017. № 3 (39). С. 39–44.

12. Ничепорчук В.В. Перспективы виртуализации управления единой государственной системой предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2020. № 2. С. 118–127.

13. Россия и Дания: вопросы взаимодействия в Арктике и регионе Балтийского моря: доклад № 54/2020 / под общ. ред. Р. Майка. М.: НП РСМД, 2020. 60 с.

14. Фомин А.А., Кашин В.И. Законодательное обеспечение воспроизводства плодородия земель сельскохозяйственного назначения // Международный сельскохозяйственный журнал. 2017. № 6. С. 4–9.

15. Способ тушения лесных пожаров / В.А. Зыков [и др.]: пат. RU 2700 227 C1, 2019. URL: https://patenton.ru/patent/RU2700227C1 (дата обращения: 12.03.2021).

16. Ткачев Б.П. Гидрометеорологическое обеспечение устойчивого развития Севера (Арктики). Безопасный Север – чистая Арктика: матер. I Всерос. науч.-практ. конф. Сургут: ООО «Печатный мир г. Сургут», 2018. С. 14–25.

17. Окуловская А.Г. Рабочая программа дисциплины «Геоинформационные системы». Екатеринбург: РГППУ, 2017. 27 с.

18. О состоянии и проблемах законодательного обеспечения реализации стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2020 года. О состоянии и проблемах законодательного обеспечения научной деятельности Российской Федерации в Антарктике: ежегодный доклад (2018 год) / под общ. ред. Г.В. Иванова. М., 2019. 552 с.

References

1. Sistema upravleniya spasatel'nymi formirovaniyami pri ugroze vozniknoveniya chrezvychajnyh situacij gidrologicheskogo haraktera: monografiya / A.V. Kalach [i dr.]; pod red. A.V. Kalacha. Voronezh: Voronezhskij in-t FSIN Rossii; SPb.: S.-Peterb. un-t GPS MCHS Rossii, 2018. 163 s.

2. Zan'ko N.G., Malayan K.R., Rusak O.N. Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti: ucheb. / pod red. O.N. Rusaka. Izd-vo 17-e., ster. SPb: Lan', 2017. 704 s.

3. Grishko A.K., Lysenko A.V., Moiseev S.A. Prognozirovanie i optimizaciya upravleniya processov proektirovaniya slozhnyh tekhnicheskih sistem v masshtabe real'nogo vremeni // Nadezhnost' i kachestvo slozhnyh sistem. 2018. № 1 (21). S. 40–45.

4. Preodolevaya holod. Interesy i politika stran Aziatsko-Tihookeanskogo regiona v Arktike: vyzovy i vozmozhnosti dlya Rossii / pod red. V.L. Larina, S.K. Pescova. Vladivostok: IIAE DVO RAN, 2017. 400 s.

5. Reestr potencial'no opasnyh ob"ektov na territorii Tverskoj oblasti. URL: http://www.69.mchs.gov.ru (data obrashcheniya: 17.09.2020).

6. Sbojchakova A.V. Rol' Arkticheskogo soveta v formirovanii politiki ekologicheskoj bezopasnosti v Arktike: avtoref. dis. ... kand. polit. nauk. SPb., 2018. 25 s.

7. Uroki i sovety po QGIS. URL: http://www.qgistutorials.com/ru/docs/getting_started_wit_pyqgis.html (data obrashcheniya: 20.08.2017).

8. Fomin A.A. Analiz pererabotki sel'skohozyajstvennoj produkcii v Rossii i zakonodatel'noe obespechenie razvitiya otrasli // Moskovskij ekonomicheskij zhurnal. 2017. № 3. S. 25.

9. Karandeev D.Yu. Podhody k resheniyu zadachi poiska optimal'noj struktury raspredelitel'noj seti na osnove instrumentov teorii informacii // Prospekt Svobodnyj – 2018: Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. Krasnoyarsk: Sibirskij feder. un-t, 2018. S. 1461–1463.

10. Karimova A.A. Sovremennye podhody k tekhnologii sozdaniya i obnovleniya gosudarstvennyh topograficheskih kart i planov // Geodeziya i Kartografiya. 2018. № 3. S. 29–33.

11. Kefeli I.F. Arktika v proekte «Bol'shaya Evraziya»: k voprosu o metodologii geopoliticheskoj ekspertizy // Geopolitika i bezopasnost'. 2017. № 3 (39). S. 39–44.

12. Nicheporchuk V.V. Perspektivy virtualizacii upravleniya edinoj gosudarstvennoj sistemoj preduprezhdeniya i likvidacii chrezvychajnyh situacij // Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MCHS Rossii». 2020. № 2. S. 118–127.

13. Rossiya i Daniya: voprosy vzaimodejstviya v Arktike i regione Baltijskogo morya: doklad № 54/2020 / pod obshch. red. R. Majka. M.: NP RSMD, 2020. 60 s.

14. Fomin A.A., Kashin V.I. Zakonodatel'noe obespechenie vosproizvodstva plodorodiya zemel' sel'skohozyajstvennogo naznacheniya // Mezhdunarodnyj sel'skohozyajstvennyj zhurnal. 2017. № 6. S. 4–9.

15. Sposob tusheniya lesnyh pozharov / V.A. Zykov [i dr.]: pat. RU 2700 227 C1, 2019. URL: https://patenton.ru/patent/RU2700227C1 (data obrashcheniya: 12.03.2021).

16. Tkachev B.P. Gidrometeorologicheskoe obespechenie ustojchivogo razvitiya Cevera (Arktiki). Bezopasnyj Sever – chistaya Arktika: mater. I Vseros. nauch.-prakt. konf. Surgut: OOO «Pechatnyj mir g. Surgut», 2018. S. 14–25.

17. Okulovskaya A.G. Rabochaya programma discipliny «Geoinformacionnye sistemy». Ekaterinburg: RGPPU, 2017. 27 s.

18. O sostoyanii i problemah zakonodatel'nogo obespecheniya realizacii strategii razvitiya Arkticheskoj zony Rossijskoj Federacii i obespecheniya nacional'noj bezopasnosti na period

do 2020 goda. O sostoyanii i problemah zakonodatel'nogo obespecheniya nauchnoj deyatel'nosti Rossijskoj Federacii v Antarktike: ezhegodnyj doklad (2018 god) / pod obshch. red. G.V. Ivanova. M., 2019. 552 s.

Информация о статье:
Статья поступила в редакцию: 01.02.2023; одобрена после рецензирования: 05.03.2023; принята к публикации: 07.03.2023

Information about the article:
The article was submitted to the editorial office: 01.02.2023; approved after review: 05.03.2023; accepted for publication: 07.03.2023

Информация об авторах:
Белоуско Юрий Александрович, заместитель начальника Главного управления МЧС России по Республике Мордовия (по защите, мониторингу и прогнозированию чрезвычайных ситуаций) – начальник управления гражданской защиты (430031, г.о. Саранск, ул. Косарева, д. 40), e-mail: belousko.y@inbox.ru

Information about authors:
Belousko Yuri A., deputy head of the Main directorate of EMERCOM of Russia for the Republic of Mordovia (for protection, monitoring and forecasting of emergency situations) – head of the civil protection department (430031, Saransk, Kosareva str., 40), e-mail: belousko.y@inbox.ru

Обзорная статья
УДК 316.472.45

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ ПОДХОДОВ ПОЛУЧЕНИЯ И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ИЗ СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЕЙ

✉Вострых Алексей Владимирович;
Самарин Максим Александрович;
Максимов Александр Викторович.
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия
✉a.vostrykh@list.ru

Аннотация. Проведён сравнительный анализ существующих методов и подходов по обработке информации из социальных сетей, который показал их низкую эффективность, заключающуюся в высоком количестве недостатков, а также слабую функциональную оснащенность в аспектах решения задач МЧС России. Всё это делает невозможным применение как в отдельности рассмотренных методов, так и их совместное использование для решения боевых задач сотрудниками противопожарного ведомства. В связи с этим представленные в настоящей статье критерии и требования станут основой для разработки нового подхода получения и обработки данных из социальных сетей, который позволит своевременно реагировать на чрезвычайные ситуации и более эффективно выполнять превентивные мероприятия для минимизации рисков возникновения паники и развития происшествий в более крупные масштабы.

Ключевые слова: социальная сеть, прогнозирование происшествий, пользователь, анализ данных

Для цитирования: Вострых А.В., Самарин М.А., Максимов А.В. Анализ существующих подходов получения и обработки данных виз социальных сетей // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2023. № 1. С. 109–120.

Review article

ANALYSIS OF EXISTING APPROACHES TO OBTAINING AND PROCESSING DATA FROM SOCIAL NETWORKS

✉Vostrykh Aleksei V.;
Samarin Maxim A.;
Maximov Alexander V.
Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia
✉a.vostrykh@list.ru

Abstract. The article presents a comparative analysis of existing methods and approaches for processing information from social networks, which showed their low efficiency, consisting in a high number of shortcomings, as well as weak functional equipment in aspects of solving the tasks of the Ministry of Emergency Situations of Russia. All this makes it impossible to apply both the methods considered separately and their joint use for solving combat tasks by employees of the fire department. In this regard, the criteria and requirements presented in this article will become the basis for the development of a new approach to obtaining and processing data from social networks, which will allow timely response to emergencies and more effectively carry out preventive measures to minimize the risks of panic and the development of incidents on a larger scale.

Keywords: social network, accident prediction, user, data analysis

© Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2023

For citation: Vostrykh A.V., Samarin M.A., Maximov A.V. Analysis of existing approaches to obtaining and processing data from social networks // Scientific and analytical journal «Vestnik Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia». 2023. № 1. P. 109–120.

Введение

Сегодня в мире цифровых технологий, общество всё чаще использует новые каналы связи для коммуникации [1–3]. Последнее десятилетие активной средой для обмена информацией являются социальные сети, в которых люди разных возрастных и социальных категорий делятся своими взглядами, эмоциями и жизненными ситуациями. Согласно последним статистическим данным 65 % населения России ежедневно заходят в интернет, из них около 93 % имеют аккаунты в социальных сетях. По средствам сетей ежедневно генерируется огромный объём гетерогенной информации, анализ которой может быть полезен для прогнозирования общественных волнений, социальной нестабильности, реализации моделирования экономических и политических процессов, прогнозирования происшествий различного характера и т.д. [1–3].

В статье проведен сравнительный анализ существующих подходов получения и обработки данных из социальных сетей, выявлены их преимущества и недоставки в аспектах применения для целей и задач МЧС России, а также рассмотрены перспективы создания авторского метода анализа текстовой информации о происшествиях и выявление закономерностей в информационных потоках социальных сетей, который с помощью новостных данных из социальных сетей позволит своевременно реагировать на чрезвычайные ситуации и более эффективно выполнять превентивные мероприятия для минимизации рисков возникновения паники и развития происшествий в более крупные масштабы.

Методы исследования

Обзор зарубежных и отечественных научных материалов позволил выявить следующие подходы и способы получения и анализа данных из источников информационных социальных сетей:

В работе [4] авторами предложен подход по анализу отдельных пользователей по выделенным критериям. Несмотря на новизну взглядов подхода, в нём представлен скудный спектр характеристик пользователей, и не приведена их формализация, что исключает осуществление каких-либо вычислений.

В научной статье [5] предложен подход «генерации социальных графов» посредством анализа сфер влияния отдельных пользователей, способный: моделировать социальные структуры; идентифицировать группы пользователей; моделировать распространение социальных влияний; проводить поиск социальных объектов. Данный подход основан на самоорганизующихся сетях Кохонена, которые анализируют текстовую и визуальную информацию пользователей, формируя спектр их интересов для получения психологического шаблона человека. Далее проводится кластеризация выявленных шаблонов для формирования основных классов пользователей социальных сетей. Для анализа и выделения категорий используются следующие данные: пол, дата рождения, личная информация, номер телефона (статус его подверженности), адрес электронной почты (семантический анализ адреса), дата создания страницы, количество друзей, семантический анализ публикаций, группы, в которых состоит пользователь или его друзья, политические взгляды и т.д. Основываясь на выделенных критериях и классах пользователей, данный подход применяется для оценки кредитоспособности заемщиков, использование его для решения задач МЧС России невозможно, по причинам того, что во многих случаях персональная информация, размещенная пользователями на их страницах, не является достоверной. Идентифицировать данную информацию крайне сложно и ресурсозатратно.

В научной статье [6] представлен подход решения задачи обнаружения преступников в социальных сетях. Идея подхода состоит в идентификации подозреваемого пользователя

в различных социальных сетях посредствам метода «разрешение сущностей», который заключается в идентификации данных из баз, принадлежащих определенной личности. Для проведения вычислений метод использует следующие данные:

− информация из личного профиля странички, такая как: семейное положение, образование, должность, увлечения, религия, Ф.И.О. и т.д.;

− ссылки на участие в различных сообществах;

− ссылки и информация о личных страничках в других соцсетях, а также на круге общения.

При применении подхода возникают следующие трудности, осложняющие поиск, сбор и обобщение информации:

− распределенность данных по всей сети интернет;

− дефицит информации, связанный с анонимностью пользователей.

Выявленные проблемы могут быть нивелированы с помощью поиска социального сходства (связи в пределах анализируемого сервиса). Рассмотренный подход сложно применим для решения задач настоящего исследования по следующим причинам:

– потребность в упразднении модели сравнения текстовых атрибутов учетных записей;

– сложность обработки данных учетных записей;

– вычисление схожести социальных связей выполняется в пропорциях один к одному, то есть определенному пользователю выбранного для анализа сервиса ставится в соответствие единственный пользователь из другого сервиса, что делает результаты вычислений относительными.

В научной статье [7] представлен подход по обработке мультимодальных данных из множества социальных сетей, позволяющий осуществлять психологическое профилирование пользователей. В подходе используются следующие данные: темпоральность, данные о перемещении пользователей, текстовые данные, медиаданные. Рассматриваемый подход основной упор при обработке данных делает на геолокацию и смысловую нагрузку текста. Данный подход сложно применим для решения задач настоящего исследования по следующим причинам:

– идентификация аккаунтов пользователей (сложность сопоставления всего массива аккаунтов определенной личности по всей сети интернет);

– полнота информации (отсутствие профилей анализируемых пользователей одновременно во всех соцсетях);

– использование темпоральности данных (является относительно новой областью, слабо проработанной в научной среде).

Аналогами представленного выше подхода также являются методы: предсказания демографических характеристик [8]; предсказания семейного положения [9]; предсказания веса пользователя основываясь на его активности в соцсетях [10]; прогнозирование карьерного роста с помощью анализа данных из соцсетей [11]; профилирование пользователей и прогнозирование их психотипа, основываясь на обработке данных (эмоциональная и смысловая нагрузка сообщений) рекуррентными нейронными сетями [12]; предсказания уровня эмоциональности [13]. Основным недостатком рассмотренных подходов является их описательный характер без какой-либо формализации.

В научной статье [14] рассмотрено четыре области анализа: структурное, ресурсное, нормативное и динамическое. Данная информация была получена из спектра научных статей, посвященных анализу социальных сетей [14–19].

Структурное направление [14] представляется в виде абстрактного графа, где пользователи – это его вершины, а связи между ними – ребра. При обработке данных используются методы статистического анализа, классификация, кластеризация, подвергая анализу такие показатели, как транзитивность действий; геометрическая форма соцсети; расположение вершин в зависимости друг от друга; центральность и т.д. Данный подход

сложно применим для решения задач МЧС России по причинам ограниченности его возможностей и узконаправленности.

Ресурсное направление [15] анализирует содержание социальных сетей, а также рассматривает возможности пользователей по привлечению индивидуальных (авторитетность, социальный слой, национальность, гендерная принадлежность) и сетевых (влияние, статус, объем и характер информации) ресурсов для достижения определенных целей, дифференцируя участников, находящихся в идентичных структурных позициях социальной сети по их ресурсам. Основополагающим параметром направления является «сила структурной позиции» пользователей, которая определяет различия в ресурсах участников сети. Для проведения вычислений используется следующие подходы: методы случайных блужданий; алгоритм ссылочного ранжирования PageRank; сенсорный и потоковый анализ; методы интеграции данных; анализ мультимедиа; анализ текстовой информации. Данный подход сложно применим для решения задач МЧС России по причинам ограниченности его возможностей и узконаправленности.

Нормативное направление [16] концентрирует внимание на анализе уровня доверия между пользователями, этому способствует изучение норм и правила, влияющих на поведение участников в социальной сети и процессы их взаимодействий, например, социальные роли, такие как: отношения начальника и сотрудника; дружба между людьми: семейные узы и т.д. Одним из популярных методов, применяемых для анализа, является оптимизационный подход ACO (от англ. Ant Colony Optimization). Данный подход сложно применим для решения задач МЧС России по причинам ограниченности его возможностей и узконаправленности.

Динамическое направление [17] изучает появление новых профилей, удаление профилей, появление и удаление связей между профилями и сообществами, относительно определенного временного интервала. Данное направление стремится определить вероятность формирования связей в соцсетях, анализируя их структуру и данные о вершинах графа сети. Основной задачей направления является определение, будут ли две конкретные вершины соединены друг с другом через некоторый промежуток времени, которая решается при помощи применения моделирования, основанного на таких характеристиках сети, как количество общих соседей рассматриваемой верщины, геодезическое расстояние; влиятельность вершины; момент первого попадания в социальную сеть и т.д. Данный подход сложно применим для решения задач МЧС России по причинам ограниченности его возможностей и узконаправленности.

В работе [18] предложена возможность обработки данных социальных сетей с помощью трех видов графовых моделей: стохастические блоковые модели, вероятностные графовые модели, обычные графовые модели. Первый вид моделей задается с помощью матрицы A размера N×N, где N – число групп участников. Элемент $a_{ij} \in [0,1]$ демонстрирует плотность связей между участниками сети, принадлежащими к группам v_i, и v_j. Рассматриваемый вид графов не содержит дополнительных ребер и вершин, соответствующих связям участников внутри одной группы. Второй вид графовых моделей задается матрицей A размера N×N, где N – число участников сети. Элемент $a_{ij} \in [0,1]$ демонстрирует вероятность взаимодействия участников v_i и v_j в течении заданного интервала времени. Что касается последнего вида, то он задается матрицей связности A размера N×N. Данные графовые модели анализируются с помощью следующих метрик: коэффициент плотности (отношение числа ребер в анализируемом графе к числу ребер в полном графе); число путей (последовательностей вершин, связанных между собой) заданной длины, минимальное число ребер (удаление которых разбивает граф на несколько частей); центральность по степени; центральность по близости (показатель скорости распространяется информация в сети); центральность по посредничеству (характеризует авторитетность пользователя при распространении информации); центральность по собственному вектору и т.д. Данный подход сложно применим для решения задач МЧС России по причинам ограниченности его возможностей и узконаправленности.

В статье [20] авторами описан метод анализа социальных сетей под название «ролевые алгебры». С помощью данного подхода становится возможным выявить логики взаимодействий пользователей в блоковых моделях и анализировать принципы взаимоотношений участников в различных социальных сетях. Как один из способов формализации подхода, применяются матрицы симпатий и антипатий, которые перемножаются для получения результата. Данный подход сложно применим для решения задач МЧС России по причинам ограниченности его возможностей и узконаправленности.

В статье [21] авторами предложен метод анализа социальных сетей «Анализ диад и триад». В методе под диадой понимаются два пользователя связанные между собой следующими возможными комбинациями: отсутствие связей, направленная связь от первого пользователя ко второму, направленная связь от второго к первому, обоюдная двухсторонняя связь. Диады при анализе позволяют определить вероятность наличия связей у соседних пар, определение условий передачи информации между пользователями, зависимость связей от свойств пользователей, определение условий направлений передачи информации и т.д. При рассмотрении трех пользователей (триад) выполняются те же действия за исключением проверки транзитивности, которая становится доступной в этом случае. Данный подход сложно применим для решения задач МЧС России по причинам невозможности его применения к разрежённым сетям.

В статье [22] авторами описан метод анализа соцсетей с помощью онтологий, который позволяет оценить такие показатели, как: средняя длина пути информации в сети; диаметр сети; динамика изменения количества пользователей. Вычисления происходят в две стадии. Вначале анализу подвергаются составляющие социальной сети, далее применяется онтология FOAF (от англ. friend of a friend) идентифицирующая участников социальной сети и информацию, которую они воспроизводят и распространяют. Онтология позволяет описать пользователей, степень их активности, связи с другими пользователями. Также возможен дополнительный анализ тегов, что дает возможность проводить семантический анализ сети, вычисляя такие параметры, как: связи (семья, отношения, дружба) и тип взаимодействий (комментирует, создает и т.д.). Данный подход сложно применим для решения задач МЧС России по причинам невозможности его применения к разрежённым сетям.

В научной работе [23] авторами разработана стохастическая модель динамики изменения настроений пользователей в социальных сетях, основанная на теории перколяции. Данная модель позволила авторам разработать подход по анализу состояния общества и прогнозировать вероятность возникновения и время реализации негативных действий. Также данный алгоритм позволяет прогнозировать поведение людей, возникновение новых запросов и потребностей, а также организовывать превентивные мероприятия по предотвращению негативных настроений. В модели общество описывается как система, состояние которой в любой момент времени может быть охарактеризовано спектром параметров, таких как: доля людей, негативно настроенных по отношению к власти от общего числа граждан страны; доля людей, имеющих экстремистские взгляды и т.д. Предложенная авторами модель более многогранна, чем большинство существующих, что позволяет описывать с большей точностью, происходящие социодинамические процессы. В частности, при наличии социологических данных о среднем числе социальных связей одного человека в обществе может быть найдено значение порога перколяции перехода общества в негативное состояние, а затем спрогнозировано время реализации негативной ситуации. К преимуществам данной модели можно отнести возможность сравнивать между собой по количественным характеристикам однотипные сети. Основными недостатками модели является невозможность создания новых, более информативных моделей на основе разработанной авторами. Также время анализа больших структур может быть неприемлемо большим.

В научной статье [24] разработана модель смешанного членства в стохастически формирующихся группах. Данная модель основана на анализе попарных измерений и прогнозировании их изменений, что позволяет вычислить динамику изменения

численности членов в формирующихся группах и провести их кластеризацию по заданным требованиям. Основным недостатком предложенной модели является значительные временные затраты на анализ больших структур.

В научной статье [25] разработана модель выбора и влияния в социальных сетях. Модель имеет динамический тип вида совокупности узлов и топологий сети, изменяющихся с течением времени. К недостаткам данного подхода можно отнести высокую сложность и временные затраты на расчет изменения численности пользователей в различных сообществах, при анализе связей между всеми парами узлов. Также в модели не учтен тот факт, что реальные социальные сети чаще всего являются разреженными (не все пользователи имеют парные связи, число которых является случайной величиной).

В работе [26] разработана методика анализа многомодальных социальных сетей. Основной идеей методики является многократность отношений в интерактивных соцсетях (пользователи, добавляя друг друга в друзья образуют неявные подсети). Применение данного подхода показало, что существует временная онлайн регулярность в социальных взаимодействиях людей. Кроме того, были обнаружены корреляции между вероятностью возникновения дружбы между участниками и параметрами настройки социальной сети. Подход не применим к целям настоящей работы по причине отсутствия формализации приведенных в статье механизмов.

В работе [27] предложен метод блочной оптимизации, позволяющий выделять группы сообществ, коммуникационные связи в сетях, а также их иерархическую структуру, что позволяет сегментировать сообщества на слои, удобные для анализа. Метод использовался авторами в сети мобильной телефонной связи для отождествления языковых сообществ с помощью анализа веб-графа. Для реализации метода авторы синтезировали: алгоритм обнаружения межобщинных ссылок; рекурсивный алгоритм слияния аналогичных узлов сообществ; методы оптимизации, основанные на максимизации целевой функции. Качество полученных результатов в процессе работы алгоритмов измерялось с помощью блочности разделения. Основным недостатком данного метода является ограничение объема памяти.

Исходя из специфики стоящих перед МЧС России целей и задач, метод или подход получения и обработки данных из социальных сетей должен обладать следующими возможностями:

– анализировать персональные данные пользователей (необходимо для подтверждения достоверности публикуемой информации);

– анализировать геолокацию пользователей (необходимо для сверки информации, публикуемой пользователем, и местом его расположения относительно происшествия);

– анализ темпоральности (позволяет проводить мониторинг состояния общества и прогнозировать динамику развития происшествий);

– анализ сообществ (позволяет выстраивать рейтинг доверия к сообществу по спектру критериев);

– анализ связки пользователь-пользователь (позволяет проверить достоверность информации);

– анализ связки пользователь-сообщество (позволяет проверить достоверность информации);

– анализ связки сообщество-сообщество (позволяет проверить достоверность информации);

– семантика публикаций (позволяет прогнозировать общественные волнения, всплески социальной нестабильности и вероятность возникновения происшествий различного характера);

– тональность текста (позволяет прогнозировать время реализации негативных ситуаций);

– поиск по нескольким соцсетям (прогнозировать поведение людей в обществе, подтверждение достоверности информации);

– анализ тегов (позволяет описывать социодинамические процессы);

– анализ изображений (позволяет выявлять и подтверждать происшествия).

Результаты исследования и их обсуждение

В табл. 1 представлен сравнительный анализ функциональных возможностей способов и подходов получения и обработки данных из социальных сетей на возможность их применения для решения задач МЧС России.

Таблица 1

Сравнительный анализ функциональных возможностей подходов

Подходы	Возможности подходов по анализу критериев												
	Анализ персональных данных пользователей	Анализ геолокации	Анализ темпоральности	Анализ сообществ	Анализ связки пользователь – пользователь	Анализ связки пользователь – сообщество	Анализ связки сообщество – сообщество	Семантика публикаций	Тональности текста	Поиск по нескольким соцсетям	Анализ тегов	Анализ изображений	Баллы возможностей методов
Анализ отдельных пользователей [4]	+	–	–	–	+	–	–	–	–	–	–	–	3
Генерация соц. графов [5]	+	–	–	+	+	+	–	–	–	–	–	+	5
Разрешение сущностей [6]	+	–	–	–	+	+	–	–	–	+	–	–	5
Анализ мультимодальных данных [7]	+	+	–	–	–	–	–	+	–	–	–	+	4
Структурный анализ [14]	–	–	–	–	+	–	–	–	–	+	–	–	3
Ресурсный анализ [15]	+	–	–	+	+	+	+	+	–	+	+	–	9
Нормативный анализ [16]	–	–	–	+	+	+	+	–	–	–	–	–	5
Динамический анализ [17]	–	–	–	+	+	+	+	–	–	–	–	–	5
Комплекс графовых моделей [18]	+	–	–	+	+	+	+	–	–	+	–	–	6
Ролевые алгебры [20]	–	–	–	+	+	+	+	+	–	–	–	–	6
Анализ диад и триад [21]	–	–	–	–	+	–	–	–	–	–	–	–	2
Методы на основе онтологий [22]	–	–	–	–	+	–	–	–	–	–	+	–	3
Метод перколяции [23]	–	–	+	+	+	+	+	+	+	+	+	–	9
Модель смешанного членства [24]	–	–	–	+	+	+	+	–	–	–	–	–	5
Модель выбора в соцсетях [25]	–	–	–	+	+	+	+	–	–	–	–	–	5
Анализ многомодальных сетей [26]	–	–	–	–	+	–	–	–	–	–	–	–	2
Метод блочной оптимизации [27]	–	–	–	+	–	–	+	–	–	–	–	–	2
Баллы критериев	6	1	1	10	15	10	9	4	1	5	3	2	

Проведенный анализ показал, что больше всего для решения задач МЧС России подходят методы: ресурсного анализа данных (9 из 12) и перколяции (9 из 12). Меньше всего требуемых возможностей содержится в методах блочной оптимизации; анализа многомодальных сетей; анализа диад и триад с балльным соотношением 3 из 12.

Также проведенный анализ показал, что среди требуемого функционала реже всего в рассмотренных подходах встречаются: возможность анализа геолокации, темпоральности (1 из 17); анализ изображений (2 из 17) и анализ тегов (3 из 17). В свою очередь, чаще всего в функционал включена опция анализа связей между пользователями (15 из 17).

Каждый из рассмотренных методов и подходов обладает как преимуществами, так и недостатками, в табл. 2 представлены результаты сравнительного анализа их недостатков, с целью определения наиболее эффективного метода.

Таблица 2

Сравнительный анализ недостатков способов и подходов получения и обработки информации из социальных сетей

Подходы	Недостатки проанализированных подходов										
	Сложность реализации	Высокие временные затраты	Сложность расчетов	Не учтена разрежённость сетей	Зависимость от достоверности персональных данных	Отсутствие формализации	Высокое потребление вычислительных ресурсов	Отсутствие возможности сравнивать сети	Невозможность модернизации	Необходимость учета ограничении соцсети	Баллы
Анализ отдельных пользователей [4]	–	–	+	+	+	+	–	+	–	–	5
Генерация соц. графов [5]	+	+	+	+	+	–	+	–	–	+	7
Разрешение сущностей [6]	+	+	–	+	+	+	–	+	–	+	7
Анализ мультимодальных данных [7]	+	+	+	–	+	+	–	+	–	+	7
Структурный анализ [14]	–	+	–	+	+	–	+	+	–	+	6
Ресурсный анализ [15]	+	+	+	+	+	–	+	+	–	+	8
Нормативный анализ [16]	–	–	–	+	+	+	–	+	–	+	5
Динамический анализ [17]	+	+	+	+	+	–	+	–	–	+	7
Комплекс графовых моделей [18]	–	–	–	+	+	–	–	–	–	+	3
Ролевые алгебры [20]	–	–	–	+	+	–	–	–	–	–	2
Анализ диад и триад [21]	–	–	–	+	–	+	–	+	–	+	4
Методы на основе онтологий [22]	–	–	–	+	+	+	+	–	–	–	4
Метод перколяции [23]	+	+	+	–	+	–	+	–	+	–	6
Модель смешанного членства [24]	+	+	+	–	+	–	+	–	+	–	6
Модель выбора в соцсетях [25]	+	+	+	+	+	+	+	+	–	+	9
Анализ многомодальных сетей [26]	–	–	–	+	+	+	–	+	–	+	5
Метод блочной оптимизации [27]	+	+	+	+	+	–	+	–	–	–	6
Баллы критериев	9	10	9	14	16	8	9	9	2	11	

Из табл. 2 видно, что наибольшим числом недостатков обладают подходы: модель выбора в соцсетях (9 из 10) и ресурсный анализ (8 из 10). Наиболее эффективными по выделенному спектру параметров является метод ролевой алгебры (2 из 10).

Также можно отметить, что наиболее частым недостатком подходов является их зависимость от достоверности персональных данных (16 из 17).

Подводя итог проведенному сравнительному анализу существующих подходов по обработке информации из социальных сетей можно сделать следующие выводы:

– в настоящее время отсутствует единый метод, учитывающий все необходимые требования;

– больше всего для решения задач МЧС России подходят: метод ресурсного анализа данных и метод перколяции, которые покрывают 9 из 12 требуемых критериев. В тоже время метод ресурсного анализа данных имеет высокое количество недостатков (8 из 10), а метод перколяции – среднее (6 из 10), что делает их неприменимыми в работе сотрудников противопожарного ведомства;

– необходима разработка нового подхода, позволяющего учитывать все требования с минимальным количеством недостатков.

Заключение

Проведенный сравнительный анализ существующих методов и подходов по обработке информации из социальных сетей показал их низкую эффективность (высокое количество недостатков), а также слабую функциональную оснащенность (в аспектах решения задач МЧС России), что требует разработки нового подхода, учитывающего выявленные замечания и требования.

Список источников

1. Буйневич М.В., Максимов А.В., Вострых А.В. Анализ результатов аудита сетевых информационных ресурсов МЧС России // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2020. № 1. С. 101–110.

2. Вострых А.В. Анализ эффективности информационных систем, используемых сотрудниками МЧС России // Актуальные проблемы обеспечения безопасности в Российской Федерации: сб. материалов конф., посвящ. 90-летию Гражданской обороны России. 2022. Ч. 1. С. 62–66.

3. Вострых А.В. Повышение эффективности специализированных информационных систем предупреждения ЧС // Технические средства предупреждения ЧС и противодействия терроризму. 2021. С. 33–36.

4. Ding J., Liu L., Wang Y. Stochastic Game Model for Information Dissemination of Emergency Events in Social Network // Intelligence and Security Informatics (ISI), IEEE International Conference. 2013. P. 166–168.

5. Бучнева А.В. Анализ профилей пользователей социальных сетей // Хроноэкономика. 2018. № 3 (11). С. 66–70.

6. Лапенок М.В. Идентификация пользователя в различных социальных сетях по средствам анализа социальных связей пользователя и атрибутов профиля // Образовательные технологии и общество. 2016. Т. 19. № 3. С. 584–594.

7. Синев М.П. Алгоритмический подход к анализу профиля пользователя социальной сети на основе мультимодальных темпоральных данных // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2020. Т. 9. № 1 (49). С. 14–20.

8. Farseev A. Harvesting multiple sources for user profile learning: a big data study // Proceedings of the 5th ACM on International Conference on Multimedia Retrieval. ACM. 2015. P. 235–242.

9. Buraya K. Towars user personality profiling from multiple social networks // Proceedings of the Thirty-First AAAI Conference on Artificial Intelligence. 2017. P. 256–260.

10. Farseev A. Tweetfit: Fusing multiple social media and sensor data for wellness profile learning // Proceedings of the Thirty-First AAAI Conference on Artificial Intelligence. 2017. P. 276–281.

11. Liu, Y. Fortune Teller: Predicting Your Career Path // AAAI. 2016. P. 201–207.

12. Liu F.A. Language-independent and Compositional Model for Personality Trait Recognition from Short Texts // arXiv preprint arXiv: 1610.04345. 2016. P. 221–224.

13. Huang M. Modeling rich contexts for sentiment classification with lstm // arXiv preprint arXiv: 1605.01478. 2016. P. 257–261.

14. Батура Т.В. Модели и методы анализа компьютерных социальных сетей // Программные продукты и системы. 2013. № 3. С. 24–39.

15. Чураков А.Н. Анализ социальных сетей // Социологические исследования. 2001. № 1. С. 109–121.

16. Fortunato S. Community detection in graphs. Physics Reports. 2010. Vol. 486. P. 75–174.

17. Bonchi F., Castillo C., Gionis A., Jaimes A. Social Network Analysis and Mining for Business Applications // ACM TIST. 2011. Vol. 2. Iss. 3. P. 22–58.

18. Leskovec J., Kleinberg J., Faloutsos C. Graphs over time: Densification laws, shrinking diameters and possible explanations // Proc. 11th ACM SIGKDD Intern. Conf. on Knowledge Discovery in Data Mining, NY. 2005. P. 177–187.

19. Tantipathananandh C., Berger-Wolf T., Kempe D. A framework for community identification in dynamic social networks // Proc. 13th ACM SIGKDD Intern. Conf. on Knowledge Discovery and Data Mining, NY. 2007. P. 717–726.

20. Kumar R., Novak J., Raghavan P., Tomkins A., Structure and evolution of blogspace // Communication of the ACM. 2004. Vol. 47. № 12. P. 35–39.

21. Gandon F., Buffa M., Corby O. Semantic Social Network Analysis // Proc. 8th Intern. Semantic Web Conf. 2009. P. 180–195.

22. Прохоров А., Ларичев Н. Компьютерная визуализация социальных сетей // КомпьютерПресс. 2006. № 9. С. 156–160.

23. Хватова Т.Ю. Информационные процессы в социальных сетях: перколяция и стохастическая динамика // Конвергентные когнитивноинформационные технологии: Труды II Междунар. науч. конф. М., 2017. С. 277–288.

24. Mixed membership stochastic blockmodels / E.M. Airoldi [et al.] // Learn. Res. 9. 2008. P. 1981–2014.

25. Cho Y.S., Steeg G.V., Galstyan A. Co-evolution of selection and influence in social networks // Proceedings of the Twenty-Fifth AAAI Conference on Artificial Intelligence, USA. AAAI Press. 2011. P. 713–728.

26. Du H.Wang, Faloutsos C. Analysis of large multi-modal social networks: patterns and a generator // In Proceedings of the 2010 European Conference on Machine learning and knowledge discovery in databases: Part I, ECML PKDD’10, Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2010. P. 393–408.

27. Vincent D.B., Jean-Loup G., Renaud L. Fast unfolding of communities in large networks // arXiv: 0803.0476v2. 2008. P. 594–609.

References

1. Bujnevich M.V., Maksimov A.V., Vostryh A.V. Analiz rezul'tatov audita setevyh informacionnyh resursov MCHS Rossii // Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MCHS Rossii». 2020. № 1. S. 101–110.

2. Vostryh A.V. Analiz effektivnosti informacionnyh sistem, ispol'zuemyh sotrudnikami MCHS Rossii // Aktual'nye problemy obespecheniya bezopasnosti v Rossijskoj Federacii: sb. materialov konf., posvyashch. 90-letiyu Grazhdanskoj oborony Rossii. 2022. Ch. 1. S. 62–66.

3. Vostryh A.V. Povyshenie effektivnosti specializirovannyh informacionnyh sistem preduprezhdeniya CHS // Tekhnicheskie sredstva preduprezhdeniya CHS i protivodejstviya terrorizmu. 2021. S. 33–36.

4. Ding J., Liu L., Wang Y. Stochastic Game Model for Information Dissemination of Emergency Events in Social Network // Intelligence and Security Informatics (ISI), IEEE International Conference. 2013. P. 166–168.

5. Buchneva A.V. Analiz profilej pol'zovatelej social'nyh setej // Hronoekonomika. 2018. № 3 (11). S. 66–70.

6. Lapenok M.V. Identifikaciya pol'zovatelya v razlichnyh social'nyh setyah po sredstvam analiza social'nyh svyazej pol'zovatelya i atributov profilya // Obrazovatel'nye tekhnologii i obshchestvo. 2016. T. 19. № 3. S. 584–594.

7. Sinev M.P. Algoritmicheskij podhod k analizu profilya pol'zovatelya social'noj seti na osnove mul'timodal'nyh temporal'nyh dannyh // XXI vek: itogi proshlogo i problemy nastoyashchego plyus. 2020. T. 9. № 1 (49). S. 14–20.

8. Farseev A. Harvesting multiple sources for user profile learning: a big data study // Proceedings of the 5th ACM on International Conference on Multimedia Retrieval. ACM. 2015. P. 235–242.

9. Buraya K. Towars user personality profiling from multiple social networks // Proceedings of the Thirty-First AAAI Conference on Artificial Intelligence. 2017. P. 256–260.

10. Farseev A. Tweetfit: Fusing multiple social media and sensor data for wellness profile learning // Proceedings of the Thirty-First AAAI Conference on Artificial Intelligence. 2017. P. 276–281.

11. Liu, Y. Fortune Teller: Predicting Your Career Path // AAAI. 2016. P. 201–207.

12. Liu F.A. Language-independent and Compositional Model for Personality Trait Recognition from Short Texts // arXiv preprint arXiv: 1610.04345. 2016. P. 221–224.

13. Huang M. Modeling rich contexts for sentiment classification with lstm // arXiv preprint arXiv: 1605.01478. 2016. P. 257–261.

14. Batura T.V. Modeli i metody analiza komp'yuternyh social'nyh setej // Programmnye produkty i sistemy. 2013. № 3. S. 24–39.

15. Churakov A.N. Analiz social'nyh setej // Sociologicheskie issledovaniya. 2001. № 1. S. 109–121.

16. Fortunato S. Community detection in graphs. Physics Reports. 2010. Vol. 486. P. 75–174.

17. Bonchi F., Castillo C., Gionis A., Jaimes A. Social Network Analysis and Mining for Business Applications // ACM TIST. 2011. Vol. 2. Iss. 3. P. 22–58.

18. Leskovec J., Kleinberg J., Faloutsos C. Graphs over time: Densification laws, shrinking diameters and possible explanations // Proc. 11th ACM SIGKDD Intern. Conf. on Knowledge Discovery in Data Mining, NY. 2005. P. 177–187.

19. Tantipathananandh C., Berger-Wolf T., Kempe D. A framework for community identification in dynamic social networks // Proc. 13th ACM SIGKDD Intern. Conf. on Knowledge Discovery and Data Mining, NY. 2007. P. 717–726.

20. Kumar R., Novak J., Raghavan P., Tomkins A., Structure and evolution of blogspace // Communication of the ACM. 2004. Vol. 47. № 12. P. 35–39.

21. Gandon F., Buffa M., Corby O. Semantic Social Network Analysis // Proc. 8th Intern. Semantic Web Conf. 2009. P. 180–195.

22. Prohorov A., Larichev N. Komp'yuternaya vizualizaciya social'nyh setej // Komp'yuterPress. 2006. № 9. S. 156–160.

23. Hvatova T.Yu. Informacionnye processy v social'nyh setyah: perkolyaciya i stohasticheskaya dinamika // Konvergentnye kognitivnoinformacionnye tekhnologii: Trudy II Mezhdunar. nauch. konf. M., 2017. S. 277–288.

24. Mixed membership stochastic blockmodels / E.M. Airoldi [et al.] // Learn. Res. 9. 2008. P. 1981–2014.

25. Cho Y.S., Steeg G.V., Galstyan A. Co-evolution of selection and influence in social networks // Proceedings of the Twenty-Fifth AAAI Conference on Artificial Intelligence, USA. AAAI Press. 2011. P. 713–728.

26. Du H.Wang, Faloutsos C. Analysis of large multi-modal social networks: patterns and a generator // In Proceedings of the 2010 European Conference on Machine learning and knowledge discovery in databases: Part I, ECML PKDD’10, Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2010. P. 393–408.

27. Vincent D.B., Jean-Loup G., Renaud L. Fast unfolding of communities in large networks // arXiv: 0803.0476v2. 2008. P. 594–609.

Информация о статье:
Статья поступила в редакцию: 19.02.2023; одобрена после рецензирования: 24.03.2023; принята к публикации: 28.03.2023

The information about article:
The article was submitted to the editorial office: 19.02.2023; approved after review: 24.03.2023; accepted for publication: 28.03.2023

Информация об авторах:
Вострых Алексей Владимирович, адъюнкт Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат технических наук, e-mail: a.vostrykh@list.ru, https://orcid.org/0000-0002-8261-0712
Самарин Максим Александрович, аспирант Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: samarin2024@list.ru
Максимов Александр Викторович, заместитель начальника кафедры прикладной математики и информационных технологий Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат технических наук, доцент

Information about authors:
Vostrykh Aleksey V., adjunct of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), candidate of technical sciences, e-mail: a.vostrykh@list.ru, https://orcid. org/0000-0002-8261-0712
Samarin Maksim A., post-graduate student of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), e-mail: samarin2024@list.ru
Maksimov Alexander V., deputy head of the department of applied mathematics and information technologies of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), candidate of technical sciences, associate professor

Научная статья
УДК 004; 519

ИНФОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ И КРИТЕРИИ КАЧЕСТВА РЕШЕНИЙ ПО ПОСТРОЕНИЮ ВЕДОМСТВЕННЫХ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ КЛАССА «КИБЕРПОЛИГОН»

✉Синещук Максим Юрьевич;
Шестаков Александр Викторович;
Гавкалюк Богдан Васильевич.
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия
✉smaxim@igps.ru

Аннотация. Статья посвящена исследованию проблемных вопросов формирования инфологических моделей ведомственных организационно-технических систем класса «киберполигонов», выбора и обоснования критериев качества решений по построению таких систем на основе ведомственных образовательных ресурсов и сервисов, а также облачных сервисов (услуг), предоставляемых провайдерами (операторами) сервисов (услуг). Рассматриваются новые подходы к формированию инфологической модели, которые заключаются в учете многоуровневости компонентного построения ведомственных систем класса «киберполигон» и динамики их поэтапного развития, совершенствования (модернизации). Исследуются новые аспекты при выборе и обосновании критериев качества решений по построению таких систем, которые заключаются в использовании многовекторных групп критериев качества в специфических условиях ведомственного территориально-распределенного применения «киберполигонов» как многоцелевых организационно-технических систем. Приводятся результаты сравнительной оценки уровня техники на примере прототипированных решений по построению киберполигонов, которые зарегистрированы в Российской Федерации как объекты промышленной и интеллектуальной собственности.

Ключевые слова: инфологическая модель, киберполигон, качество систем

Для цитирования: Синещук М.Ю., Шестаков А.В., Гавкалюк Б.В. Инфологическая модель и критерии качества решений по построению ведомственных организационно-технических систем класса «киберполигон» // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2023. № 1. С. 121–137.

Scientific article

INFOLOGICAL MODEL AND CRITERIA FOR THE QUALITY OF SOLUTIONS FOR THE CREATION OF DEPARTMENTAL ORGANIZATIONAL AND TECHNICAL SYSTEMS OF THE «CYBERPOLYGON» CLASS

✉Sineshchuk Maxim Yu.;
Shestakov Alexander V.;
Gavkalyuk Bogdan V.
Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia
✉smaxim@igps.ru

Abstract. The article is devoted to the study of problematic issues of the formation of infological models of departmental organizational and technical systems of the «cyberpolygon» class, the selection and justification of quality criteria for the construction of such systems based on departmental educational resources and services, as well as cloud services provided by service

© Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2023

providers (operators). New approaches to the formation of an infological model are considered, which consist in taking into account the multilevel component construction of departmental systems of the «cyberpolygon» class and the dynamics of their gradual development, improvement (modernization). New aspects are investigated in the selection and justification of quality criteria for solutions for the construction of such systems, which consist in the use of multi-vector groups of quality criteria in the specific conditions of departmental geographically distributed application of «cyber polygons» as multi-purpose organizational and technical systems. The results of a comparative assessment of the state of the art on the example of prototyped solutions for the construction of cyber polygons, which are registered in the Russian Federation as objects of industrial and intellectual property, are presented.

Keywords: infological model, cyberpolygon, system quality

For citation: Sineshchuk M.Yu., Shestakov A.V., Gavkalyuk B.V. Infological model and quality criteria of solutions for the creation of departmental organizational and technical systems of the «cyberpolygon» class // Scientific and analytical journal «Vestnik Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia». 2023. № 1. P. 121–137.

Введение

Появление нового класса организационно-технических систем как «киберполигоны» является объективным следствием современного мирового технологического развития, реальностью внедрения информационных и сквозных цифровых технологий во все сферы жизнедеятельности общества, цифровизации экономик стран и возникновением нового спектра угроз и деструктивных воздействий в киберпространстве (ростом компьютерной преступности).

Государственная политика в нашей стране для эффективного противостояния деструктивным вызовам в инфосфере реализуется через национальные программы и национальные (федеральные) проекты, направленные на обеспечение киберустойчивости информационной инфраструктуры, в частности национальную программу «Цифровая экономика Российской Федерации» и федеральный проект «Информационная безопасность». Паспорт федерального проекта «Информационная безопасность» содержит мероприятия до 2024 г. по созданию киберполигонов, введению их в эксплуатацию и обеспечению функционирования (пункт 1.48). Регламентированное определение «киберполигон» сформулировано через целевое предназначение инфраструктуры нового класса «как для обучения, тренировки, так и для тестирования» в разд. 2 и 3 Правил предоставления субсидий из федерального бюджета, утвержденных постановлением Правительства Российской Федерации от 12 октября 2019 г. № 1320[1].

Киберполигон, с точки зрения процесса создания систем нового класса, целесообразно рассматривать, в широком смысле, в виде сервис-ориентированного инфраструктурного проекта развивающейся многоцелевой образовательной, исследовательской и испытательной информационно-телекоммуникационной системы на основе информационных технологий и технологий обеспечения информационной безопасности.

Проект, в отличие от известных, дополнительно содержит, в зависимости от предназначения системы, компоненты-прообразы действующих информационных инфраструктур органов государственного управления, министерств и ведомств, организаций и учреждений реального сектора экономики (рис. 1).

[1] Определение термина «киберполигон»: инфраструктура для отработки практических навыков специалистов, экспертов разного профиля, руководителей в области информационной безопасности и информационных технологий, а также для тестирования программного и аппаратного обеспечения путем моделирования компьютерных атак и отработки реакций на них. Определение «киберполигон» дано в редакции п. 2 постановления Правительства Российской Федерации от 27 февраля 2021 г. № 288.

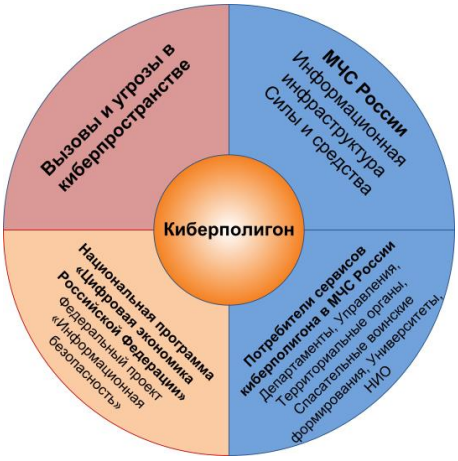


Рис. 1. **Условия формирования киберполигона для МЧС России (НИО – научно-исследовательская организация)**

В виду значительных особенностей реализации реальных информационных инфраструктур формирование полного перечня компонент-прообразов проблематично, а создание, внедрение и функционирование унифицированных киберполигонов в динамических условиях действующих инфраструктур, в том числе ведомственных, экономически не целесообразно, что обусловливает актуальность прикладных научных исследований по построению киберполигонов ведомственной принадлежности.

Современный образовательный, научный, методический и материально-технический уровень ресурсного развития ведомственных образовательных организаций, например, в МЧС России, как показывает анализ их результатов, представленный в ряде публикаций [1–3], позволяет рассматривать их в статусе головного подведомственного исполнителя работ по созданию, вводу в эксплуатацию и обеспечению функционирования ведомственных киберполигонов с территориально-распределенной инфраструктурой (рис. 2).

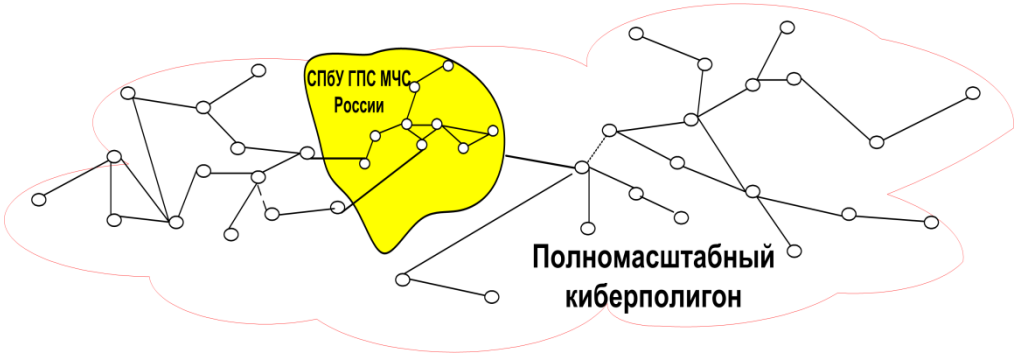


Рис. 2. **Территориально-распределенное развитие киберполигона**

Важно определить, как головной исполнитель должен учитывать требования государственных программных мероприятий и результаты работ системы программно-целевого развития страны на ближайший период и дальнейшую перспективу в прикладной тематике киберполигонов и информационной безопасности.

Научное сопровождение создания ведомственного киберполигона должно базироваться на научно-обоснованных инфологических моделях, которые по отношению к известным, например, в работах [4, 5], посвященным конкретной прикладной области, должны соответствовать и быть адекватными ведомственным задачам, функциям, видам деятельности, организационному и ресурсному обеспечению.

Критерии качества решений по построению современных киберполигонов, например, используемых в работах [6, 7] для отраслевых или образовательных целей, то есть многоцелевого применения новых организационно-технических систем в специфических условиях их интеграции и конвергенции с действующей ведомственной информационной инфраструктурой, не в полной мере учитывают многовекторность групп критериев качества [8].

Предмет настоящего исследования – модельный и критериальный аппарат обоснования организационных и системотехнических решений по построению киберполигонов на основе образовательных ресурсов развивающихся ведомственных организационно-технических систем в динамических оперативных условиях и воздействующих экономических факторов.

Исследовательская работа по отношению к имеющимся предыдущим результатам исследований ведомственной проблематики в работах [9–11] сфокусирована на определении текущего состояния методологических подходов к созданию ведомственных киберполигонов с учетом их особенностей, по материалам, опубликованным в открытых зарубежных и отечественных источниках.

Перед исследователями были поставлены следующие вопросы:

1. В чем заключаются ведомственные особенности организационно-технических систем класса «киберполигонов»?

2. Какие инфологические модели киберполигонов предпочтительны для формального представления ведомственной проблематики?

3. Какие подходы используются для комплексирования многовекторных групп критериев качества решений по созданию ведомственных киберполигонов для последующего многоцелевого применения киберполигонов в специфических условиях их интеграции и конвергенции с действующей ведомственной информационной инфраструктурой?

Особенности ведомственных организационно-технических систем класса «киберполигон»

Ведомственные киберполигоны должны обеспечивать основные сферы деятельности ведомств (министерств, агентств), закрепленные в нормативно-правовых документах. Например, МЧС России, согласно Указу Президента Российской Федерации от 11 июля 2004 г. № 868, к сфере деятельности отнесены гражданская оборона, защита населения и территорий от чрезвычайных ситуаций, обеспечение пожарной безопасности. В национальной программе «Цифровая экономика Российской Федерации» министерство участвует соисполнителем мероприятий:

– по подключению подведомственных объектов к высокоскоростным сетям связи;

– импортозамещения, перехода на отечественные программные средства, а в аспекте информационной безопасности – подготовки кадров и внедрения соответствующей системы в Единую информационную систему цифрового государственного управления (ЕИС ЦГУ) [2].

Ведомственный аспект киберполигонов должен учитываться:

а) в особенностях использования (в том числе боевого применения) развивающейся ресурсоемкой инфраструктуры:

– в интересах ведомственного построения систем поддержки принятия решений по нейтрализации компьютерных атак и превентивных мер по их предупреждению на объектах информатизации МЧС России;

– в образовательном процессе подведомственных вузов с учетом специфики состава обучаемых, направлений подготовки и оснащенности учебной технической базой, с учетом доверенных программного обеспечения [12];

[2] Перечисление 5 пункта 1 Отчета о реализации Публичной декларации целей и задач МЧС России на 2021 г., одобренного на заседании Общественного совета при МЧС России (протокол от 23 июля 2021 г. № 5). URL: https://mchs.gov.ru/dokumenty/6394.

б) в универсальности функционально-технических характеристик треков киберполигона в едином контуре системы управления и информационной безопасности киберполигона:

– организации и обеспечения оперативной подготовки сил МЧС России, в том числе специалистов, отвечающих за обеспечение информационной безопасности ИТ-ресурсов (в форме кибертренажей, кибертренировок, киберучений и т.д.);

– обучения и переподготовки студентов, преподавателей и специалистов в области информационной безопасности и защиты информации, в том числе центров кибербезопасности МЧС России (очной и заочной форм обучения, платных образовательных услуг в рамках дополнительного профессионального образования);

– апробации и тестирования новых средств защиты информации, компьютерно-моделирующих средств обнаружения, анализа и устранения последствий компьютерных атак для обучения, подготовки и применения во внешнем, внутреннем периметре и веб-ресурсах организаций (учреждений) МЧС России, предоставленных компаниями разработчиков (вендорами).

Одним из важнейших направлений прикладных научных исследований в области информационной безопасности МЧС России является исследование системотехнических решений по построению и развитию ведомственного киберполигона, основные подсистемы которого представлены в общем виде на рис. 3.

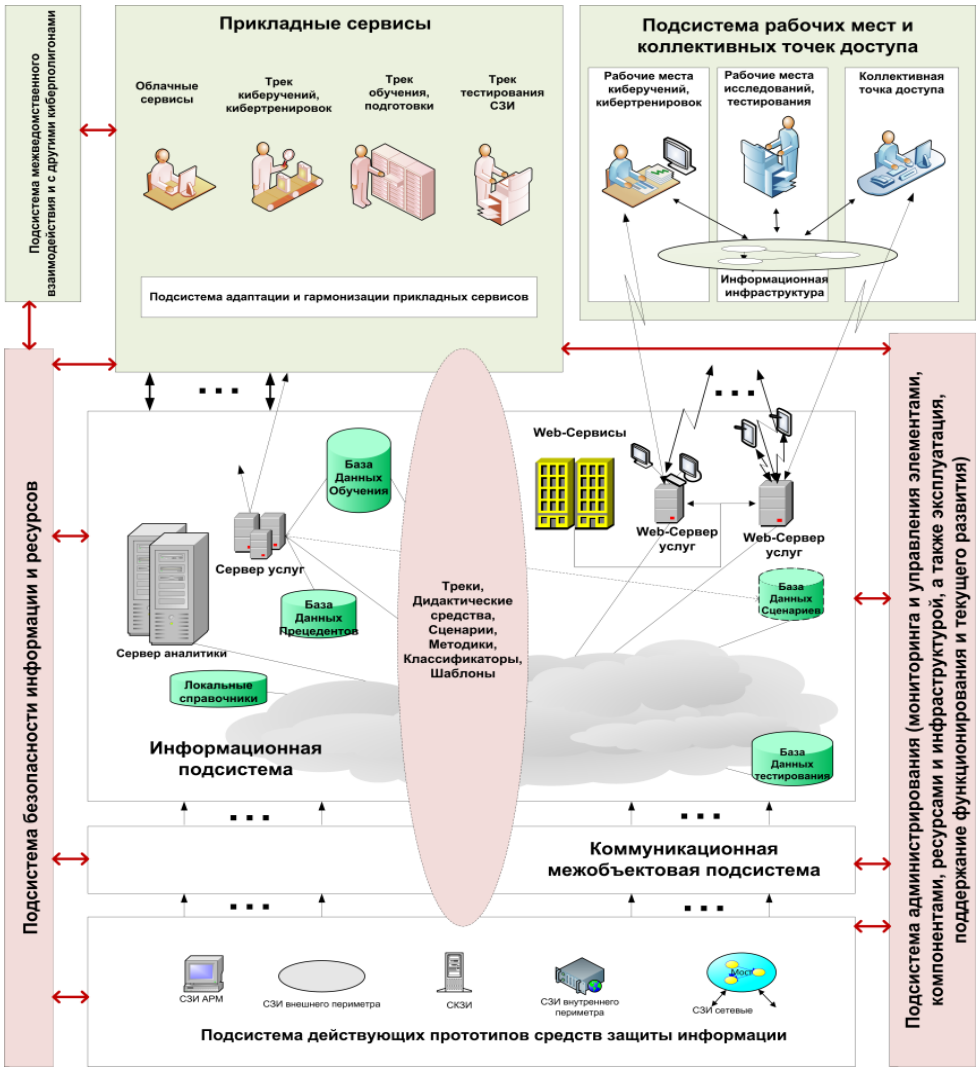


Рис. 3. **Основные подсистемы киберполигона**

Декомпозиция организационно-технической системы в виде подсистем киберполигона в целом отражает особенности подходов, принятых при декомпозиции автоматизированных систем специального назначения [8], инженерной инфраструктуры центров обработки данных[3], программных изделий класса «киберполигон»[4].

Киберполигон для МЧС России должен быть организационно-технической основой:

– привлечения к повседневной деятельности органов управления МЧС России курсантов и слушателей подведомственных вузов, которые в ближайшем будущем будут замещать должности в центрах управления в кризисных ситуациях различных уровней путем проведения тренировок (учений) и практических занятий для повышения профессионального уровня специалистов оперативных дежурных смен;

– единства методологических и технологических решений при организации образовательного процесса для получения практико-ориентированных компетенций специалистов в области информационной безопасности и информационных технологий;

– информационно-аналитического, справочно-методического обеспечения центров управления в кризисных ситуациях различных уровней и образовательного процесса вузов по перспективным технологиям защиты информации и противодействия киберугрозам;

– исследовательских специальных тренировок на базе Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России с целью выявления проблемных вопросов и недостатков, а также выработки предложений по совершенствованию организации несения оперативного дежурства и оснащения автоматизированных рабочих мест администраторов информационной безопасности и центров управления в кризисных ситуациях различных уровней;

– прикладных научных исследований по проблеме обеспечения доверенными пространственными данными МЧС России. В первую очередь это относится к межведомственному и межуровневому взаимодействию с Росгидрометом и ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД».

Киберполигон является прообразом только той инфраструктуры МЧС России, которая обеспечивает функционирование бизнес-процессов ведомства, его территориальных органов управления, подразделений и частей, имеющих инфотелекоммуникационную составляющую.

Трек киберучений ведомственного киберполигона целесообразно реализовать на площадях подведомственных образовательных организаций. Локальная или регионально-распределенная структура киберполигона зависит от:

– целей и задач мероприятий оперативной подготовки и тренировок должностных лиц (специалистов) ведомства, организации образовательного процесса;

– обеспечения взаимодействия с заинтересованными организациями при проведении исследований и тестировании программных и аппаратно-программных (программно-аппаратных) средств и комплексов;

– системотехнических решений по рациональному размещению средств киберполигона, подсистемы доступа и подсистемы управления, задействованных в обеспечении трека киберучений.

Категории должностных лиц и специалистов – пользователей киберполигона в общем случае должны охватывать все уровни должностных лиц: руководителей, технических руководителей, специалистов в области информационной безопасности и информационных технологий, эксплуатационный персонал объектов информационной инфраструктуры ведомства, а их перечень должен быть определен и закреплен установленным в ведомстве порядком.

Образовательный трек ведомственного киберполигона должен реализовываться силами и ресурсами подведомственной образовательной организации. Ресурсы

[3] ГОСТ Р 58812–2020. Центры обработки данных. Инженерная инфраструктура. Операционная модель эксплуатации. Спецификация.

[4] Cyber Polygon. URL: https://cyberpolygon.com/ru/ (дата обращения: 02.01.2023).

образовательной организации должны обеспечивать возможность одновременного проведения различных типов занятий (анализ защищенности веб-ресурсов, баз данных, внутреннего и внешнего периметра; проведение расследований инцидентов информационной безопасности и т.п.). Организаторы занятий (преподаватели) должны иметь возможность формирования шаблонов инфраструктур и сценариев атак, варьирование целей и задач практических занятий и т.д.

Трек исследований и тестирования ведомственного киберполигона должен иметь возможность ситуационно формировать соответствующую испытательную и нагрузочную среду и адаптировать инфраструктуру ведомственной образовательной среды к средствам защиты информации, поставляемым заинтересованными разработчиками и вендорами, например, для сбора и анализа информации о событиях безопасности типа SIEM (Security Information and Event Management, управление событиями и информацией о безопасности), сканеров уязвимостей (Vulnerability Scanner), цифровой криминалистики и реагирования на инциденты (Digital Forensics and Incident Response) и ряда других.

Инфологические модели киберполигонов для формального представления ведомственной проблематики

Инфологические модели ведомственного киберполигона целесообразно рассматривать с учетом особенностей формального описания бизнес-процессов, реализуемых исходя из применения (боевого применения) киберполигонов, в частности для МЧС России:

– информационно-моделирующих процессов киберполигона для систем поддержки принятия решений в сфере информационной безопасности, к прототипам которых можно отнести модели центров обработки данных со специализированными сервисами (рис. 4);

– бизнес-процессов поставщика сервисов трека киберучений, образовательного трека, трека исследований и тестирования;

– динамических структурно-параметрических процессов эволюционной архитектуры киберполигона, к прототипам которой целесообразно отнести модели поэтапного развития сложных территориально-распределенных систем.

Инфологические модели ведомственного киберполигона в совокупности представляют собой тематические модельные слои, которые имеют апробированные и регламентированные решения с достаточным уровнем декомпозиции сущностей для прикладных задач.

Тематической модельный слой киберполигона на основе операционной модели эксплуатации центров обработки данных. Слой является моделью бизнес-процессов поставщика ИТ-услуг и оператора вычислительных ресурсов и информационных сервисов. Модель содержит три процессных уровня: управления и взаимодействия, обслуживания, обеспечивающих процессов.

Тематический модельный слой киберполигона на основе eTOM (enhanced Telecom Operational Map) представляет собой модель бизнес-процессов поставщика телеком-услуг (рис. 5). Слой является интегрированной моделью бизнес-процессов провайдеров и операторов инфотелекоммуникационной инфраструктуры. Модель eTOM содержит четыре уровня: концептуальный (1 уровень); детализированный концептуальный – 2 уровень (процессные области, вертикальные и горизонтальные группы процессов); 3–4 уровень стандартных элементов процессов. Модель eTOM детализированного концептуального уровня содержит три процессных области: управление стратегией, инфраструктурой и продуктами (SIP – Strategy, Infrastructure, Product); управление операционными процессами (OPS); управление предприятием (EM). В центре внимания документа eTOM находятся бизнес-процессы сервис-провайдеров, операторов инфраструктур и ресурсов, предприятий логистики и пользователей услуг (сервисов).

Рис. 4. **Тематический модельный слой киберполигона на основе ЦОД (источник: ГОСТ Р 58812–2020; ЗИП – запасные части и принадлежности)**

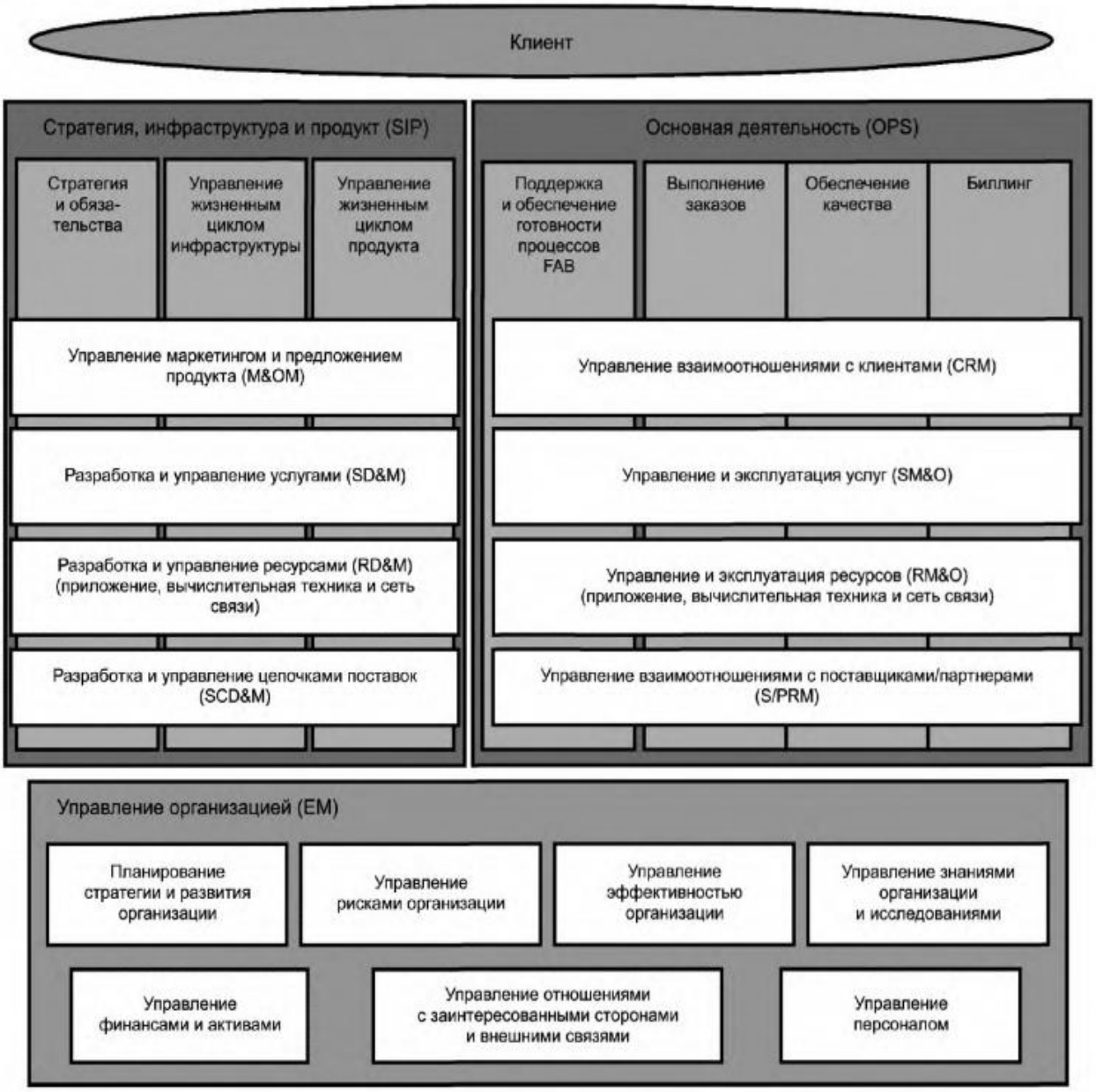


Рис. 5. **Тематический модельный слой киберполигона на основе eTOM (источник: ГОСТ Р 53633.0[5])**

Тематической модельный слой киберполигона на основе модели поэтапного инфраструктурного проекта (рис. 6). Слой является моделью программно-целевого создания и развития сложных территориально-распределенных организационно-технических систем класса «киберполигоны»). Модель содержит детализированные процедуры этапов жизненного цикла сложных систем, такие как «исследование» – «разработка» – «постановка на производство» – «опытное производство» – «серийное производство» – «проектирование» – «подготовка службы эксплуатации» – «разработка уставных документов» – «поставка» – «развертывание» – «опытная эксплуатация» – «ввод в штатную эксплуатацию».

[5] ГОСТ Р 53633.0. Информационные технологии. Сеть управления электросвязью. Расширенная схема деятельности организации связи (eTOM). Общая структура бизнес-процессов.

Рис. 6. **Тематический модельный слой киберполигона на основе инфраструктурного проекта [8]**
КП – киберполигон; СЗИ БД – средства защиты информации баз данных;
УПР – унифицированные проектные решения; ТКС – телекоммуникационные средства;
НТД – нормативно-техническая документация

Группы критериев качества многоцелевого применения киберполигона

Совокупность тематических модельных слоев киберполигона обусловливает неординарность подходов в определении критерия качества многоцелевого применения киберполигона, который, очевидно, должен рассматриваться относительно этих моделей. При этом необходимо обеспечить комплексную оценку значений показателей качества, определяемых в соответствии с принятыми моделями по обобщенным нормированным значениям показателей характеристик существенных свойств киберполигона, например, с использованием мультипликативных или аддитивных сверток.

Сформированная совокупность критериев качества может быть применена для выбора рационального варианта построения киберполигона для МЧС России.

Определение и оценка возможностей программных, программно-аппаратных и аппаратно-программных средств (изделий) при использовании в киберполигоне для МЧС России могут быть проведены на основе:

а) системной модели киберполигонов государственного заказчика, в которой перечень оцениваемых показателей основан на составе показателей технического задания Минцифры России на создание киберполигонов по национальному проекту «Информационная безопасность» национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации», в частности:

– функциональные, технической инфраструктуры и вычислительных ресурсов, режимов функционирования, надежностные, эргономичские и технической эстетики;

– взаимодействия с банком данных угроз безопасности информации ФСТЭК России и другими внешними системами;

– документального обеспечения, в том числе методической и методологической базы;

– развития и модернизации.

Пример результатов оценки прототипированных решений по построению киберполигонов на основе системной модели демонстрируют выполненные Санкт-Петербургским университетом ГПС МЧС России сравнительные оценки уровня техники, которые зарегистрированы в Российской Федерации как объекты промышленной и интеллектуальной собственности по тематике киберполигоны [13]. Выборка из четырех протипированных решений проанализирована по перечню показателей, представленных в структуре технического задания (ТЗ) на создание киберполигона, разработанного Минцифры России, значения частных показателей характеристик существенных свойств отнормированы и посредством аддитивной свертки с одинаковым вкладом, сведены в обобщенный показатель качества решения – объекта техники (рис. 7);

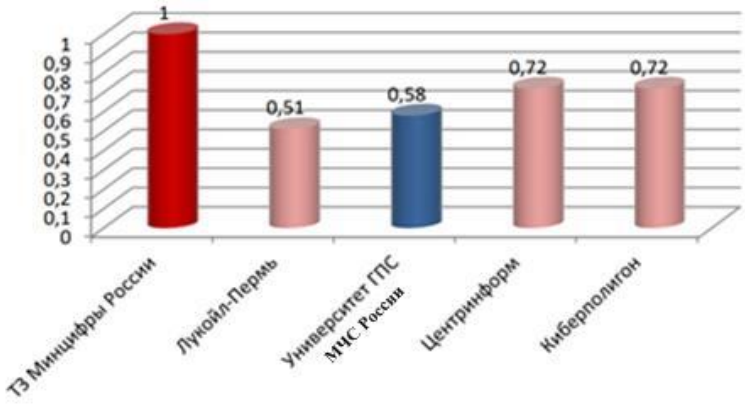


Рис. 7. **Оценка уровня техники на основе системной модели киберполигона**

б) организационно-функциональной модели киберполигонов вендора, перечень оцениваемых показателей, в которой будут соответствовать составу показателей чек-листа компании-разработчика, например:

– сфера деятельности для задач киберполигона;

– характеристики и показатели по трекам киберучений и образовательному;

– показатели кастомизации шаблонов, сценариев, инфраструктуры;

– характеристики и показатели средств защиты информации и другие;

в) дидактической модели ведомственной образовательной среды (ряд подходов, учитывающих образование, полученные навыки [14], компетенции [15, 16], стаж работы [17], специальность [18, 19] и другие характеристики, представлен в работах [14–19]), в которой перечень оцениваемых показателей адаптирован к составу показателей федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования по направлению подготовки «Информационная безопасность», например:

– показатели терминологии предметной области;

– показатели дидактического материала;

– показатели документального обеспечения киберполигона;

– показатели графического пользовательского интерфейса;

– характеристики и показатели режимов работы;

– завершенность транзакций, интеллектуальной поддержки и удобства использования.

Проверка целесообразности использования программных, программно-аппаратных и аппаратно-программных средств (изделий) при выборе рационального варианта построения киберполигона для МЧС России целесообразно осуществить на основе моделей качества систем и программного обеспечения, регламентированных серией международных и гармонизированных отечественных стандартов системной и программной инженерии (ГОСТ Р ИСО/МЭК 25ххх).

Заключение

Вкладом в развитие модельного и критериального аппарата обоснования организационных и системотехнических решений по построению киберполигонов на основе образовательных ресурсов развивающихся ведомственных организационно-технических систем в динамических оперативных условиях и воздействующих экономических факторов [8] являются стратифицированные (послойно) инфологические модели и группы критериев качеств, используемые для формирования первичного фрагмента ведомственного киберполигона, как наращиваемая испытательная инфраструктура на базе образовательных ведомственных ресурсов и введение в нее новых средств защиты информации.

Рассмотренные выше инфологические модели и группы критериев качества прототипированных решений должны использоваться методологической и методической основой в процедурах структурно-параметрического синтеза в задаче обоснования рационального варианта построения ведомственного киберполигона, в том числе для МЧС России.

С учетом вышеизложенного, основными элементами модели обоснования системотехнических решений киберполигона для ведомства являются:

– модель киберполигона (первичная полунатурная) в виде фрагмента полномасштабной архитектуры ведомственного киберполигона;

– программы испытаний системотехнических решений киберполигона (П);

– комплекс методов контроля и оценки характеристик, испытуемых образцов системотехнических решений киберполигона.

Элемент модели испытаний – «Программа испытаний» можно описать с помощью оператора П, устанавливающего связь между множествами:

$$\Pi_1 = \{E, F, B\};$$

$$\Pi_2 = \{U, G, L\}.$$

Множество $П_1$ определяет всю совокупность исходных данных для организации и проведения испытаний (требования на проектируемую систему (функционально-технические требования, требования технических заданий, в том числе интегрированных инфологических описаний системы [20]) – E; варианты организационно-технического построения проектируемого киберполигона, например с учетом распределенной архитектуры [21] – F; условия эксплуатации киберполигона – B), определяющих программу испытаний и способы реализации ее отдельных процедур.

Множество $П_2$ определяет условия испытаний, совокупность операций и работ, содержание и последовательность выполнения которых устанавливается программой проведения испытаний.

Элемент этого множества $U = \{D, S, X, C, Z\}$ определяет условия проведения испытаний:

– изменения в структуре и характере функционирования киберполигона $D = \{d_1, ..., d_n\}$, которые обусловлены условиями и целями ее использования;

– структурные изменения $S = \{s_1, ..., s_n\}$, которые обусловлены влиянием внешней среды, в том числе средствами преднамеренного воздействия, что ведет к дезорганизации киберполигона и изменению показателей функционирования;

– функциональные изменения $X = \{x_1, ..., x_n\}$, обусловленные изменением характера и интенсивности трафика различного вида и их перераспределением из-за преднамеренного деструктивного воздействия;

– требования к формируемым сервисам и предоставляемым пользователям $C = \{c_1, ..., c_n\}$, удовлетворение каждого из которых обусловливает задействование ресурса киберполигона, а окончание – его освобождение;

– поступающая нагрузка $Z(t) = \varphi\{D, X, t\}$, определяемая количеством задач и их интенсивностью.

Элемент $G = \{R, A, PI\}$ множества $П_2$ определяет совокупность работ – R по подготовке фрагмента киберполигона к испытаниям, алгоритмы – A и последовательность испытаний – PI.

Элемент $L = \{MK, MO, PO, PR\}$ определяет: методы контроля – МК; методы оценки – МО; последовательность оценки – РО характеристик испытуемого фрагмента киберполигона; процедуры переноса – PR результатов испытаний на характеристики проектируемого киберполигона.

К внутренним факторам, влияющим на функционирование киберполигона, можно отнести изменение технического состояния элементов киберполигонов, так как технические отказы ее элементов ведут к снижению ресурса для реализации требуемого перечня задач.

Для организации и проведения верификации и валидации системотехнических решений с применением фрагмента киберполигона кроме полунатурной модели ведомственного киберполигона и программ испытания необходимо иметь:

– набор методов контроля и оценки характеристик ведомственного киберполигона;

– комплект методик и процедур, которые обеспечивают проведение оценки результатов испытаний и перенос их на характеристики развивающейся инфраструктуры киберполигона.

Методы контроля и оценки характеристик киберполигона в зависимости от типа получаемой в процессе испытаний информации (вероятностной и детерминированной) могут быть статистическими или детерминированными.

Методы контроля характеристик испытуемого средства (изделия) используются при проверке (верификации) соответствия характеристик требованиям, а оценки характеристик – при определении (валидации) возможностей испытуемых средств (изделий) для использования в киберполигоне.

Оценка точности определения характеристик испытуемых средств (изделий) должна проводиться в соответствии с апробированными методиками испытаний ведомственного киберполигона.

Анализ состояния и результатов работ по построению киберполигонов показывает, что при создании ведомственных киберполигонов имеет место ряд проблемных аспектов, разрешение которых является задачей дальнейших исследований:

– отсутствие системной взаимоувязки целей и ресурсов;

– превалирование методов проб и ошибок;

– отсутствие системной проработки влияния эволюционного развития на системные характеристики киберполигонов;

– несовершенство методов обоснования системотехнических решений по построению и развитию киберполигонов с применением базового фрагмента ведомственного киберполигона;

– несовершенство методов обработки экспериментальных данных, полученных с применением фрагментов ведомственных киберполигонов;

– несовершенство методов многовекторной оценки оперативно-технического уровня ведомственных киберполигонов.

Статья подготовлена в рамках выполнения в 2023 г. прикладных научных исследований Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России по заказу МЧС России (регистрационный номер ЕГИСУ НИОКТР № 1022052000002-2-2.2.6;2.11.2).

Список источников

1. Гавкалюк Б.В. Сила научного потенциала для решения непростых профессиональных задач с применением научных подходов. Необходимы подготовленные кадры // Вестник военного образования. 2022. № 1 (34). С. 24–29.

2. Булгаков В.В., Самойлов Д.Б., Маслов А.В. Мониторинг качества подготовки выпускников ведомственных образовательных организаций МЧС России // Проблемы современного образования. 2019. № 2. С. 162–174.

3. Буйневич М.В., Матвеев А.А., Смирнов А.А. Актуальные проблемы подготовки специалистов в области информационной безопасности МЧС России и конструктивные подходы к их решению // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2022. № 3. С. 1–17. EDN OGPXZX.

4. Kudzh S.A., Tsvetkov V.Ya. Analysis of infological models // APITECH II. Journal of Physics: Conference Series. 2020. Vol. 1679. № 2. P. 022096. DOI: 10.1088/1742-6596/1679/2/022096.

5. Волкова О.Р., Козлова М.И. Информационно-логическая модель СППР интеллектуальной системы оперативной диагностики // Международный научно-исследовательский журнал. 2018. № 7 (73) С. 25–29. DOI: 10.23670/IRJ.2018.73.7.004.

6. Позднеев Б.М. О создании научно-образовательного полигона «Виртуальное машиностроительное предприятие» // Новые информационные технологии в образовании: применение технологий «1С» для развития компетенций цифровой экономики: сб. науч. трудов 18-й Междунар. науч.-практ. конф. / под ред. Д.В. Чистова. 2018. С. 255–257.

7. Тарасов Е.С. Повышение качества подготовки специалистов по направлению «Информационная безопасность» в соответствии с национальной программой «Цифровая экономика» // Информационные технологии и когнитивная электросвязь: сб. науч. трудов VII Всерос. науч.-практ. конф. Екатеринбург, 2021. С. 71–73.

8. Шестаков А.В. Введение в методологию обработки пространственных данных генотипа телекоммуникаций: монография. СПб.: ГУАП, 2016. 325 с.

9. Синещук М.Ю. Принципы организации и функционирования распределенных информационных систем как среды функционирования АИУС РСЧС // Региональная информатика и информационная безопасность: сб. трудов конф. С.-Петерб. междунар. конф. и С.-Петерб. межрегион. конф. СПб., 2020. С. 161–163.

10. Куватов В.И., Синещук Ю.И., Синещук М.Ю. Модель выбора рационального состава системы защиты информации критически важных потенциально опасных объектов // Региональная информатика и информационная безопасность: сб. трудов. С.-Петерб. общества информатики, вычислительной техники, систем связи и управления. 2016. С. 249–254.

11. Артамонов В.С., Синещук М.Ю., Козьмовский Д.В. Методика оперативного контроля функциональности использования ресурсов и сервисов автоматизированной информационно-управляющей систем Единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2014. № 2. С. 51–59.

12. Агибалов Г.П., Панкратова И.А., Стефанцов Д.А. О собственном программном обеспечении учебно-тренировочных средствах компьютерной безопасности // Информационное противодействие угрозам терроризма. 2015. Т. 1. № 25. С. 9–15.

13. Москвин А. Обзор рынка киберполигонов. URL: https://www.anti-malware.ru/analytics/Market_Analysis/Cyber-Polygons (дата обращения: 11.03.2023).

14. Халин Е.В., Позднеев Б.М. Модель компетенций для обеспечения безопасности производства и способ формирования модели компетенций: пат. RU 2641249 C1, 16.01.2018. Заявка № 2016152154 от 29.12.2016.

15. Монахов М.Ю., Тельный А.В., Мишин Д.В. О возможностях использования киберполигонов в качестве оценочных средств определения уровня сформированности компетенций // Информационное противодействие угрозам терроризма. 2015. Т. 1. № 25. С. 269–277.

16. Монахов М.Ю., Тельный А.В. О разработке оценочных средств определения уровня сформированности компетенций обучаемых // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2015. № 4 (358). С. 222–225.

17. Андреев А.С., Иванцов А.М. Опыт применения комплексов (полигонов) в области обеспечения информационной безопасности // Информационное противодействие угрозам терроризма. 2015. Т. 1. № 25. С. 15–17.

18. Особенности оценки компетенций по информационной безопасности государственных и муниципальных служащих / Н.М. Сладкова [и др.] // Вопросы государственного и муниципального управления. 2021. № 1. С. 122–149.

19. Rman M., Brezovšek M., Stare J. The Measurement Model of Professional Operation of State Administration. Central European Public Administration Review. 2020. Vol. 18. № 2. P. 29–52.

20. Novoselova O., Sidorov A. Integration of descriptions of infological model representations at automation of design tasks // AIP Conference Proceedings 2503, 050089 (2022); Published Online: 2022. 13 October. DOI: 10.1063/5.0106101/.

21. Kotenko I., Saenko I., Sineshchuk Yu. Optimizing Secure Information Interaction in a Distributed Computing System by the Method of Sequential Concessions. Proceedings – 28th Euromicro International Conference on Parallel, Distributed and Network-Based Processing, PDP 2020, Vasteras, Sweden Conference Paper. 10 p. 2020. March. DOI: 10.1109/PDP50117.2020.00072.

References

1. Gavkalyuk B.V. Sila nauchnogo potenciala dlya resheniya neprostyh professional'nyh zadach s primeneniem nauchnyh podhodov. Neobhodimy podgotovlennye kadry // Vestnik voennogo obrazovaniya. 2022. № 1 (34). S. 24–29.

2. Bulgakov V.V., Samojlov D.B., Maslov A.V. Monitoring kachestva podgotovki vypusknikov vedomstvennyh obrazovatel'nyh organizacij MCHS Rossii // Problemy sovremennogo obrazovaniya. 2019. № 2. S. 162–174.

3. Bujnevich M.V., Matveev A.A., Smirnov A.A. Aktual'nye problemy podgotovki specialistov v oblasti informacionnoj bezopasnosti MCHS Rossii i konstruktivnye podhody k ih resheniyu // Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MCHS Rossii». 2022. № 3. S. 1–17. EDN OGPXZX.

4. Kudzh S.A., Tsvetkov V.Ya. Analysis of infological models // APITECH II. Journal of Physics: Conference Series. 2020. Vol. 1679. № 2. P. 022096. DOI: 10.1088/1742-6596/1679/2/022096.

5. Volkova O.R., Kozlova M.I. Informacionno-logicheskaya model' SPPR intellektual'noj sistemy operativnoj diagnostiki // Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal. 2018. № 7 (73) S. 25–29. DOI: https://doi.org/ 10.23670/IRJ.2018.73.7.004.

6. Pozdneev B.M. O sozdanii nauchno-obrazovatel'nogo poligona «Virtual'noe mashinostroitel'noe predpriyatie» // Novye informacionnye tekhnologii v obrazovanii: primenenie tekhnologij «1S» dlya razvitiya kompetencij cifrovoj ekonomiki: sb. nauch. trudov 18-j Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. / pod red. D.V. Chistova. 2018. S. 255–257.

7. Tarasov E.S. Povyshenie kachestva podgotovki specialistov po napravleniyu «Informacionnaya bezopasnost'» v sootvetstvii s nacional'noj programmoj «Cifrovaya ekonomika» // Informacionnye tekhnologii i kognitivnaya elektrosvyaz': sb. nauch. trudov VII Vseros. nauch.-prakt. konf. Ekaterinburg, 2021. S. 71–73.

8. Shestakov A.V. Vvedenie v metodologiyu obrabotki prostranstvennyh dannyh genotipa telekommunikacij: monografiya. SPb.: GUAP, 2016. 325 s.

9. Sineshchuk M.Yu. Principy organizacii i funkcionirovaniya raspredelennyh informacionnyh sistem kak sredy funkcionirovaniya AIUS RSCHS // Regional'naya informatika i informacionnaya bezopasnost': sb. trudov konf. S.-Peterb. mezhdunar. konf. i S.-Peterb. mezhregion. konf. SPb., 2020. S. 161–163.

10. Kuvatov V.I., Sineshchuk Yu.I., Sineshchuk M.Yu. Model' vybora racional'nogo sostava sistemy zashchity informacii kriticheski vazhnyh potencial'no opasnyh ob''ektov // Regional'naya informatika i informacionnaya bezopasnost': sb. trudov. S.-Peterb. obshchestva informatiki, vychislitel'noj tekhniki, sistem svyazi i upravleniya. 2016. S. 249–254.

11. Artamonov V.S., Sineshchuk M.Yu., Koz'movskij D.V. Metodika operativnogo kontrolya funkcional'nosti ispol'zovaniya resursov i servisov avtomatizirovannoj informacionno-upravlyayushchej sistem Edinoj gosudarstvennoj sistemy preduprezhdeniya i likvidacii chrezvychajnyh situacij // Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MCHS Rossii». 2014. № 2. S. 51–59.

12. Agibalov G.P., Pankratova I.A., Stefancov D.A. O sobstvennom programmnom obespechenii uchebno-trenirovochnyh sredstvah komp'yuternoj bezopasnosti // Informacionnoe protivodejstvie ugrozam terrorizma. 2015. T. 1. № 25. S. 9–15.

13. Moskvin A. Obzor rynka kiberpoligonov. URL: https://www.anti-malware.ru/analytics/Market_Analysis/Cyber-Polygons (data obrashcheniya: 11.03.2023).

14. Halin E.V., Pozdneev B.M. Model' kompetencij dlya obespecheniya bezopasnosti proizvodstva i sposob formirovaniya modeli kompetencij: pat. RU 2641249 C1, 16.01.2018. Zayavka № 2016152154 ot 29.12.2016.

15. Monahov M.Yu., Tel'nyj A.V., Mishin D.V. O vozmozhnostyah ispol'zovaniya kiberpoligonov v kachestve ocenochnyh sredstv opredeleniya urovnya sformirovannosti kompetencij // Informacionnoe protivodejstvie ugrozam terrorizma. 2015. T. 1. № 25. S. 269–277.

16. Monahov M.Yu., Tel'nyj A.V. O razrabotke ocenochnyh sredstv opredeleniya urovnya sformirovannosti kompetencij obuchaemyh // Izvestiya vuzov. Tekhnologiya tekstil'noj promyshlennosti. 2015. № 4 (358). C. 222–225.

17. Andreev A.S., Ivancov A.M. Opyt primeneniya kompleksov (poligonov) v oblasti obespecheniya informacionnoj bezopasnosti // Informacionnoe protivodejstvie ugrozam terrorizma. 2015. T. 1. № 25. S. 15–17.

18. Osobennosti ocenki kompetencij po informacionnoj bezopasnosti gosudarstvennyh i municipal'nyh sluzhashchih / N.M. Sladkova [i dr.] // Voprosy gosudarstvennogo i municipal'nogo upravleniya. 2021. № 1. S. 122–149.

19. Rman M., Brezovšek M., Stare J. The Measurement Model of Professional Operation of State Administration. Central European Public Administration Review. 2020. Vol. 18. № 2. P. 29–52.

20. Novoselova O., Sidorov A. Integration of descriptions of infological model representations at automation of design tasks // AIP Conference Proceedings 2503, 050089 (2022); Published Online: 2022. 13 October. DOI: 10.1063/5.0106101/.

21. Kotenko I., Saenko I., Sineshchuk Yu. Optimizing Secure Information Interaction in a Distributed Computing System by the Method of Sequential Concessions. Proceedings – 28th Euromicro International Conference on Parallel, Distributed and Network-Based Processing, PDP 2020, Vasteras, Sweden Conference Paper. 10 p. 2020. March. DOI: 10.1109/PDP50117.2020.00072.

Информация о статье:
Статья поступила в редакцию: 19.02.2023; одобрена после рецензирования: 29.03.2023; принята к публикации: 31.03.2023

The information about article:
The article was submitted to the editorial office: 19.02.2023; approved after review: 29.03.2023; accepted for publication: 31.03.2023

Информация об авторах:
Синещук Максим Юрьевич, заместитель начальника центра информационных и коммуникационных технологий – начальник отдела связи и сетевых технологий Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: smaxim@igps.ru
Шестаков Александр Викторович, помощник начальника Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), доктор технических наук, старший научный сотрудник, e-mail: alexandr.shestakov01@yandex.ru
Гавкалюк Богдан Васильевич, начальник Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат технических наук, доцент, e-mail: rector@igps.ru

Information about authors:
Sineshchuk Maxim Yu., deputy head of the center for information and communication technologies – head of the department of communications and network technologies Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), e-mail: smaxim@igps.ru
Shestakov Alexander V., assistant head of t Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), doctor of technical sciences, senior researcher, e-mail: alexandr.shestakov01@yandex.ru
Gavkalyuk Bogdan V., head of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), candidate of technical sciences, associate professor, e-mail: rector@igps.ru

Научная статья
УДК 519.8

СЦЕНАРИИ ИНТЕРАКТИВНЫХ РЕЖИМОВ ОБНАРУЖЕНИЯ УЯЗВИМОСТЕЙ ИНТЕРФЕЙСОВ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ КОЛЛАБОРАЦИОННОГО ПОДХОДА В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СЕТЯХ 5G

Скатков Александр Владимирович;
Брюховецкий Алексей Алексеевич;
✉Доронина Юлия Валентиновна.
Севастопольский государственный университет, г. Севастополь, Россия
✉apkSev@yandex.ru

Аннотация. Предложен компонентно-модульный подход к разработке сценариев интерактивных режимов обнаружения вторжений на примере моделей совместного взаимодействия устройств в составе коллабораций в интеллектуальных сетях 5G. Процесс принятия решений может быть усовершенствован с помощью формальной детализации с привлечением лица, принимающего решение в качестве эксперта, интерактивное взаимодействие которого позволяет компенсировать недостающую априорную информацию. Повышение эффективности формального применения сценарного подхода описывается циклически повторяющимся процессом и предполагает интерактивное управление процессами планирования экспериментов и принятия решений на основе использования типовой последовательности структурной организации задач. Отмечены достоинства сценариев интерактивных режимов, базирующихся на компонентно-модульном подходе построения систем.

Ключевые слова: сценарии, интерактивные режимы, компонентно-модульный подход, обнаружение вторжений, коллаборации

Для цитирования: Скатков А.В., Брюховецкий А.А., Доронина Ю.В. Сценарии интерактивных режимов обнаружения уязвимостей интерфейсов сложных технических систем на основе коллаборационного подхода в интеллектуальных сетях 5G // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2023. № 1. С. 138–148.

Scientific article

INTERACTIVE SCENARIOS FOR DETECTING INTERFACES UMV VULNERABILITIES BASED ON A COLLABORATIVE APPROACH IN INTELLIGENT 5G NETWORKS

Skatkov Aleksandr V.;
Bryukhovetskiy Aleksey A.;
✉Doronina Yulia V.
Sevastopol state university, Sevastopol, Russia
✉apkSev@yandex.ru

Abstract. A component-modular approach to the development of scenarios for interactive intrusion detection modes is proposed using the example of models of joint interaction of devices as part of collaborations in intelligent 5G networks. The decision-making process can be improved with the help of formal detailing with the involvement of the decision maker as an expert, whose interactive interaction makes it possible to compensate for the missing a priori information. Increasing

© Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2023

the efficiency of the formal application of the scenario approach is described repeating process and involves interactive control of the processes of planning experiments and decision-making based on the use of a typical sequence of structural organization of tasks. The advantages of scenarios of interactive modes based on a component-modular approach to building systems are noted.

Keywords: scenarios, interactive modes, component-modular approach, intrusion detection, collaborations

For citation: Skatkov A.V., Bryukhovetskiy A.A., Doronina Yu.V. Interactive scenarios for detecting interfaces umv vulnerabilities based on a collaborative approach in intelligent 5G networks // Scientific and analytical journal «Vestnik Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia». 2023. № 1. P. 138–148.

Введение

Наибольшая сложность при выполнении прикладных задач обеспечения безопасности жизнедеятельности возникает на этапе принятия решений, поскольку этот процесс в полной мере не формализован и не имеет конкретного алгоритмического решения для различных ситуаций обработки критически важных данных. В этом случае выбор того или иного сценария реализации работ по ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций (ЧС) и мероприятиях по их предотвращению остается за лицом, принимающим решение (ЛПР). Поэтому на практике предлагается подход к разработке сценариев интерактивных режимов на основе компонентно-модульного принципа построения систем в разных областях, когда процедура принятия решений базируется на формальной детализации с привлечением ЛПР в качестве эксперта, осуществляющего интерактивное взаимодействие с целью компенсации дефицита априорной информации [1–3].

Задача обнаружения уязвимостей и непосредственно вторжений злоумышленников при совместном взаимодействии устройств в составе коллабораций в интеллектуальных сетях 5G в настоящее время является крайне востребованной в связи с развитием информационно-телекоммуникационных взаимодействий. В том числе это относится к процессам ликвидации последствий ЧС и мониторинга предкритических ситуаций в системах ответственного применения при передаче данных по информационно-телекоммуникационным каналам.

Цель статьи: предложить новый компонентно-модульный подход к разработке сценариев интерактивных режимов обнаружения вторжений на примере моделей совместного взаимодействия устройств в составе коллабораций в интеллектуальных сетях 5G с компенсацией недостающей априорной информации.

Определение базовых понятий в методах и моделях исследования

Определение сценария. Под сценарием Ci будем понимать последовательность действий, описывающих условия и влияние ряда факторов на значение целевой функции модели. Одной из главных особенностей реализации сценариев является интерактивное участие ЛПР-эксперта, который управляет и вносит необходимые коррективы при выполнении сценария.

Определение сегмента сценария. Последовательность действий, выполняемая в сценарии между двумя соседними интерактивными точками ИТ(j-1) и ИТ(j), назовем сегментом.

Для описания сценариев в графической форме с учетом сегментации используются следующие типовые элементы (блоки):

1. Интерактивные точки – предполагают участие ЛПР в качестве эксперта.
2. Ввод/вывод: выбора настраиваемых параметров вариантного набора входных данных; выбор настраиваемых параметров вывода; выбор формы вывода результата; задание области ввода значений параметров: области значений принятия решений.
3. Функциональные: вычисление значений целевых функций (ЦФ).
4. Логические: переход на основе логической операции.

5. Предикатные: переход на основе предиката «если-то-иначе» (проверка корректности данных, анализ значений ЦФ, анализ результатов кластеризации, проверка уровней достоверности поддержки процессов принятия решений, оценка уровня достоверности контролируемых параметров ЛПР-экспертом).

Повышение эффективности формального применения сценарного подхода описывается циклически повторяющимся процессом [4], включающим следующие основные этапы:

– планирование: выбор набора параметров для моделирования, определение диапазонов изменения значений, оценок полученных результатов; выбор критериев для анализа, интерпретации и прогнозирования состояния объекта контроля; определение временных интервалов между интерактивными ИТ-точками;

– задание значений входных данных и проверка корректности их ввода;

– выполнение вычислений ЦФ по определенной методике;

– анализ результатов моделирования с применением выбранных критериев;

– принятие решений по оценке уровня достоверности полученных результатов.

При этом типовыми задачами, которые решаются с применением технологий сценариев интерактивных режимов, являются:

– детализация ситуации путем фиксации условий вычисления ЦФ: описание входа, условий, форм представления данных, вывода;

– задание ограничений на области изменения и типы входных наборов данных: законы распределения, объем выборки, моменты времени получения результатов измерений;

– анализ полученных результатов;

– оценивание полученных значений и их влияние на ЦФ с учетом ошибок первого и второго рода;

– решение задач типа «если … то …»;

– интерактивное обучения ЛПР-эксперта с учетом приобретенного опыта.

В отличие от алгоритмического, сценарный подход предполагает интерактивное управление процессами планирования экспериментов и принятия решений на основе использования типовой последовательности структурной организации задач. Указанный подход, отмеченный авторами в предыдущих работах [5, 6], имеет ряд особенностей:

– принятие решений на основе использования типовой последовательности структурной организации задач может быть реализовано на основе приобретенного опыта, полученного методом проб и ошибок;

– получение сценария как типизированного набора операций должно опираться на правила, формулировка которых представляет собой нетривиальную задачу;

– среди сформулированных правил могут быть недостаточно эффективные или локально оптимальные, исходя из чего требуется анализ корректности сценария, как с точки зрения структуры, так и с точки зрения операций и их последовательности;

– всякий сценарий, реализуется на основе информационных технологий, то есть совокупности программных и аппаратных решений, что требует алгоритмизированного подхода;

– наличие формального представления сценария позволит оптимизировать, а также, возможно, автоматизировать интерпретацию полученных результатов.

Таким образом, основными достоинствами сценариев интерактивных режимов, базирующихся на компонентно-модульном подходе построения систем являются:

– компенсация априорно недостающей информации;

– гибкая структура принятия решений на каждом шаге;

– визуализация процессов принятия решений;

– учет опыта и знаний ЛПР-эксперта по функционированию модели, знающего особенности предметной области в целом.

Для иллюстрации рассмотрим компонентно-модульный подход построения системы обнаружения вторжений (системы защиты информации) на примере сценарно-

ориентированных моделей (СОМОД) обнаружения уязвимостей интерфейсов устройств в условиях сетей 5G. В состав системы входят четыре модели:

– СОМОД-1 – коллаборационные стратегии обнаружения уязвимостей интерфейсов устройств при технологиях 5G;

– СОМОД-2 – коллаборации обнаружения уязвимостей интерфейсов устройств в условиях противодействия атакам;

– СОМОД-3 – распределение защитных ресурсов для смягчения отказов устройствна основе метода вектора спада в условиях действия атак;

– СОМОД-4 – балансировка нагрузки сети с распределением тестировщиков и тестируемых по кластерам с целью повышения достоверности обнаружения уязвимостей интерфейсов устройств при ограничениях на выделенные ресурсы.

Рассмотрим модели коллабораций обнаружения уязвимостей интерфейсов сложных систем мониторинга критически важных объектов (ССМ КО) в условиях противодействия атакам в интеллектуальных сетях 5G.

Сценарно-ориентированная модель СОМОД-1 как основа коллаборационных стратегий обнаружения уязвимостей интерфейсов сложных систем при технологиях 5G

Назначение – принятие решений по обнаружению уязвимостей интерфейсов устройств на основе модели, базирующейся на понятии коллаборации – совместного взаимодействия узлов в составе кластерной виртуальной архитектуры топологии сети [6].

ЦФ – вероятности P(p, k, n) совместного/одиночного обнаружения уязвимости на k-м тесте при значениях p, k, n и характеристическое отношение:

$$P(p(k)) = p(1-p)k-1;$$

$$P(p,k,n) = Ckn\ pk(1-p)n-k; \qquad (1)$$

$$KK=P(p,к,n)/P(k),$$

где p – вероятность обнаружения каждым устройством при одиночном тестировании; k – число устройств, выполняющих взаимное тестирование; n – число устройств в группе; $0 \le p \le 1$, $1 \le k \le n$.

Ниже представлены описания сценариев, поддерживаемые СОМОД-1.

Сценарий 1. Реализует построение минимальных множеств покрытий C графа G(E,R,W), где E – связи; R – ранги; W – веса дуг (учитываются только ранги Ri – число связей |e(i,j)| между узлами Xi и Yj) и включает три шага. Вид графа G, содержащего вершины X,Y, R∈ [1;|e|] (C1.1), приведен на рис. 1.

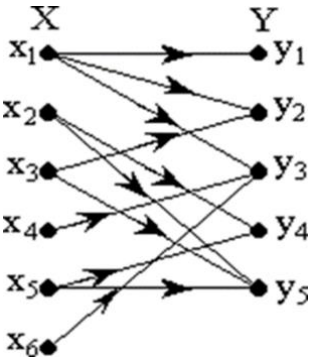


Рис. 1. **Ориентированный граф, отражающий взаимосвязи между узлами Xi и Yj**

Шаг (С1.2): формирование матрицы смежности M(X,Y,R). Табл. 1 и шаг (С1.2): построение множества минимальных покрытий (по числу элементов) Ci графа.

Таблица 1

Матрица смежности M(X,Y,R)

	Y1	Y2	…	Yj	…	Ym
X1	1	1	…	1	…	
…	…	…	…	…	…	…
Xi			…	1	…	1
…	…	…	…	…	…	…
Xn	1		…			1

Сценарий 2. Формирование коллабораций с учетом веса дуг – $w(i,j)$, характеризующих свойства узлов. Содержит основные этапы: интеграция характеристик узлов (С2.1); получение статистических характеристик Vjl для каждого узла (С2.2); формирование оценок рангов RwCi,v (С2.3); формирование структуры для оценки уровня доверия DCi (С2.4). Структура минимальных множеств и контролируемых свойств узлов сети описывается табл. 2.

Таблица 2

Структура минимальных множеств и контролируемых свойств узлов сети

	C1		Cr
V1	Rw11	…..	Rw1r
V2	Rw21	…..	Rw2r
….	…..	…..	…..
….	…..	…..	…..
Vl	Rw1l	…..	Rwlr
DCi	DC1		DCr

На основном шаге формируется интегральная оценка уровня доверия DCi (С2.5), которая вычисляется как: DCi=Rwij / $\sum_{j=1}^{l} R^{w}ij$. При этом уровень доверия каждого подмножества CKi оценивается интегрально по заданным свойствам Vj с использованием шкалы [0; α1; α2; 1]: 0 ≤ DCi < α1 – низкий; α1 ≤ DCi < α2 – номинальный; α2 ≤ DCi < 1 – высокий.

Следующим шагом осуществляется выбор коллабораций CKi, для которых DCi =max (С2.6). И на шаге (С2.7) происходит назначение узлов координаторов КС. Узлы множества Ci, для которых DCi=max, будут включены в коллаборацию CKi и Xi ∈ CKi будут назначены в качестве координаторов КС.

Сценарий 3. Определение вероятности обнаружения уязвимости при одиночном тестировании – P(p(k)), на основе совместного взаимодействия в составе коллабораций – P(p,k,n) и оценке КК= P(p,k,n)/ P(p(k)) при значениях однократного обнаружения p: (p = > 0,5) и (p < 0,5).

В табл. 3 приводится конкретизация основных структурных элементов на уровне сегментов в рамках формальной структурно-логической схемы СОМОД-1 для сценария-3, которая включает четыре основных сегмента.

Из-за ограниченного объема статьи формальное описание моделей СОМОД 2, 3, 4 представлено в сокращенной форме в виде таблиц, в которых указаны поддерживаемые сценарии и параметры влияния на значение ЦФ.

Таблица 3

Структурно-логическая схема модели СОМОД-1 (сценарий 3)

Сегменты, поддержи-ваемые ***СОМОД-1***	Выбор настраиваемых параметров, влияющих на оценку ЦФ			Графическое обозначение
ИТ-3.1ЛПРЭ	Выбор настраиваемых параметров вариантного набора входных данных			
	p	k	n	
	Области ввода значений параметров			
	$0 < p \leq 1$	$1 \leq k \leq n$	$2 \leq n < N$	
	Проверка корректности ввода			
ИТ-3.2ЛПРЭ	Выбор настраиваемых параметров вывода			
	$p(k)$	$P(p,k,n)$	KK	
	Вычисление значений ЦФ			
	$p(k)(1-p(k))^{k-1}$	$C^k_n p^k(1-p)^{n-k}$	$P(p,к,n)/P(k)$	
	Анализ значений ЦФ			
ИТ-3.3ЛПРЭ	Выбор ЦФ для оценки результатов и принятия решений			
	$p(k)$	$P(p,k,n)$	KK	
	Области значений α_i принятия решений: $\alpha_0 < P \leq \alpha_1$ – вероятность низкая; $\alpha_1 < P \leq \alpha_2$ – вероятность номинальная; $\alpha_2 < P \leq \alpha_3$ – вероятность высокая			
	Кластеризация значений P			
	Анализ результатов кластеризации			
ИТ-3.4ЛПРЭ	Выбор формы вывода результата			
	таблицы	графики	диаграммы	
	Проверка уровней достоверности поддержки процессов принятия решений			

Сценарно-ориентированная модель СОМОД-2

Модель представляет собой формализацию коллаборации обнаружения уязвимостей интерфейсов устройств (сложных систем) в условиях противодействия атакам.

Назначение – методы обнаружения уязвимостей интерфейсов устройств, позволяющие оценить влияние типа, интенсивности и продолжительности действия атаки с учетом большинства узлов, участвующих в тестировании при принятии решения.

ЦФ – вероятность обнаружения уязвимости интерфейсов ССМ КО в составе коллабораций в условиях противодействия атакам.

$$P(p^A(t),p(t,k,n)) = (1- \sum_{i=1}^{Na} p(\mathrm{A}i) * \mathrm{p}(\text{отк}|\mathrm{A}i)\,)\,(\sum_{i=1}^{e} C_k^i\, p^i(t)(1-p^i(t))^{k-i}), \qquad (2)$$

где $p(\text{отк}|Ai) = \sum_{t=1}^{T\text{кон}} p^{Ai}(t)$, $p^{Ai}(t) = f(T^{Ai}, t, a, b)$ при $e = \begin{cases} k/2, \text{ если } k \text{ – четное}, \\ ]\, k/2\, [, \text{ если } k \text{ – нечетное}, \end{cases}$

где T^{Ai} – тип атаки, закон распределения; a, b – параметры закона распределения, характеризующие интенсивность атаки; $t \in [0;T^{кон}]$ – момент времени действия атаки.

Типы атак описываются следующими случайными функциями: линейной вида $p^A(t) = at + b$; экспоненциальной вида: – $p^A(t) = 1–aexp(-bt)$ и показательной $p^A(t) = (1–at)^b$; Na – число атак.

В табл. 4 показаны поддерживаемые сценарии и параметры, влияющие на значения ЦФ в СОМОД-2, принятое обозначение *var* – настраиваемый параметр.

Таблица 4

Поддерживаемые сценарии модели СОМОД-2

Сценарии, поддерживаемые ***СОМОД-2***	Параметры влияния на значение целевой функции *P*						
	N_a	T^{Ai}	a_i	b_i	p	k	n
С1 – исследование влияния интенсивности атак	*var*	*var*	*var*	*var*			
С2 – исследование влияния *p*					*var*		
С3 – исследование влияния *k*						*var*	
С4 – исследование влияния *n*							*var*

Сценарно-ориентированная модель СОМОД-3

Модель представляет собой формализацию распределения защитных ресурсов для смягчения отказов узлов на основе метода вектора спада в условиях действия атак в сетях 5G ССМ КО.

Назначение – распределение защитных ресурсов при обнаружении уязвимостей интерфейсов беспилотных транспортных средств в условиях действия атак с целью минимизации вероятности отказа узлов, ЦФ имеет вид:

$$\text{P} = \sum_{j=1}^{Nj} \sum_{i=1}^{Na} p(\text{A}i) * \text{p}j(\text{отк}|\text{A}i) = min, \quad (3)$$

где Nj – число устройств, для которых требуется обеспечить ресурсную защиту; Na – число атак; типы атак T^{Ai}: описываются следующими случайными функциями: Линейная – $p^A(x)=1 – (ax+b)$, экспоненциальная – $p^A(x)=aexp(–bx)$, показательная – $p^A(x)=(1–ax)^b$, где $x=R_j/R_{j,max}$; R_j – объем защитного ресурса j-го устройства; $R_{j,max}$ – максимально возможный ресурс, выделяемый j-му устройству.

Ограничения: $0 \le R_j \le R_{j,max}$, $j=1,2,....N_j$, $\sum_{j=1}^{Nj} Rj \le Rc$,

где Rc – объем защитных ресурсов, выделяемый для всех узлов.

Предполагается, что ресурс защиты, выделенный N_j критическим узлам, равен Rc, а сумма $\sum_{j=1}^{Nj} Rj, max \ge Rc$.

В табл. 5 показаны поддерживаемые сценарии в СОМОД-3, и указаны параметры, влияющие на значения целевых функций.

Таблица 5

Поддерживаемые сценарии модели СОМОД-3

Сценарии, поддерживаемые ***СОМОД-3***	Параметры влияния на значение ЦФ *P*						
	N_a	T^{Ai}	a_i	b_i	N_j	$R_{j,max}$	Rc
С1 – исследование влияния числа защитных узлов					*var*		
С2 – исследование влияния интенсивности атак	*var*	*var*	*var*	*var*			
С3 – исследование влияния объема защитных ресурсов R_c							*var*
С4 – исследование влияния объема защитных ресурсов $R_{j,max}$ отдельных узлов						*var*	

Сценарно-ориентированная модель СОМОД-4

Модель представляет собой формализацию балансировки нагрузки сети с распределением тестировщиков и тестируемых по кластерам с целью повышения достоверности обнаружения уязвимостей интерфейсов ССМ КО при ограничениях на выделенные ресурсы.

Назначение – распределение тестировщиков и тестируемых узлов по кластерам с целью обеспечения минимально допустимой вероятности обнаружения уязвимостей Pc_{min} в каждом *j*-м кластере при коллаборационной стратегии совместного тестирования узлов в составе кластеров $P_j \geq Pc_{min}$. ЦФ имеют вид:

$$P(p(t),k,n_c) = C^k_{nc}\, p^k(t)(1-p^k(t))^{nc-k};$$
$$f_i = \Delta p_i / \Delta R_i = max, \qquad (4)$$

где $\Delta R_i = (1/ Rc_{max}) \sum_{j=1}^{N} rk_j^{\,2} = min$; $\Delta p_i = (1/ Pc_{min}) \sum_{j=1}^{N} P_j(p(t),k_j, n_j) = max$, при ограничениях:

$$0 \leq R_j \leq Rc_{max}\ ,\ j=1,2,....N\ ,\ \sum_{j=1}^{Nc} R_j \leq R, \qquad (5)$$

где R – общий объем защитных ресурсов, выделяемый для всех узлов; R_j – текущий объем защитного ресурса *j*-го кластера, выделяемый в процессе распределения ресурсов; Rc_{max} – максимально возможный объем защитного ресурса, выделяемый для кластера; r – объем защитного ресурса, выделяемый на одно тестирование одному тестировщику; ΔR_j – доля защитного ресурса, используемая *j*-м кластером; Δp_j – эффективность обнаружения уязвимостей в *j*-м кластере.

Основные функции: максимальное количество тестировщиков в кластере: $k_{max} = [(Rc_{max} / r)^{1/2}]$; минимальное число кластеров: $N =]\, R / Rc_{max}\, [$; число узлов в первые $(N – 1)$ кластеры: $n_c = [\, n / (N–1)]$; число узлов n_N в последнем кластере с номером N : $n_N = n – n_c(N – 1)$; число узлов n_+, которое может быть добавлено в последний кластер с других кластеров: $n_+ = n_c – n_N$. Формирование булеана [7].

В табл. 4 приведены поддерживаемые сценарии и параметры, влияющие на значения целевых функций.

Таблица 6

Поддерживаемые сценарии модели СОМОД-4

Сценарии, поддерживаемые ***СОМОД-4***	Параметры влияния на значение ЦФ *fi*						
	r	*R*	Rc_{max}	Pc_{min}	*N*	*k*	*n*
С1 – исследование влияния объема ресурса r	*var*					*var*	*var*
С2 – исследование влияния объема ресурса R		*var*				*var*	*var*
С3 – исследование влияния объема ресурса Rc_{max}			*var*			*var*	*var*
С4 – исследование влияния Pc_{min}				*var*		*var*	*var*
С5 – исследование влияния числа кластеров					*var*	*var*	*var*

На основе разработанных сценарно-ориентированных моделей (СОМОД) обнаружения уязвимостей интерфейсов устройств в условиях сетей 5G были реализованы серии экспериментов по исследованию влияния параметров на значения ЦФ (1–4). Проведен анализ полученных результатов по оценке вероятности обнаружения уязвимостей в составе коллабораций, вероятности отказов устройств в условиях противодействия атакам, вероятности отказов устройств в зависимости от объема выделенных ресурсов, минимально допустимой вероятности отказа при балансировке критических ресурсов и распределении числа тестировщиков кластерам. Некоторые из этих результатов представлены в работе [6].

На практике реализация сценариев имеет свои особенности, которые необходимо учитывать при исследовании влияния параметров на значения ЦФ [8]. Как правило, прогнозировать эффективность применения сценария с помощью формальных методов крайне затруднительно. Поэтому, первоначально выбор осуществляется ЛПРЭ на основе имеющейся априорной информации, которая по мере проведения экспериментов накапливается и в дальнейшем может быть использована для построения и детализации формальных процедур с адаптацией по автоматизации выбора сценариев.

Заключение

Предлагаемый компонентно-модульный подход построения сценариев интерактивного режима обнаружения вторжений, в том числе для сетей 5G, например, в сложных системах мониторинга критических объектов позволяет повысить достоверность процессов принятия решений и позволяет ЛПРЭ выбирать оптимальный сценарий анализа данных с учетом допустимых ошибок первого и второго рода. Основными достоинствами интерактивных сценариев, базирующихся на компонентно-модульном подходе построения систем являются: компенсация априорно недостающей информации, гибкая структура принятия решений на каждом шаге, визуализация процессов принятия решений, учет опыта и знаний лица – эксперта, принимающего решения.

Таким образом, в сложных случаях высокой неопределенности априорной информации при получении данных в информационных сетях обеспечивается выбор оптимального сценария анализа данных с учетом допустимых ошибок первого и второго рода, что позволит эффективно решать задачи нивелирования последствий чрезвычайных ситуаций. Повышение эффективности формального применения сценарного подхода описывается циклически повторяющимся процессом и предполагает интерактивное управление процессами планирования экспериментов и принятия решений на основе использования типовой последовательности структурной организации задач.

Список источников

1. Массель Л.В., Гальперов В.И. Разработка многоагентных систем распределенного решения энергетических задач с использованием агентных сценариев // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2015. Т. 326. № 5. С. 45–53.

2. Архипова Н.И., Кононов Д.А., Кульба В.В. Проблема выбора сценария управления мониторингом безопасного функционирования сложных систем // Проблемы управления безопасностью сложных систем: тр. XVII Междунар. конф. Российской акад. наук / под ред. Н.И. Архиповой, В.В. Кульбы. 2009. С. 148–151.

3. Мисевич П.В. Сценарно-ситуационный подход к проектированию средств интеллектуальной поддержки процесса функционирования автоматизированных систем // Системы управления и информационные технологии. 2007. № 2.1 (28). С. 166–171.

4. A PDCA-based approach to Environmental Value Stream Mapping (E-VSM) / J.A. Garza-Reyes [et al.] // Journal of Cleaner Production. 2018. Vol. 180. P. 335.

5. Скатков А.В., Доронина Ю.В., Брюховецкий А.А. Сценарный подход к управлению мониторинговыми процессами в природно-технических системах // Системы контроля окружающей среды. 2023. № 51 (1). С. 81–89.

6. Скатков А.В., Брюховецкий А.А. Коллаборационные стратегии обнаружения уязвимостей интерфейсов информационно-измерительных сетей ПТС при технологиях 5G // Системы контроля окружающей среды. 2022. № 49 (3). С. 84–97. DOI: 10.33075/2220-5861-3-84-97.

7. Андерсон Джеймс А. Дискретная математика и комбинаторика. М.: Вильямс, 2004. 960 с.

8. Линдгрен М. Сценарное планирование. Связь между будущим и стратегией / Матс Линдгрен, Ханс Бандхольд. М.: ЗАО «Олимп-Бизнес», 2014. 256 с.

References

1. Massel' L.V., Gal'perov V.I. Razrabotka mnogoagentnyh sistem raspredelennogo resheniya energeticheskih zadach s ispol'zovaniem agentnyh scenariev // Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov. 2015. T. 326. № 5. S. 45–53.

2. Arhipova N.I., Kononov D.A., Kul'ba V.V. Problema vybora scenariya upravleniya monitoringom bezopasnogo funkcionirovaniya slozhnyh sistem // Problemy upravleniya bezopasnost'yu slozhnyh sistem: tr. XVII Mezhdunar. konf. Rossijskoj akad. nauk / pod red. N.I. Arhipovoj, V.V. Kul'by. 2009. S. 148–151.

3. Misevich P.V. Scenarno-situacionnyj podhod k proektirovaniyu sredstv intellektual'noj podderzhki processa funkcionirovaniya avtomatizirovannyh sistem // Sistemy upravleniya i informacionnye tekhnologii. 2007. № 2.1 (28). S. 166–171.

4. A PDCA-based approach to Environmental Value Stream Mapping (E-VSM) / J.A. Garza-Reyes [et al.] // Journal of Cleaner Production. 2018. Vol. 180. P. 335.

5. Skatkov A.V., Doronina Yu.V., Bryuhoveckij A.A. Scenarnyj podhod k upravleniyu monitoringovymi processami v prirodno-tekhnicheskih sistemah // Sistemy kontrolya okruzhayushchej sredy. 2023. № 51 (1). S. 81–89.

6. Skatkov A.V., Bryuhoveckij A.A. Kollaboracionnye strategii obnaruzheniya uyazvimostej interfejsov informacionno-izmeritel'nyh setej PTS pri tekhnologiyah 5G // Sistemy kontrolya okruzhayushchej sredy. 2022. № 49 (3). S. 84–97. DOI: 10.33075/2220-5861-3-84-97.

7. Anderson Dzhejms A. Diskretnaya matematika i kombinatorika. M.: Vil'yams, 2004. 960 s.

8. Lindgren M. Scenarnoe planirovanie. Svyaz' mezhdu budushchim i strategiej / Mats Lindgren, Hans Bandhol'd. M.: ZAO «Olimp-Biznes», 2014. 256 s.

Информация о статье:
Статья поступила в редакцию: 23.01.2023; одобрена после рецензирования: 06.02.2023; принята к публикации: 10.02.2023

Information about the article:
The article was submitted to the editorial office: 23.01.2023; approved after review: 06.02.2023; accepted for publication: 10.02.2023

Информация об авторах:
Скатков Александр Владимирович, профессор кафедры «Информационные технологии и компьютерные системы» Севастопольского государственного университета (299053, г. Севастополь, ул. Университетская, д. 33), доктор технических наук, профессор, эксперт РАН, e-mail: vm1945@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-5678-9587
Брюховецкий Алексей Алексеевич, заведующий кафедрой «Информационные технологии и компьютерные системы» Севастопольского государственного университета (299053, г. Севастополь, ул. Университетская, д. 33), кандидат технических наук, доцент, e-mail: a.alexir@mail.ru
Доронина Юлия Валентиновна, профессор кафедры «Информационные технологии и компьютерные системы» Севастопольского государственного университета (299053, г. Севастополь, ул. Университетская, д. 33), доктор технических наук, доцент, e-mail: apkSev@yandex.ru, https://orcid.org/ 0000-0003-4699-025X

Information about authors:
Skatkov Aleksander V., professor of the department of «Information technologies and computer systems» of the Sevastopol state university (299053, Sevastopol, Universitetskaya str., 33), doctor of technical sciences, professor, expert of the Russian academy of sciences, e-mail: vm1945@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-5678-9587
Bryukhovetsky Alexey A., head of the department «Information technologies and computer systems» of Sevastopol state university (299053, Sevastopol, Universitetskaya str., 33), candidate of technical sciences, associate professor, e-mail: a.alexir@mail.ru
Doronina Yulia V., professor of the department «Information technologies and computer systems» of Sevastopol state university (299053, Sevastopol, Universitetskaya str., 33), doctor of technical sciences, associate professor, e-mail: apkSev@yandex.ru, https://orcid.org / 0000-0003-4699-025X

Научная статья
УДК 796.01:004

ФАКТОРЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В СФЕРЕ СПОРТА ВЫСШИХ ДОСТИЖЕНИЙ

✉Аганов Сергей Самуилович.
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия.
Понимасов Олег Евгеньевич.
Северо-Западный институт управления РАНХиГС, Санкт-Петербург, Россия.
Пылаев Сергей Михайлович.
Государственный университет морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова, Санкт-Петербург, Россия
✉aganov.s@igps.ru

Аннотация. Целью данной работы явилось исследование факторов конкурентной среды, влияющих на обеспечение информационной безопасности в сфере спорта. Определяя основополагающие компоненты по имеющемуся материалу, который относится к спортивным дисциплинам, а также их утрату, были опрошены специалисты в области физической культуры и спорта. Благодаря чему были установлены факторы, влияющие на эффективность обеспечения информационной безопасности в сфере спорта высших достижений. В исследовании определена структура информационных объектов, включённых в сферу обмена данными, оценка её потенциала, выявлена ранговая структура факторов конкурентной среды, влияющих на обеспечение информационной безопасности в сфере спорта.

Ключевые слова: информационная безопасность, сфера спорта, защита информации

Для цитирования: Аганов С.С., Понимасов О.Е., Пылаев С.М. Факторы обеспечения информационной безопасности в сфере спорта высших достижений // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2023. № 1. С. 149–156.

FACTORS OF ENSURING INFORMATION SECURITY IN THE FIELD OF SPORTS OF THE HIGHEST ACHIEVEMENTS

✉Aganov Sergey S.
Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia.
Ponimasov Oleg E.
Northwest institute of management of the Russian academy of national economy and public administration, Saint-Petersburg, Russia.
Pylaev Sergey M.
State university of sea and river fleet admiral S.O. Makarova, Saint-Petersburg, Russia
✉aganov.s@igps.ru

Abstract. The purpose of this work was to study the factors of the competitive environment that affect the provision of information security in the field of sports. Determining the fundamental components of the available material that relates to sports disciplines, as well as their loss, experts in the field of physical culture and sports were interviewed. Due to this, factors were established that affect the effectiveness of information security in the field of elite sports. The study defines the structure of information objects included in the sphere of data exchange, assesses its potential, reveals the rank structure of competitive environment factors that affect information security in the field of sports.

Keywords: information security, sports, information security

© Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2023

For citation: Aganov S.S., Ponimasov O.E., Pylaev S.M. Factors of ensuring information security in the field of sports of higher achievements // Scientific and analytical journal «Vestnik Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia». 2023. № 1. P. 149–156.

Введение

Глобализация происходящих процессов современного общества остро ставит проблему обеспечения информационной безопасности во всех отраслях человеческой деятельности. Экспонентный рост инновационных технологических средств, способов и методов международных коммуникаций запускает возможности и механизмы незаконного использования достижений во всех сферах промышленного производства и социальной сфере, в том числе и в области спорта [1, 2].

Причинная обусловленность соблюдения информационной безопасности связана с внешними факторами конкуренции в спортивной деятельности, которая несоизмеримо возросла в последнее десятилетие. Методологический базис решения проблемы сохранения прав владельцев и разработчиков технологий подготовки спортсменов как ресурсного функционала достижения высоких спортивных результатов лежит в изучении внешних и внутренних связей спорта, обосновании приоритетов и принципов государственного регулирования спортивной деятельности. Функциональность информационной безопасности обеспечивается балансом содержательных мероприятий с учётом факторов, влияющих на устойчивое развитие российского спорта [3, 4].

Сфера спорта включает развитую сеть инфраструктуры кадров, участвующих в разработке, проверке, передаче, приёме, обработке и внедрении информации в тренировочный процесс спортсменов. Субъектами и носителями спортивной информации, заинтересованными в конфиденциальности методических, фармакологических, технических разработок, выступают компании по проектированию и внедрению спортивно-тренажёрного оборудования, федерации и объединения, спортивные ассоциации, отдельные тренеры и спортсмены [5, 6].

Достижение безопасности информации в сфере спорта обусловлено воздействием трёх групп условий:

– обеспечение легитимности пользователей информационным контентом;

– достижение интегративности и предупреждение возможности искажения и несанкционированной трансформации информационных массивов;

– обеспечение гарантированной возможности работы с информационными материалами законным пользователям.

Реализация условий обеспечения защиты информации требует адекватных суммарных инвестиционных затрат, обеспечивающих кумулятивный эффект предпринятых мер и организационных действий ответственных сотрудников. Вложенные средства могут превышать величину преференций, получаемых от проводимых мероприятий по защите информационного капитала. Предпосылками решения задач выступает исследование экзогенных факторов энтропии и глобализации, влияющих на эффективность защиты информации в сфере спорта [7, 8].

Цель работы – исследование факторов конкурентной среды, влияющих на обеспечение информационной безопасности в сфере спорта.

Организация и методы исследования

Выявление факторов, обусловливающих стимулы и алгоритмы защиты информации, сопряжённых с повышением конкурентоспособности российского спорта, проведено на основе мета-анализа литературы, процессов и социально-технологических механизмов развития системы информационной безопасности спортивной отрасли. В задачи исследования входило определение структуры информационных объектов, включённых

в сферу обмена данными, оценка её потенциала, выявление ранговой структуры факторов конкурентной среды, влияющих на обеспечение информационной безопасности в сфере спорта.

Для диагностирования основных факторов по защите информации в сфере спорта, а также каналов утечки проведено анкетирование компетентных экспертов в области физической культуры и спорта – менеджеров, маркетологов, организаторов, медиа-специалистов, функционеров, тренеров и соревнующихся атлетов. За период исследования изучено мнение 56 респондентов в возрасте от 25 до 56 лет. Исследование длилось в течение шести месяцев.

Для формирования системного представления о динамике прохождения информации от транслятора к потребителю использован междисциплинарный подход.

Результаты и их обсуждение

В ходе исследования были рассмотрены возможные сведения, имеющие непосредственное отношение к спортивной тренировке, нарушение безопасности которых может принести ущерб подготовленности и состоянию здоровья спортсмена, проходящего подготовку к ответственным состязаниям.

Установлено, что конфиденциальную информацию могут составлять следующие данные:

– показатели физической, технической и психологической подготовленности, физического здоровья и психолого-эмоционального состояния спортсмена;

– авторские тренировочные программы, содержащие методическую информацию, технологические инновации, объём и спецификацию тренировочной нагрузки;

– документация на тренажёрные устройства и средства, используемые в тренировочном процессе и имеющие патенты на их изобретение, а также способы применения;

– базы текущего, промежуточного и предсоревновательного тестирования функционального состояния и физической готовности спортсмена по этапам многолетней спортивной тренировки;

– архивы электронных спортивных и общественных организаций;

– документы текущего, оперативного и многолетнего планирования подготовки спортсмена;

– результаты научных исследований, раскрывающих актуальные физиологические закономерности становления и развития спортивной формы;

– финансовая информация и аналитика, раскрывающая затраты, целевые вложения и структуру финансирования спортивных клубов и команд;

– разработки спортивной медицины, направленные на мобилизацию резервных возможностей и эффективное протекание восстановительных и адаптационных реакций в организме.

Исходя из перечня возможных конфиденциальных сведений по аспектам спортивной тренировки и организации тренировочного процесса, проведено анкетирование специалистов в области спорта по исследованию ранговой структуры факторов, влияющих на эффективность обеспечения информационной безопасности в сфере спорта высших достижений, результаты которого представлены в таблице.

Таблица

Ранговая структура факторов, влияющих на эффективность обеспечения информационной безопасности в сфере спорта высших достижений (n=56)

Ранговое место (значимость)	Факторы	Ранговый показатель (%)
1	Разработка и внедрение системы мероприятий по обеспечению информационной безопасности в сфере спорта	27,7
2	Разделения контента получения тренировочной информации в рамках служебных полномочий тренера, врача, психолога, менеджера команды	22,3
3	Систематическое и комплексное соблюдение мер защиты личной информации на всех этапах подготовки спортсмена	16,6
4	Противодействие случаям употребления допинговых средств в тренировочном процессе	13,4
5	Выполнение законодательных положений, ограничивающих разглашение показателей готовности спортсменов	11,4
6	Создание положительного нравственно-психологического климата в спортивной команде	8,6

В качестве главных факторов, влияющих на эффективность обеспечения информационной безопасности в сфере спорта высших достижений, респонденты отметили разработку и внедрение системы мероприятий по обеспечению информационной безопасности в сфере спорта; разделение контента получения тренировочной информации в рамках служебных полномочий тренером, врачом, психологом, менеджером команды. Основными факторами являются: систематическое и комплексное соблюдение мер защиты личной информации на всех этапах подготовки спортсмена, противодействие случаям употребления допинговых средств в тренировочном процессе. Важно учитывать и такие факторы, как выполнение законодательных положений [9], ограничивающих разглашение показателей готовности спортсменов, создание положительного нравственно-психологического климата в спортивной команде.

Приоритетность обеспечения безопасности обусловлена одновременным учётом всего комплекса социокультурных и технологических факторов, мотивирующих инклюзию всех категорий специалистов в реализацию технических и организационных мер соблюдения основных признаков защиты информации.

Фактор разработки и внедрение системы мероприятий по обеспечению информационной безопасности в сфере спорта учитывается как:

– недопущение проникновения на спортивные объекты посторонних лиц, их наблюдения и получения фото и видеоматериалов индивидуального тренировочного процесса спортсменов и командных взаимодействий при отработке тактических схем игры;

– организация работы, подбор и расстановка обеспечивающего персонала (технических работников, медицинских сотрудников, секретарей и администраторов);

– организация работы с протоколами соревнований, текущими и перспективными планами подготовки спортсменов, включая организацию разработки и использования тренировочных программ, планов и стратегий методического характера;

– применение технических средств для получения, систематизации и хранения тренировочной информации по объёму, направленности и содержанию тренировочных нагрузок;

– осуществление контроля работы тренерского персонала с тренировочными данными, планов и стратегий подготовки спортсменов.

Позитивные тенденции организационных мероприятий просматриваются в специфических для данного вида спорта и уровня подготовленности спортсмена и команды

формы и содержания, направленные на обеспечение информационной безопасности новой конфигурации подготовки спортсмена.

Установление разграничения доступа к информационным ресурсам в рамках полномочий, необходимых для выполнения служебных обязанностей тренером, врачом, психологом, менеджером команды, заключается в составлении контракта с уполномоченным лицом (администратором команды или агентом спортсмена), существенным условием которого является обязанность уполномоченного лица обеспечить конфиденциальность и безопасность персональных данных спортсмена. Систематическое и комплексное соблюдение мер защиты личной информации на всех этапах подготовки спортсмена о данных объёма, нагрузки, перечня тренировочных средств, физиологических показателей достигается путем исключения несанкционированного, в том числе случайного, доступа к персональным данным, результатом которого может стать уничтожение, изменение, блокирование, копирование и распространение персональных данных.

Выполнение законодательных положений, ограничивающих разглашение показателей интегральной готовности на всех этапах подготовки спортсмена заключается в предотвращении несанкционированного доступа ко всем видам подготовки спортсмена, включая фармакологическую составляющую восстановления и реабилитации физического, психического и функционального состояния спортсмена; предупреждение фактов оглашения персональных данных, в том числе и со стороны болельщиков и заинтересованных лиц; препятствии действиям разрушительного характера, приводящим к порче и повреждению спортивных снарядов, тренажёров, в результате которого может быть нарушено их функционирование; своевременном восстановлении персональных данных, изменённых или утраченных вследствие несанкционированного доступа.

Противодействие случаям употребления допинговых средств в подготовке спортсменов включает в себя ряд мероприятий:

– проведение допинг-контроля;

– установление ответственности спортсменов, тренеров, иных специалистов в области физической культуры и спорта за нарушение антидопинговых правил;

– предупреждение применения запрещенных субстанций и (или) запрещенных методов;

– повышение квалификации специалистов, проводящих допинг-контроль;

– включение в дополнительные образовательные программы образовательных организаций, осуществляющих деятельность в области физической культуры и спорта, разделов об антидопинговых правилах, о последствиях допинга в спорте для здоровья спортсменов, об ответственности за нарушение антидопинговых правил;

– проведение антидопинговой пропаганды в средствах массовой информации;

– проведение научных исследований, направленных на предотвращение допинга в спорте и борьбу с ним;

– проведение научных исследований по разработке средств и методов восстановления работоспособности спортсменов;

– оказание федеральным органом исполнительной власти в области физической культуры и спорта, общероссийской антидопинговой организацией содействия органам исполнительной власти субъектов Российской Федерации в антидопинговом обеспечении спортивных сборных команд субъектов Российской Федерации;

– установление ответственности физкультурно-спортивных организаций за нарушение условий проведения допинг-контроля, предусмотренных порядком проведения допинг-контроля;

– осуществление международного сотрудничества в области предотвращения допинга в спорте и борьбы с ним.

Высокая степень интеграции конструкта информационной безопасности в систему мер, ограничивающих разглашение показателей готовности спортсменов, повышает ценностную значимость постоянного контроля за обеспечением уровня защищенности

персональных данных спортсменов и спортивных команд. Для разработки и осуществления мероприятий по обеспечению безопасности персональных данных при их обработке в информационных системах оператором может назначаться структурное подразделение или должностное лицо, ответственное за обеспечение безопасности персональных данных.

Заключение

Информационная безопасность в сфере спорта высших достижений характеризуется наличием объективно действующих факторов конкурентной среды, влияющих на эффективность защиты информации в сфере спорта. В контексте анализа причинной обусловленности информационной безопасности исследовательский вектор сосредоточен на изучении факторных признаков, обусловливающих стимулы и алгоритмы защиты информации, касающейся системы подготовки спортсменов, разработок спортивной медицины, тренажёрных устройств и средств повышения работоспособности в спорте.

Факторами, влияющими на эффективность обеспечения информационной безопасности в сфере спорта высших достижений, являются: внедрение системы мероприятий по обеспечению информационной безопасности в сфере спорта; разделение контента получения тренировочной информации в рамках служебных полномочий тренером, врачом, психологом, менеджером команды; систематическое и комплексное соблюдение мер защиты личной информации на всех этапах подготовки спортсмена; противодействие случаям употребления допинговых средств в тренировочном процессе; выполнение законодательных положений, ограничивающих разглашение показателей готовности спортсменов; создание положительного нравственно-психологического климата в спортивной команде.

Список источников

1. Понимасов О.Е. Безопасные спортивные инструменты в курсе преподавания в специализированных вузах физической культуры // Актуальные проблемы правового регулирования спортивных отношений: материалы XII Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. сохранению гуманистических ценностей спорта. Челябинск, 2022. С. 150–153.

2. Григорьев О.М., Матвеев В.В. Аспект информационной безопасности в исследовании демографических процессов // Национальная безопасность и стратегическое планирование. 2018. № 4 (24). С. 83–87. EDN YTPZZJ.

3. Понимасов О.Е. Перспективные направления стратегии развития физической культуры и спорта в Российской Федерации // Актуальные проблемы правового регулирования спортивных отношений. Челябинск, 2020. С. 90–96.

4. Понимасов О.Е. Конструктивные механизмы развития физической культуры и спорта в Российской Федерации // Экспериментальная и инновационная деятельность – потенциал развития отрасли физической культуры и спорта: материалы Всерос. науч.-практ. конф. Чайковский, 2020. С. 131–137.

5. Зюкин А.В., Понимасов О.Е. Акценты преподавания безопасности спорта в специализированных вузах физической культуры // Физическая культура и спорт в образовательном пространстве: инновации и перспективы развития: сб. материалов Всерос. науч.-практ. конф. «Герценовские чтения». СПб., 2022. С. 153–156.

6. Таскин Р.И., Мишнева С.Д., Симонова И.М. Использование современных информационных технологий в спорте // Проблемы развития физической культуры и спорта в новом тысячелетии: материалы IV Междунар. науч.-практ. конф. Екатеринбург: Издательский дом «ВШЭ», 2015. С. 127–129.

7. Кирьянова Л.А., Морозова Л.В., Кузнецов П.К. Информационная безопасность в сфере физической культуры и спорта // Учёные записки университета имени П.Ф. Лесгафта. 2018. № 9 (163). С. 144–148.

8. Черепанова Е.С., Печерица Е.В. Нейтрализация угроз информационной безопасности в образовательных учреждениях // Здоровье – основа человеческого потенциала: проблемы и пути их решения. 2021. Т. 16. № 4. С. 1742–1748. EDN WBEPEA.

9. Бородушко И.В. Соблюдение прав человека при обеспечении информационной безопасности в Российской Федерации // Проблемы защиты прав: история и современность: материалы XVI Междунар. науч.-практ. конф. СПб.: Ленинград. гос. ун-т им. А.С. Пушкина, 2022. С. 98–101. EDN CKNUQW.

References

1. Ponimasov O.E. Bezopasnye sportivnye instrumenty v kurse prepodavaniya v specializirovannyh vuzah fizicheskoj kul'tury // Aktual'nye problemy pravovogo regulirovaniya sportivnyh otnoshenij: materialy XII Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., posvyashch. sohraneniyu gumanisticheskih cennostej sporta. Chelyabinsk, 2022. S. 150–153.

2. Grigor'ev O.M., Matveev V.V. Aspekt informacionnoj bezopasnosti v issledovanii demograficheskih processov // Nacional'naya bezopasnost' i strategicheskoe planirovanie. 2018. № 4 (24). S. 83–87. EDN YTPZZJ.

3. Ponimasov O.E. Perspektivnye napravleniya strategii razvitiya fizicheskoj kul'tury i sporta v Rossijskoj Federacii // Aktual'nye problemy pravovogo regulirovaniya sportivnyh otnoshenij. Chelyabinsk, 2020. S. 90–96.

4. Ponimasov O.E. Konstruktivnye mekhanizmy razvitiya fizicheskoj kul'tury i sporta v Rossijskoj Federacii // Eksperimental'naya i innovacionnaya deyatel'nost' – potencial razvitiya otrasli fizicheskoj kul'tury i sporta: materialy Vseros. nauch.-prakt. konf. Chajkovskij, 2020. S. 131–137.

5. Zyukin A.V., Ponimasov O.E. Akcenty prepodavaniya bezopasnosti sporta v specializirovannyh vuzah fizicheskoj kul'tury // Fizicheskaya kul'tura i sport v obrazovatel'nom prostranstve: innovacii i perspektivy razvitiya: sb. materialov Vseros. nauch.-prakt. konf. «Gercenovskie chteniy». SPb., 2022. S. 153–156.

6. Taskin R.I., Mishneva S.D., Simonova I.M. Ispol'zovanie sovremennyh informacionnyh tekhnologij v sporte // Problemy razvitiya fizicheskoj kul'tury i sporta v novom tysyacheletii: materialy IV Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. Ekaterinburg: Izdatel'skij dom «VSHE», 2015. S. 127–129.

7. Kir'yanova L.A., Morozova L.V., Kuznecov P.K. Informacionnaya bezopasnost' v sfere fizicheskoj kul'tury i sporta // Uchyonye zapiski universiteta imeni P.F. Lesgafta. 2018. № 9 (163). S. 144–148.

8. Cherepanova E.S., Pecherica E.V. Nejtralizaciya ugroz informacionnoj bezopasnosti v obrazovatel'nyh uchrezhdeniyah // Zdorov'e – osnova chelovecheskogo potenciala: problemy i puti ih resheniya. 2021. T. 16. № 4. S. 1742–1748. EDN WBEPEA.

9. Borodushko I.V. Soblyudenie prav cheloveka pri obespechenii informacionnoj bezopasnosti v Rossijskoj Federacii // Problemy zashchity prav: istoriya i sovremennost': materialy XVI Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. SPb.: Leningrad. gos. un-t im. A.S. Pushkina, 2022. S. 98–101. EDN CKNUQW.

Информация о статье:
Статья поступила в редакцию: 13.02.2023; одобрена после рецензирования: 25.02.2023; принята к публикации: 28.02.2023

The information about article:
The article was submitted to the editorial office: 13.02.2023; approved after review: 25.02.2023; accepted for publication: 28.02.2023

Информация об авторах:
Аганов Сергей Самуилович, профессор кафедры философии и социальных наук Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), доктор педагогических наук, профессор, заслуженный работник физической культуры, e-mail: aganov.s@igps.ru, https://orcid.org/0000-0002-1284-3780
Понимасов Олег Евгеньевич, профессор кафедры физической культуры и спорта Северо-Западного института управления РАНХиГС (199034, Санкт-Петербург, Средний пр. В.О., д. 57/43), доктор педагогических наук, доцент, https://orcid.org/0000-0001-8215-8730
Пылаев Сергей Михайлович, доцент кафедры физической культуры Государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова (198035, Санкт-Петербург, ул. Двинская, д. 5/7), кандидат педагогических наук, доцент, https://orcid.org/0000-0003-4764-6186

Information about the authors:
Aganov Sergey S., professor of the department of philosophy and social sciences of the of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), doctor of pedagogical sciences, professor, honored worker of physical culture, e-mail: aganov.s@igps.ru, https://orcid.org/0000-0002-1284-3780
Ponimasov Oleg E., professor of the department of physical culture and sports of the Northwest institute of management of the Russian academy of national economy and public administration (199034, Saint-Petersburg, Sredny ave. V.O., 57/43), doctor of pedagogical sciences, associate professor, https://orcid.org/0000-0001-8215-8730
Pylaev Sergey M., associate professor of the department of physical culture of the State university of sea and river fleet admiral S.O. Makarova (198035, Saint-Petersburg, Dvinskaya str., 5/7), candidate of pedagogical sciences, associate professor, https://orcid.org/0000-0003-4764-6186

ЭКОНОМИКА, СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Научная статья
УДК 338.24.01; 338.47; 629.73.018

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

✉Гетманцев Алексей Юрьевич.
Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), филиал «Взлет», г. Ахтубинск, Россия
✉tomamens @mail.ru

Аннотация. Рассмотрены аспекты, влияющие на уровень надежности новых разработок в области беспилотной авиации, показана роль сложных многоэтапных испытаний, которые существенно повышают безопасность эксплуатации беспилотных летательных аппаратов. Обосновывается, что малейшая недоиспытанность опытных образцов беспилотных летательных аппаратов отрицательно отражается на всей серии при их массовом производстве, подвергая необоснованному риску людей, объекты инфраструктуры, промышленные объекты и сами беспилотные летательные аппараты с целевой нагрузкой. Приведен анализ составляющих экономической эффективности мероприятий по обеспечению безопасности применения беспилотных летательных аппаратов и рассмотрены особенности оценки экономического эффекта и затрат на их использование на примере беспилотных летательных аппаратов самолетного типа, а также предложены пути повышения эффективности указанных мероприятий. Для подтверждения верности рассмотренных подходов приведены аналитические зависимости, и выполнен примерный расчет эффективности мероприятий по обеспечению безопасного применения беспилотных летательных аппаратов.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, безопасность, эффективность, затраты, структура затрат по статьям калькуляции

Для цитирования: Гетманцев А.Ю. Оценка эффективности мероприятий по обеспечению безопасности применения беспилотных летательных аппаратов // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2023. № 1. С. 157–170.

Scientific article

EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF MEASURES TO ENSURE THE SAFETY OF THE USE OF UNMANNED AERIAL VEHICLES

✉Getmantsev Alexey Yu.
Moscow aviation institute (national research university), branch «Vzlet», Akhtubinsk, Russia
✉tomamens@mail.ru

Abstract. Aspects affecting the level of reliability of new developments in the field of unmanned aviation are considered, the role of complex multi-stage tests that significantly increase the safety of operation of unmanned aerial vehicles is shown. It is proved that the slightest lack of testing of prototypes of unmanned aerial vehicles negatively affects the entire series during their mass production, exposing people, infrastructure facilities, industrial facilities and unmanned aerial vehicles themselves to unreasonable risk with a target load. The analysis of the components of the economic

© Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2023

efficiency of measures to ensure the safety of the use of unmanned aerial vehicles is given and the features of assessing the economic effect and costs of their use are considered on the example of unmanned aerial vehicles of the aircraft type, as well as ways to increase the effectiveness of these measures are proposed. To confirm the correctness of the considered approaches, analytical dependencies are given and an approximate calculation of the effectiveness of measures to ensure the safe use of unmanned aerial vehicles is performed.

Keywords: unmanned aerial vehicle, safety, efficiency, costs, cost structure by calculation items

For citation: Getmantsev A.Yu. Evaluation of the effectiveness of measures to ensure the safety of the use of unmanned aerial vehicles // Scientific and analytical journal «Vestnik Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia». 2023. № 1. P. 157–170.

Введение

Развитие авиации идет одновременно стремительно и незаметно. Эти противоречивые характеристики, с одной стороны, определяются высокой конкуренцией среди разработчиков авиационных комплексов и летательных аппаратов, а с другой – большими сроками их эксплуатации.

Потребность в высокой рентабельности достаточно рискованных и дорогостоящих проектов по внедрению в различные сферы производственной деятельности беспилотных летательных аппаратов (БЛА, дронов) [1] требует их высокой надежности при большой интенсивности полетов. Это достигается качественной проверкой как отдельных составных частей, так и опытных образцов в целом в ходе их наземных и летных испытаний и последующей сертификации [2]. Каждый день появляются новые варианты практического применения БЛА – это мойщики окон небоскребов, патрульные средства мониторинга пожароопасной обстановки в лесопарковой зоне городов, летающие пастухи отар овец и охотники за волками одновременно, беспилотные полностью автоматические средства визуального, инфракрасного и ультразвукового контроля целостности больших самолетов, высокоманевренные средства пожаротушения в многоярусных складских помещениях, летающие вулканологи и т.д. Однако, помимо сугубо мирного применения БЛА, необходимо упомянуть о рисках и инцидентах, связанных с их криминальным использованием [3]: контрабанда запрещённых веществ и предметов, создание помех воздушному движению, терроризм на ядерных объектах, шпионаж; вторжение в частную жизнь, что является недопустимым и пресекается законодательно [4–9].

Непосредственно процесс оценки качества БЛА распадается на три основные составляющие – это проверка характеристик целевого оборудования, проверка летно-технических характеристик БЛА и комплексная оценка выполнения всех требований по назначению в реальных условиях применения. Такое деление позволяет оперативно менять решаемые задачи и целевое оборудование с введением его в эксплуатацию в сжатые сроки. Высокая надежность новых разработок, подтверждаемая в ходе испытаний, существенно повышает безопасность эксплуатации БЛА, а малейшая недоиспытанность, растиражированная при серийном изготовлении БЛА, подвергает риску находящихся в зоне аварийного падения БЛА людей, объекты инфраструктуры, промышленное оборудование, грозит полным уничтожением самого БЛА, зачастую имеющим вместе с целевой нагрузкой очень высокую стоимость.

БЛА, относящиеся к авиации шестого поколения, управляются дистанционно оператором или совершают полеты полностью в автоматическом режиме, однако во время полетов должны полностью соблюдаться Федеральные авиационные правила и установленный порядок использования БЛА [10]. По выполняемым задачам БЛА значительно расширили области практического применения авиации и исключили работу человека в опасных условиях (высота, ядовитые химические испарения, темное время суток, интенсивное дорожное или воздушное движение и т.д.). Однако новые возможности создают и новые, дополнительные риски безопасности, энтропия (степень неизвестности) информации о которых может быть понижена

в ходе испытаний и в процессе опытной эксплуатации. По большому счету, современные пилотируемые самолеты большую часть полетов выполняют полностью в автоматическом режиме – на автопилоте, что частично стирает четкую грань между пилотируемой и беспилотной авиацией.

Отдельно следует рассмотреть особенности рисков безопасности применения БЛА самолетного типа, которые во многом превосходят БЛА мультикоптерного типа: примерно в 6–10 раз большая грузоподъемность при сопоставимых размерах и массе, примерно во столько же раз большая скорость, дальность и продолжительность полета. Во многих странах (Китай, Израиль, США, Россия, Иран, Турция) [11] разработано и летает большое количество БЛА самолетного типа среднего и большого класса, находящихся в воздухе от нескольких часов до нескольких суток (например, российский БЛА «Альтиус-М» имеет дальность полета более 10 000 км и продолжительность полета более двух суток). При этом существенными недостатками этих БЛА становятся меньшая маневренность, невозможность неподвижно зависать над объектом, необходимость взлетно-посадочных полос или устройств катапультирования и посадки. Самолетный тип БЛА ввиду конструктивных и аэродинамических решений имеет аспекты опасности, не свойственные мультикоптерным или вертолетным схемам:

– большая инерционность вследствие высокой скорости и меньшей маневренности не позволяет резко менять курс или высоту для обхода внезапно возникающих препятствий;

– возможность выполнения длительного устойчивого горизонтального или планирующего полета при отказе системы управления и даже при израсходовании всего топлива;

– применение больших БЛА для перевозки грузов на значительные расстояния создает существенные риски уничтожения или поражения объектов человеческой жизнедеятельности в населенных пунктах в случае аварии БЛА, в том числе самим БЛА, перевозимым грузом или имеющимся на борту БЛА токсичным топливом.

Отдельно следует отметить риски, связанные с потерей управления любым типом БЛА при попадании в область электромагнитного противодействия дронам либо в неблагоприятные погодные условия.

Таким образом, высокие риски на различных стадиях жизненного цикла БЛА и необходимость проведения достаточно затратных мероприятий по поддержанию безопасности, особенно при испытаниях новых образцов БЛА среднего и большого класса, требуют разработки методики по оценке эффективности таких мероприятий.

Целью исследования является определение экономических факторов (эффекта, затрат и эффективности), отражающих поддержание в безопасном состоянии перспективной области использования БЛА различного функционального назначения для полетов средней и большой дальности.

В процессе исследования выполнены задачи:

– проведен анализ опасных факторов и рисков применения БЛА;

– выполнен анализ условий безопасного проведения испытаний БЛА, которые только-только «становятся на крыло» и поэтому являются наиболее опасными;

– разработана частная методика и приведен пример оценки эффективности мероприятий по обеспечению безопасности применения БЛА в процессе их испытаний;

– предложен подход к снижению рисков при использовании БЛА и к повышению эффективности мероприятий по повышению безопасности их испытаний и последующей эксплуатации.

Теоретические основы и методы расчета

В работе использовались классические методы экономико-статистического анализа, экспертных оценок и математического моделирования. Объектом исследования являются риски, связанные с безопасным применением БЛА большой дальности. Кроме того,

исследуются методы и способы повышения эффективности мероприятий по обеспечению безопасности испытаний опытных образцов БЛА (предшествующих этапу сертификации) и снижению различных видов затрат на их проведение, а также на последующую эксплуатацию. В первую очередь – на снижение прямого и косвенного ущерба в результате авиационной катастрофы или аварии БЛА, что реализуется за счет значительного увеличения информативности при обеспечении дополнительными средствами измерений и контроля безопасности, а также в непрерывном определении зоны наземной опасности и вынужденной ликвидации аварийных БЛА в случае реальной угрозы. Из-за резкого повышения интенсивности полетов авиационные катастрофы стали происходить все чаще. Так, только в 2022 г. из 14 авиакатастроф в России с пилотируемыми самолетами восемь привели к гибели экипажа или людей на земле [12]:

– 24 февраля – Ан-26 упал под г. Воронежем, погибли шесть членов экипажа;

– 21 июня – Су-25 рухнул близ границы с Украиной, пилот погиб;

– 21 июня – в г. Якутске упал Ан-2, из трех человек экипажа два погибли.

– 24 июня – экстренная вынужденная посадка Ил-76, после чего он загорелся, погибли пять членов экипажа;

– 8 августа – в Коми упал самолет Cessna, погибли три человека;

– 10 октября – крушение Су-25 в Ростовской области, пилот погиб;

– 17 октября – в г. Ейске Су-34 врезался в жилой дом, экипаж успел катапультироваться, однако на земле погибло 15 чел.;

– 23 октября – в г. Иркутске Су-30 упал на жилые дома, экипаж погиб.

Можно предположить, что при уравнивании с течением времени количества пилотируемых и беспилотных самолетов большого и среднего класса количество аварий с БЛА будет преобладать, ввиду отсутствия полного визуального контакта оператора с окружающей обстановкой, значительным зашумлением каналов радиоуправления, высокой вероятности столкновения беспилотных и пилотируемых летательных аппаратов, отсутствием прямой связи диспетчера управления воздушным движением с внешним пилотом БЛА, который может находиться в любой точке мира [2]. По этой причине вместе с ответственностью за надежность и испытанность новейших образцов БЛА возрастает объем капиталовложений в различные составляющие системы обеспечения их безопасного применения.

Результаты исследования и их обсуждение

Для выявления технико-экономических связей изучаемого вопроса далее рассматриваются результаты исследований, соединяющих воедино различные технические аспекты обеспечения безопасности, возникающие при испытаниях и эксплуатации новых типов БЛА, с экономическими составляющими.

Экономическая эффективность системы безопасности применения БЛА определяется достижимостью необходимого эффекта и степенью управляемости затратами в условиях значительной ограниченности материальных, людских и временных ресурсов. Технико-экономическая эффективность обычно определяется с использованием затратного подхода как отношение полученного эффекта к затратам [13]:

$$Эф = \frac{Э}{З}, \quad (1)$$

где Э – полученный эффект или полезный результат (например, подтверждение тактико-технических характеристик опытного образца БЛА); З – затраты (фактически израсходованные материальные, финансовые и трудовые ресурсы в стоимостном выражении).

Перечни элементов, отвечающих за экономический эффект и за затратную составляющую эффективности выполнения мероприятий по обеспечению безопасности,

формируются параллельно. Элементы рассчитываются в виде произведения абсолютной стоимости составляющей и вероятности ее возникновения [14].

Необходимо отметить, что в случае выхода БЛА за пределы зоны безопасности и высокого риска гибели или ранения людей за пределами разрешенной зоны полетов может быть выдана команда на уничтожение этого летательного аппарата (команда «рули в землю» или команда на разъединение в воздухе составных частей БЛА, приводящая к его незамедлительному падению).

Прямой эффект учитывает слагаемые:

1) вероятность неликвидации исправного БЛА ($P_{\text{ИСПР}}$), умноженная на стоимость самого БЛА ($\text{С}_{\text{БЛА}}$);

2) повышение качества беспилотных авиационных систем в стоимостном выражении ($\text{С}_{\text{КАЧ}}$), умноженное на соответствующие вероятности ($P_{\text{КАЧ}}$):

$$\text{Э}_{\text{ПР}} = P_{\text{ИСПР}} \cdot \text{С}_{\text{БЛА}} + P_{\text{КАЧ}} \cdot \text{С}_{\text{КАЧ}}. \quad (2)$$

Экономическая оценка безопасности испытаний и эксплуатации так же должна учитывать следующие косвенные факторы, формирующие косвенный эффект $\text{Э}_{\text{КОСВ}}$:

1) влияние безопасности испытаний на время выполнения опытно-конструкторской работы по созданию БЛА за счет применения рациональной схемы обеспечения безопасности испытаний, без вынужденных перерывов, приведенное на одну летную смену ($\text{Э}_{\text{ВР}}$);

2) влияние безопасности на исправность средств аэродромов и зоны полетов, приведенное на одну летную смену ($\text{Э}_{\text{ЗЛИ}}$);

3) влияние безопасности испытаний на полноту выполнения плана испытаний и сертификации летательных аппаратов в испытательной организации, приведенное на одну летную смену ($\text{Э}_{\text{ПЛАН}}$);

4) влияние безопасности испытаний на повышение их интенсивности, приведенное на одну летную смену ($\text{Э}_{\text{ИНТЕН}}$):

$$\text{Э}_{\text{КОСВ}} = \text{Э}_{\text{ВР}} + \text{Э}_{\text{ЗЛИ}} + \text{Э}_{\text{ПЛАН}} + \text{Э}_{\text{ИНТЕН}}. \quad (3)$$

Таким образом, при оценке эффективности повышения безопасности испытаний или эксплуатации при системном подходе должны учитываться прямой и косвенный эффекты:

$$\text{Э} = \text{Э}_{\text{ПР}} + \text{Э}_{\text{КОСВ}}. \quad (4)$$

Прямые затраты на проведение безопасного полета по программе летных испытаний или в процессе эксплуатации, а также на создание и эксплуатацию системы безопасности включают [14]:

1) вероятность выполнения целей полета при соблюдении требований безопасности ($P_{\text{ВЫП}}$), умноженная на стоимость проведения полета ($\text{С}_{\text{ПОЛЕТА}}$);

2) совокупность затрат на проектирование, изготовление, доставку, пуско-наладочные работы, эксплуатацию и поддержание в исправном состоянии систем контроля безопасности ($\text{З}_{\text{БЕЗ}}$);

3) расходы на оплату труда персонала, контролирующего отсутствие объектов опасности в ходе полета, а также производящего поиск и деактивацию опасных частей упавших аварийных БЛА ($\text{З}_{\text{ПЕРС}}$);

4) затраты на мероприятия обеспечения безопасности по модели ПОД (профилактика, оценка, дефекты), сформулированной А. Фейгенбаумом [15]:

– затраты на профилактику ($З_П$);
– затраты на оценивание ($З_О$);
– затраты на устранение дефектов ($З_Д$):

$$З_{под} = З_П + З_О + З_Д. \quad (5)$$

Расходы на профилактику можно оценить по формуле:

$$З_П = \sum C_i, \quad (6)$$

где C_i – расходы на реализацию мероприятия по повышению безопасности (замена технических средств на более безопасные, повышение квалификации персонала).

Расходы на оценку необходимых мероприятий по обеспечению безопасности, связанной с необходимостью прогнозирования рисков возникновения аварийных ситуаций с перспективными и существующими БЛА, можно представить следующей формулой:

$$З_О = З_c + \sum З_j, \quad (7)$$

где $З_c$ – расходы, связанные с ведением статистики в сфере безопасности испытаний и последующей эксплуатации; $З_j$ – расходы на дополнительную оценку безопасности отдельных факторов, влияющих на безопасность испытаний и последующей эксплуатации.

При расчетах затрат на устранение дефектов должны учитываться:

1) ущерб от утраты и повреждения других БЛА, пилотируемых летательных аппаратов на аэродроме или в воздухе, других объектов испытательного комплекса (средств измерений и зданий, в которых они располагаются), с учетом вероятности этого события ($P_{УТ\,i}$):

$$З_{Д\,УТ} = \sum P_{УТ\,i} \cdot n_{об\,i} \cdot Ц_{зi}, \quad (8)$$

где $n_{об\,i}$ – количество объектов i-го вида (летательных аппаратов, объектов испытательного аэродрома и т.д.), пострадавших в результате аварии БЛА, ед.; $Ц_{зi}$ – стоимость замены или восстановления соответствующего объекта с учетом затрат на доставку, монтаж или ремонт, повторный ввод в эксплуатацию, руб.;

2) стоимость ремонтно-восстановительных работ при полном или частичном уничтожении объектов в населенных пунктах или объектов инфраструктуры (дороги, линии электропередач, трубопроводы) в пределах и за пределами разрешенной зоны полетов ($C_{ВОС}$), умноженная на вероятность их уничтожения ($P_{УН}$):

$$З_{Д\,УН} = P_{УН} \cdot C_{ВОС}. \quad (9)$$

Вероятностный подход применяется и для расчетов косвенной затратной составляющей, расширяющей область затрат на устранение дефектов:

1) стоимость работ по возмещению ущерба окружающей среде, в том числе на рекультивацию земель, в случае негативного воздействия авиационного топлива, химических энергетических элементов и т.д. ($C_{ЭК}$), умноженная на вероятность возникновения такого события ($P_{ЭК}$). Ущерб формируется за счет непосредственного загрязнения атмосферы, почвы и воды при авариях или взрывах БЛА при аварийном уничтожении БЛА в воздухе или на земле. Вторичные воздействующие факторы – это возникающие пожары, ударная волна, загрязнение местных водоемов и т.д. Экономическая оценка нанесенного экологического ущерба (приведенная к одной летной смене) может быть выполнена путем расчета стоимости работ по очистке окружающей природной среды:

$$С_{ЭК} = \frac{[\sum t_i \cdot (n_i \cdot c_i + k_i \cdot c_{mi}) + \sum m_i]}{n_{см}}, \quad (10)$$

где t_i – необходимая длительность работ i-го вида; n_i – количество задействованного персонала; c_i – стоимость выполнения работ за единицу времени; k_i – количество задействованных единиц техники; c_{mi} – затраты на применение техники за единицу времени; m_i – стоимость материалов, необходимых для проведения работ; $n_{см}$ – количество летных смен за нормируемый период времени;

2) стоимость повторного проведения полета ($С_{ПОВТ}$) с учетом условной вероятности их возникновения ($P_{ПОВТ}$).

Кроме того, ущерб в ходе проведения летных испытаний БЛА или во время последующей эксплуатации будет возникать из-за сокращения количества и снижения качества используемых технических средств в случае их уничтожения или повреждения. В результате возникает потребность в дополнительных поставках оборудования, строительстве объектов инфраструктуры. Дефицит рассчитывается по формуле:

$$N_{ТС\,i} = \sum \frac{(F^{пл}_{ТС\,i} - F^{ф}_{ТС\,i}) \cdot N_i}{F^{ф}_{ТС\,i}}, \quad (11)$$

где $F^{пл}_{ТС\,i}$ и $F^{ф}_{ТС\,i}$ – плановая и фактическая величина производительности технических средств i-й категории; N_i – количество технических средств испытательного комплекса i-й категории в эксплуатации, ед.

Потребность в дополнительных затратах на повторное проведение полета:

$$С_{ПОВТ} = \sum Ц_i \cdot N_{ТС\,i}, \quad (12)$$

где $Ц_i$ – стоимость единицы технических средств i-й категории;

3) потери БЛА в стоимостном выражении определяются вероятностью ошибочной ликвидации исправного i-го БЛА ($P_{ЛИКВ\,i} = 1 - P_{ИСПР}$), умноженной на стоимость самого БЛА ($С_{БЛА\,i}$):

$$П_{БЛА} = \sum P_{ЛИКВ\,i} \cdot С_{БЛА\,i}; \quad (13)$$

4) величина затрат $П_{ОТЧ}$ на утилизацию неисправного БЛА ($С_{НЕИСП}$), упавшего за пределами разрешенной зоны, умноженная на условную вероятность такого события ($P_{НЕИСП}$) за одну смену:

$$П_{ОТЧ} = \sum P_{НЕИСП} \cdot С_{НЕИСП}; \quad (14)$$

5) потери, связанные с ранением или гибелью людей ($П_{ЧЕЛ}$). Предлагается оценивать ущерб как отношение стоимости конечных товаров и услуг, произведенных в нашей стране за год (ВВП) к численности экономически активного населения в стране (Ч), умноженное на количество пострадавших ($N_{чел\,i}$) и времени, необходимого на лечение и реабилитацию пострадавших ($Т_i$). Величина ВВП, которую теряет государство в течение одного года в результате гибели или ранения людей, определяется выражением:

$$П_{ЧЕЛ} = \frac{ВВП}{Ч} \cdot \frac{\sum Т_i}{365} \cdot N_{чел\,i}. \quad (15)$$

Прямые и косвенные затраты в сумме дадут следующий результат:

$$З = P_{ВЫП} \cdot С_{ПОЛЕТА} + З_{БЕЗ} + З_{ПЕРС} + З_{П} + З_{О} + З_{Д\,УТ} + З_{Д\,УН} + \\ + P_{ЭК} \cdot С_{ЭК} + P_{ПОВТ} \cdot С_{ПОВТ} + П_{БЛА} + П_{ОТЧ} + П_{ЧЕЛ}. \quad (16)$$

Достоверная калькуляция стоимости затрат и точное определение эффекта от реализации мероприятий по обеспечению безопасности испытаний и последующей эксплуатации образцов беспилотных авиационных систем возможны при тщательном учете трех основных групп издержек – материальных, трудовых и накладных.

Особо следует отметить, что главный фактор, резко увеличивающий эффект и существенно снижающий затраты на мероприятия по обеспечению безопасности испытаний БЛА большой дальности – это значительное сокращение размеров зоны испытаний, в которой наиболее вероятно нахождение БЛА (который до конца испытаний имеет высокую потенциальную опасность), что подтверждается результатами математического моделирования. Зона наземной опасности для БЛА с потенциальной дальностью полета R_{max} и разлета его фрагментов (осколков) в случае воздушного или наземного взрыва находящегося в нем топлива $R_{оск}$ без учета информации о наличии системы принудительной ликвидации, без контроля внешнетраекторными и радиотелеметрическими средствами, без учета данных о поведении БЛА на различных режимах полета соответствует площади круга радиусом $R_{max} + R_{оск}$:

$$S_{max} = \pi \cdot (R_{max} + R_{оск})^2. \quad (17)$$

Как показывает практика, в случае аварийных отказов аппаратуры системы управления беспилотных или пилотируемых летательных аппаратов самолетного типа, полет обычно завершается прямолинейным планирующим снижением до столкновения с землей или расположенными на ней объектами.

Поэтому, в случае выполнения аварийного снижения неисправного БЛА, с учетом максимально достижимой прямолинейной дальности с полностью исправными средствами контроля и системой ликвидации аварийного БЛА площадь зоны наземной опасности значительно сокращается:

$$S_{мод} = \pi \cdot \frac{(a+R_{оск}) \cdot (b+R_{оск})}{2} + R_{max} \cdot a, \quad (18)$$

где a – полуось эллипса рассеивания координат точек падения БЛА, перпендикулярная направлению его полета; b – вторая полуось эллипса рассеивания.

Аналогично определяется площадь зоны опасности и в случае криволинейного полета. Траектория снижения неисправного БЛА в процессе испытаний или эксплуатации должна непрерывно уточняться с последующим пересчетом в режиме реального времени возможной зоны падения. Коэффициент, показывающий во сколько раз уменьшилась площадь при использовании средств безопасности, определяется:

$$К = {S_{max}}/{S_{мод}}. \quad (19)$$

Таким образом, итоговая эффективность имеет вид:

$$Эф = К \cdot \frac{Э}{З}. \quad (20)$$

Ниже показан пример вычисления по формулам (1–20) эффекта, затрат и эффективности мероприятий по повышению безопасности испытаний и эксплуатации БЛА большой дальности из расчета на одну летную смену [16–18]. Ориентировочные значения показателей получены методом экспертных оценок [19].

Вероятность неликвидации исправного БЛА $P_{\text{ИСПР}} = 0{,}98$; стоимость экспериментального БЛА большой дальности $\text{С}_{\text{БЛА}} = 35$ млн руб.; повышение качества авиационных комплексов в стоимостном выражении $\text{С}_{\text{КАЧ}} = 120$ млн руб.; вероятность достижения этого эффекта $P_{\text{КАЧ}} = 0{,}997$.

Величина прямого эффекта:

$$\text{Э}_{\text{ПР}} = P_{\text{ИСПР}} \cdot \text{С}_{\text{БЛА}} + P_{\text{КАЧ}} \cdot \text{С}_{\text{КАЧ}} = 0{,}98 \cdot 35 + 120 \cdot 0{,}997 = 153{,}94 \text{ млн руб.}$$

Эффект от повышения безопасности:

– на опытно-конструкторской работе: $\text{Э}_{\text{ВР}}$ =1,2 млн руб.;

– на исправность средств зоны полетов или летных испытаний: $\text{Э}_{\text{ЗЛИ}}$ =0,9 млн руб.;

– на полноту выполнения плана полетов или испытаний (сертификации): $\text{Э}_{\text{ПЛАН}}$ =1,4 млн руб.;

– за счет увеличения интенсивности полетов или испытаний: $\text{Э}_{\text{ИНТЕН}} = 0{,}6$ млн руб.

Косвенный эффект:

$$\text{Э}_{\text{КОСВ}} = \text{Э}_{\text{ВР}} + \text{Э}_{\text{ЗЛИ}} + \text{Э}_{\text{ПЛАН}} + \text{Э}_{\text{ИНТЕН}} = 4{,}1 \text{ млн руб.}$$

Полный эффект, приведенный на одну летную смену, составляет:

$$\text{Э} = \text{Э}_{\text{ПР}} + \text{Э}_{\text{КОСВ}} = 153{,}94 + 4{,}1 = 158{,}04 \text{ млн руб.}$$

Прямые затраты на выполнение безопасного полета: вероятность выполнения целей полета при соблюдении требований безопасности $P_{\text{ВЫП}} = 0{,}995$, а его стоимость $\text{С}_{\text{ПОЛЕТА}} =$ 10,8 млн руб.

Прямые затраты на создание и эксплуатацию системы безопасности:

– затраты на создание и эксплуатацию систем $\text{З}_{\text{БЕЗ}} = 0{,}4$ млн руб.;

– расходы на оплату труда персонала: $\text{З}_{\text{ПЕРС}} = 0{,}18$ млн руб.;

– суммарные затраты на профилактику: $\text{З}_{\text{П}} = 0{,}6$ млн руб.;

– затраты на оценку безопасности: $\text{З}_{\text{О}} = \text{З}_c + \sum \text{З}_j = 0{,}04$ млн руб.;

– количество объектов, пострадавших в результате аварии БЛА, $n_{\text{об}\,i} = 1$

– стоимость замены объекта с учетом затрат на доставку $\text{Ц}_{\text{з}i}$=28,4 млн руб.;

– вероятность утраты и повреждения других летательных аппаратов и объектов $P_{\text{УТ}\,i} = 0{,}015$;

– ущерб от повреждения и утраты ЛА и других объектов:

$$\text{З}_{\text{Д УТ}} = \sum P_{\text{УТ}\,i} \cdot n_i \cdot \text{Ц}_{\text{з}i} = 0{,}015 \cdot 1 \cdot 28{,}4 = 0{,}426 \text{ млн руб.}$$

Стоимость ремонтно-восстановительных работ $\text{С}_{\text{ВОС}} = 35{,}7$ млн руб.; вероятность уничтожения $P_{\text{УН}}$ =0,00001;

$$\text{З}_{\text{Д УН}} = P_{\text{УН}} \cdot \text{С}_{\text{ВОС}} = 0{,}00001 \cdot 35{,}7 = 0{,}000357 \text{ млн руб.}$$

Вероятность возникновения ущерба окружающей среде $P_{\text{ЭК}} = 0{,}006$; длительность работ t_i=12 дней; количество задействованного персонала n_i=5 чел.; стоимость выполнения работ за день с_i = 0,01 млн руб.; количество задействованных единиц техники k_i=3; затраты на применение техники за день с_{mi}= 0,06 млн руб.; стоимость материалов для проведения работ m_i=1,4 млн руб.; количество летных смен за период (один год) $n_{\text{см}}$= 200; стоимость работ по возмещению ущерба окружающей среде:

$$\text{С}_{\text{ЭК}} = \frac{[\sum t_i \cdot (n_i \cdot \text{с}_i + k_i \cdot \text{с}_{mi}) + \sum m_i]}{n_{\text{см}}} = \frac{12 \cdot (5 \cdot 0{,}01 + 3 \cdot 0{,}06) + 1{,}4}{200} = 0{,}0208 \text{ млн руб.}$$

Среднее количество технических средств экспериментально-испытательной базы, требуемое для повтора полета N_i =11; средняя стоимость эксплуатации единицы технических средств с учетом увеличенного времени ожидания из-за их дефицита $Ц_i$ =1,1 млн руб.; вероятность повторного проведения полета $P_{ПОВТ} = 0{,}01$; дополнительные затраты на повторное проведение полета:

$$С_{ПОВТ} = \sum Ц_i \cdot N_{ТС\,i} = 1{,}1 \cdot 11 = 12{,}1 \text{ млн руб.}$$

Стоимость повторного проведения полета выше стоимости первого полета из-за внепланового дефицита технических средств $С_{ПОВТ} > С_{ПОЛЕТА}$.

Вероятность ошибочной ликвидации исправного БЛА: $P_{ЛИКВ} = 1 - P_{ИСПР} = 0{,}02$; потери БЛА в стоимостном выражении:

$$П_{БЛА} = \sum P_{ЛИКВ\,i} \cdot С_{БЛА\,i} = 0{,}02 \cdot 35 = 0{,}7 \text{ млн руб.}$$

Затраты на ликвидацию одного БЛА за пределами разрешенной зоны полетов или испытаний $С_{НЕИСП} = 0{,}07$ млн руб.; условная вероятность падения БЛА за пределами разрешенной зоны полетов или испытаний $P_{НЕИСП} = 0{,}001$; величина затрат на уничтожение неисправного БЛА:

$$П_{ОТЧ} = С_{НЕИСП} \cdot P_{НЕИСП} = 0{,}07 \cdot 0{,}001 = 0{,}00007 \text{ млн руб.}$$

Стоимость конечных товаров и услуг, произведенных в стране за год $ВВП = 130{,}8$ трлн руб. =130 800 000 млн руб.; численность экономически активного населения в стране $Ч = 71{,}9$ млн чел.; количество пострадавших $N_{чел\,i}$ =2, время на их лечение $Т_i = 20$ дней; потери, связанные с ранением людей:

$$П_{ЧЕЛ} = \frac{ВВП}{Ч} \cdot \frac{\sum Т_i}{365} \cdot N_{чел\,i} = \frac{130.800.000}{71{,}9} \cdot \frac{20}{365} \cdot 2 = 200\,111 \text{ руб.} \approx 0{,}200 \text{ млн руб.}$$

Прямые и косвенные затраты:

$$З = P_{ВЫП} \cdot С_{ЛЭ} + З_{БЕЗ} + З_{ПЕРС} + З_{П} + З_{О} + З_{Д\,УТ} + З_{Д\,УН} + P_{ЭК} \cdot С_{ЭК} +$$
$$+P_{ПОВТ} \cdot С_{ПОВТ} + П_{БЛА} + П_{ОТЧ} + П_{ЧЕЛ} =$$
$$= 0{,}995 \cdot 10{,}8 + 0{,}4 + 0{,}18 + 0{,}6 + 0{,}04 + 0{,}426 + 0{,}000357 +$$
$$+0{,}006 \cdot 0{,}0208 + 0{,}01 \cdot 12{,}1 + 0{,}7 + 0{,}00007 + 0{,}2 \approx 13{,}41 \text{ млн руб.}$$

Предельная дальность полета БЛА $R_{max} = 30$ км; дальность разлета осколков БЛА при взрыве топлива $R_{оск}$ =0,2 км.

Площадь зоны наземной опасности для БЛА без применения высокоточных средств контроля и управления:

$$S_{max} = \pi \cdot (R_{max} + R_{оск})^2 = 3{,}14 \cdot (R_{max} + R_{оск})^2 = 2863{,}81 \text{ км}^2.$$

Первая полуось эллипса рассеивания a =20 км, а вторая – $b = 3$ км.

Площадь зоны наземной опасности:

$$S_{мод} = \pi \cdot \frac{(a+R_{оск})\cdot(b+R_{оск})}{2} + R_{max} \cdot a = 3{,}14 \cdot \frac{(20+0{,}2)\cdot(3+0{,}2)}{2} + 30 \cdot 20 = 701{,}48 \text{ км}^2.$$

Коэффициент, показывающий во сколько раз уменьшилась площадь в случае активного применения средств контроля безопасности:

$$К = {S_{max}}/{S_{мод}} = \frac{2863{,}81}{701{,}48} = 4{,}08.$$

Технико-экономическая эффективность испытаний и эксплуатации без учета коэффициента уменьшения площади:

$$Эф = \frac{Э}{З} = \frac{158,04}{13,41} = 11,8.$$

Итоговая эффективность с учетом коэффициента будет во много раз больше:

$$Эф = К \cdot \frac{Э}{З} = 4,08 \cdot \frac{158,04}{13,41} = 48,14.$$

Полученные результаты подтверждают как высокую экономическую эффективность применения БЛА, так и возможность дальнейшего совершенствования системы обеспечения безопасности сертификационных и других видов испытаний и последующей эксплуатации. Безусловно, математическая модель, положенная в основу методики оценки эффективности, может быть дополнена и уточнена. Для получения достоверных количественных значений эффективности принимаемых технических решений, направленных на повышение безопасности, требуется точный и непрерывный учет элементов, отражающих затратную и эффектную стороны исследуемого процесса. В случае накопления достаточно большого опыта при проведении летных испытаний и эксплуатации БЛА может применяться и альтернативный (сравнительный) подход определения эффективности, когда учитывается соответствие рассчитываемого варианта всей имеющейся информации по ранее проведенным летным испытаниям и эксплуатации БЛА с учетом полученных результатов и наиболее существенных факторов, повлиявших на них.

Заключение

Полеты беспилотных и пилотируемых летательных аппаратов всегда происходят в условиях риска и неопределенности. Принятие решения о полной замене авиационных систем исключительно на беспилотные варианты требует заблаговременной проработки вопросов обеспечения максимальной безопасности. Наиболее остро проблема стоит с безопасностью в процессе испытаний и эксплуатации БЛА самолетного типа, обладающих большой массой и скоростью, достигающих больших высот и дальности полета, заправленных токсичным авиационным топливом и перевозящих опасные грузы. Авиационная катастрофа любого из них может привести к большим разрушениям и жертвам на земле. Поэтому применение новых технико-экономических и информационно-технологических решений в виде разработанной методики оценки эффективности мероприятий по обеспечению безопасности полетов БЛА позволит в некоторой степени минимизировать неблагоприятные последствия от чрезвычайных ситуаций с БЛА. Проблема повышения эффективности решений должностных лиц при обеспечении безопасности на этапах испытаний и эксплуатации беспилотных авиационных систем имеет высокую степень практической значимости. Дальнейшие исследования могут быть направлены на разработку методов и способов как повышения безопасности испытаний и эксплуатации, так и на совершенствование моделей оценки техногенных рисков применения БЛА.

Список источников

1. Сферы применения беспилотных летательных аппаратов. URL: https://docs.geoscan.aero/ru/master/database/base-module/sphere/sphere.html (дата обращения: 03.11.2022).

2. Бабинцев Г. Безопасность полетов беспилотных воздушных судов: десять неотложных задач. URL: https://www.tbforum.ru/blog/bezopasnost-poletov-bespilotnykh-vozdushnykh-sudovdesyat-neotlozhnykh-zadach (дата обращения: 03.11.2022).

3. Антидроны: разработчики и продавцы защиты от беспилотников в 2021 году. URL: https://habr.com/ru/post/576002 (дата обращения: 03.11.2022).

4. De la BAUME, Maïa Unidentified Drones Are Seen Above French Nuclear Plants. The New York Times (2014, 3 Novemb.). URL: www.nytimes.com/2014/11/04/world/europe/unidentified-drones-are-spotted-above-french-nuclear-plants.html?_r=0 (дата обращения: 03.11.2022).

5. UNSOLVED MYSTERIES (2020, JAN. 11). Who's Behind Those Mystery Drone Swarms? An Investigation // URL: https/nymag.com/intelligencer/ 2020/01/whos-behind-those-mystery-drone-swarms-an-investigation.html (дата обращения: 03.11.2022).

6. After Drone Hits Plane in Canada, New Fears About Air Safety/ The New York Times (2017, Oct. 17). URL: www.nytimes.com/2017/10/17/ world/canada/canada-drone-plane.html (дата обращения: 03.11.2022).

7. John Goglia. NTSB Finds Drone Pilot At Fault For Midair Collision With Army Helicopter (2017, Dec. 14). URL: https/www.forbes.com/sites/johngoglia/2017/12/14/ntsb-finds-drone-pilot-at-fault-for-midair-collision-with-army-helicopter/#22b9b11f7b3f (дата обращения: 03.11.2022).

8. A drone collided with power lines in West Hollywood, causing a power cut to 700 Southern California Edison customers (2015, Dec. 5). URL: https/www.buffalonews.com/city-region/lockport/man-charged-after-flying-drone-near-lockport-chemical-plant-20151205 (дата обращения: 03.11.2022).

9. Confirmation of the DfT's view of the Incursion dates for the alleged Gatwick drones – a Freedom of Information request to Department for Transport // Department for Transport (2021, 18 February). URL: https://www.whatdotheyknow.com/request/confirmation_of_the_dfts_view_of (дата обращения: 03.11.2022).

10. Порядок использования воздушного пространства РФ беспилотными воздушными судами (БВС, БПЛА, беспилотники, дроны) // Федеральное агентство воздушного транспорта (Росавиация) Министерства транспорта Рос. Федерации. URL: https://favt.gov.ru/poryadok-ispolzovaniya-bespilotnyh-vozdychnih-sudov (дата обращения: 03.11.2022).

11. Ермаченко А. Атака дронов. Беспилотные летательные аппараты – безопасность или угроза? URL: https://www.arms-expo.ru/articles/production/ataka-dronov-bespilotnye-letatelnye-apparaty-bezopasnost-ili-ugroza (дата обращения: 03.11.2022).

12. Падения самолетов в России (2022). URL: http://neolurk.org/wiki/Падения_самолетов_в_России_(2022) (дата обращения: 03.11.2022).

13. Федюкин В.К. Управление качеством процессов. СПб.: Питер, 2004. 208 с.

14. Повышение эффективности системы испытаний авиационной техники военного назначения на основе ресурсосберегающих технологий / под ред. И.С. Мироненко // Труды Научно-технической конференции войсковой части 15650. Ахтубинск, 2005. Ч. 2. 296 с.

15. Фейгенбаум А.В. Контроль качества продукции: пер. с англ. М.: Экономика, 1986. 471 с.

16. Актуальные проблемы информационного методического и экономического обеспечения испытаний авиационной техники и подготовки специалистов: материалы VIII Межведомств. Науч.-практ. конф. Ахтубинск – Волгоград: Изд-во ВолГУ, 2014. 314 с.

17. Технологическое развитие авиастроения: глобальные тенденции и национальные интересы России – 2021 / под общ. ред. Дутова А.В., Шапкина В.С., Клочкова В.В. // Труды I Научн.-практ. конф. М.: НИЦ «Институт им. Н.Е. Жуковского», 2021. 316 с.

18. Управление научно-технологическим развитием высокотехнологичной промышленности: проблемы и решения: монография / под общ. ред. Дутова А.В., Клочкова В.В. М.: НИЦ «Институт им. Н.Е. Жуковского», 2019. 248 с.

19. Бешелев С.Д., Гурвич Г.Ф. Экспертные оценки. М.: Наука, 1973. 162 с.

References

1. Sfery primeneniya bespilotnyh letatel'nyh apparatov. URL: https://docs.geoscan.aero/ru/master/database/base-module/sphere/sphere.html (data obrashcheniya: 03.11.2022).

2. Babincev G. Bezopasnost' poletov bespilotnyh vozdushnyh sudov: desyat' neotlozhnyh zadach. URL: https://www.tbforum.ru/blog/bezopasnost-poletov-bespilotnykh-vozdushnykh-sudovdesyat-neotlozhnykh-zadach (data obrashcheniya: 03.11.2022).

3. Antidrony: razrabotchiki i prodavcy zashchity ot bespilotnikov v 2021 godu. URL: https://habr.com/ru/post/576002 (data obrashcheniya: 03.11.2022).

4. De la BAUME, Maïa Unidentified Drones Are Seen Above French Nuclear Plants. The New York Times (2014, 3 Novemb.). URL: www.nytimes.com/2014/11/04/world/europe/unidentified-drones-are-spotted-above-french-nuclear-plants.html?_r=0 (data obrashcheniya: 03.11.2022).

5. UNSOLVED MYSTERIES (2020, JAN. 11). Who’s Behind Those Mystery Drone Swarms? An Investigation // URL: https/nymag.com/intelligencer/ 2020/01/whos-behind-those-mystery-drone-swarms-an-investigation.html (data obrashcheniya: 03.11.2022).

6. After Drone Hits Plane in Canada, New Fears About Air Safety/ The New York Times (2017, Oct. 17). URL: www.nytimes.com/2017/10/17/ world/canada/canada-drone-plane.html (data obrashcheniya: 03.11.2022).

7. John Goglia. NTSB Finds Drone Pilot At Fault For Midair Collision With Army Helicopter (2017, Dec. 14). URL: https/www.forbes.com/sites/johngoglia/2017/12/14/ntsb-finds-drone-pilot-at-fault-for-midair-collision-with-army-helicopter/#22b9b11f7b3f (data obrashcheniya: 03.11.2022).

8. A drone collided with power lines in West Hollywood, causing a power cut to 700 Southern California Edison customers (2015, Dec. 5). URL: https/www.buffalonews.com/city-region/lockport/man-charged-after-flying-drone-near-lockport-chemical-plant-20151205 (data obrashcheniya: 03.11.2022).

9. Confirmation of the DfT's view of the Incursion dates for the alleged Gatwick drones – a Freedom of Information request to Department for Transport // Department for Transport (2021, 18 February). URL: https://www.whatdotheyknow.com/request/confirmation_of_the_dfts_view_of (data obrashcheniya: 03.11.2022).

10. Poryadok ispol'zovaniya vozdushnogo prostranstva RF bespilotnymi vozdushnymi sudami (BVS, BPLA, bespilotniki, drony) // Federal'noe agentstvo vozdushnogo transporta (Rosaviaciya) Ministerstva transporta Ros. Federacii. URL: https://favt.gov.ru/poryadok-ispolzovaniya-bespilotnyh-vozdychnih-sudov (data obrashcheniya: 03.11.2022).

11. Ermachenko A. Ataka dronov. Bespilotnye letatel'nye apparaty – bezopasnost' ili ugroza? URL: https://www.arms-expo.ru/articles/production/ataka-dronov-bespilotnye-letatelnye-apparaty-bezopasnost-ili-ugroza (data obrashcheniya: 03.11.2022).

12. Padeniya samoletov v Rossii (2022). URL: http://neolurk.org/wiki/Padeniya_samoletov_v_Rossii_(2022) (data obrashcheniya: 03.11.2022).

13. Fedyukin V.K. Upravlenie kachestvom processov. SPb.: Piter, 2004. 208 s.

14. Povyshenie effektivnosti sistemy ispytanij aviacionnoj tekhniki voennogo naznacheniya na osnove resursosberegayushchih tekhnologij / pod red. I.S. Mironenko // Trudy Nauchno-tekhnicheskoj konferencii vojskovoj chasti 15650. Ahtubinsk, 2005. Ch. 2. 296 s.

15. Fejgenbaum A.V. Kontrol' kachestva produkcii: per. s angl. M.: Ekonomika, 1986. 471 s.

16. Aktual'nye problemy informacionnogo metodicheskogo i ekonomicheskogo obespecheniya ispytanij aviacionnoj tekhniki i podgotovki specialistov: materialy VIII Mezhvedomstv. Nauch.-prakt. konf. Ahtubinsk – Volgograd: Izd-vo VolGU, 2014. 314 s.

17. Tekhnologicheskoe razvitie aviastroeniya: global'nye tendencii i nacional'nye interesy Rossii – 2021 / pod obshch. red. Dutova A.V., Shapkina V.S., Klochkova V.V. // Trudy I Nauchn.-prakt. konf. M.: NIC «Institut im. N.E. Zhukovskogo», 2021. 316 s.

18. Upravlenie nauchno-tekhnologicheskim razvitiem vysokotekhnologichnoj promyshlennosti: problemy i resheniya: monografiya / pod obshch. red. Dutova A.V., Klochkova V.V. M.: NIC «Institut im. N.E. Zhukovskogo», 2019. 248 s.

19. Beshelev S.D., Gurvich G.F. Ekspertnye ocenki. M.: Nauka, 1973. 162 s.

Информация о статье:
Статья поступила в редакцию: 29.12.2022; одобрена после рецензирования: 20.01.2023; принята к публикации: 23.01.2023

The information about article:
The article was submitted to the editorial office: 29.12.2022; approved after review: 20.01.2023; accepted for publication: 23.01.2023

Информация об авторах:
Гетманцев Алексей Юрьевич, доцент кафедры филиала «Взлет» Московского авиационного института (национального исследовательского университета) (416501, Астраханская обл., г. Ахтубинск, ул. Добролюбова, д. 5), кандидат технических наук, доцент, e-mail: tomamens@mail.ru

Information about the authors:
Getmantsev Alexey Yu., associate professor of the department of the «Take-off» branch of the Moscow aviation institute (national research university) (416501, Astrakhan region, Akhtubinsk, Dobrolyubova str., 5), candidate of technical sciences, associate professor, e-mail: tomamens@mail.ru

Научная статья
УДК 338.24.01(371.3)

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ УПРАВЛЕНИЯ ЦИФРОВОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ СРЕДОЙ В УНИВЕРСИТЕТЕ

Мусиенко Тамара Викторовна;
✉Матвеев Александр Владимирович.
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия.
Артамонов Владимир Сергеевич.
АО «НПО Спецматериалов», Санкт-Петербург, Россия
✉fcvega_10@mail.ru

Аннотация. Представлен экспресс-анализ отдельных достижений зарубежных и отечественных коллег, научно осмысленных и зафиксированных в научных публикациях в виде теоретических подходов к управлению учебным процессом в части разработки учебных курсов, вариантов концепций и построении разных моделей проектного подхода. Раскрыты основы управления этим процессом как ориентированного на эффективное достижение образовательного результата единства содержания курса, стиля и последовательности изложения материала, а также способов его представления и усвоения в деятельности через электронную образовательную среду с использованием соответствующих инструментов. Сформулированы основные требования к дизайну образовательных онлайн-программ.

Показано, что наличие трудностей в российской цифровой образовательной системе детерминировано дефицитом управленческих механизмов и инструментов, а также специалистов, таких как тьюторы, модераторы, наставники, менторы.

Раскрыто основное содержание современной геймификации как одного из инструментов проектного подхода. Анализ зарубежных публикаций выявил общее и особенное в понимании педагогической инфраструктуры как технологии или структуры управления, а также в управлении цифровой образовательной средой с использованием форм и приемов проектного подхода.

Ключевые слова: управление, комплексный подход, проектный метод, цифровое обучение, модель, лаборатория, цифровое редактирование, педагогический дизайн

Для цитирования: Мусиенко Т.В., Матвеев А.В., Артамонов В.С. Теоретические основы управления цифровой образовательной средой в университете // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2023. № 1. С. 171–180.

Scientific article

THE ORETICAL FOUNDATIONS FOR MANAGING THE DIGITAL EDUCATIONAL ENVIRONMENT IN THE UNIVERSITY

Musienko Tamara V.;
✉Matveev Alexander V.
Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia.
Artamonov Vladimir S.
JSC «NPO Spetsmaterialov», Saint-Petersburg, Russia
✉fcvega_10@mail.ru

Abstract. The article presents a brief analysis of individual achievements of foreign and domestic colleagues, scientifically meaningful and recorded in scientific publications in the form

© Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2023

of theoretical approaches to the management of the educational process in terms of the development of training courses, variants of concepts and the construction of different models of the project approach. The basis of the management of this process is revealed as the unity of the course content, style and sequence of presentation of the material, as well as the ways of its presentation and assimilation in the activities in the electronic educational environment with the use of appropriate tools aimed at the effective achievement of an educational result. The basic requirements for the design of online educational programs are formulated.

It is shown that the presence of difficulties in the Russian digital educational system is determined by the lack of managerial mechanisms and tools, as well as specialists, such as tutors, moderators, mentors.

The main content of modern gamification as one of the tools of the project approach is disclosed. The analysis of foreign publications revealed the common and special features in the understanding of the pedagogical infrastructure as a technology or management structure, as well as the general and special in the management of the digital educational environment using the forms and techniques of the project approach.

Keywords: management, integrated approach, project method, digital learning, model, laboratory, digital editing, pedagogical design

For citation: Musienko T.V., Matveev A.V., Artamonov V.S. The oretical foundations for managing the digital educational environment in the university // Scientific and analytical journal «Vestnik Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia». 2023. № 1. P. 171–180.

Введение

Первые десятилетия XXI в. актуализировали проблемы управления и модернизации образовательного процесса, вызванные стремительной цифровизацией образовательной среды. Новые реалии потребовали внедрения новых форматов формирования проектных навыков как у профессорско-преподавательского состава, так и у обучаемых.

Освоение студентами новых профессиональных компетенций и навыков, позволяющих им реализовывать комплексные проекты и инициативы, потребовали от руководства вузов, методологов, профессорско-преподавательского состава новых знаний и умений в организации проектного обучения. Возник комплекс трудностей, так как вся российская образовательная система испытывает дефицит управленческих механизмов и инструментов, способных масштабно интегрировать современные форматы проектной деятельности в учебный процесс.

Ситуация осложнялась и дефицитом специалистов, таких как тьюторы, модераторы, наставники, менторы и других, способных обеспечивать развитие проектных технологий.

Комплексный подход к построению образовательной среды и учебного процесса, позволяющий разработать и управлять, гибко изменять и адаптировать под запросы учащихся единую систему из образовательных результатов, учебного материала, способов взаимодействия с учащимися, педагогических технологий и инструментов на основе образовательных данных – это и составляет существо педагогического дизайна.

Базовые составляющие цифрового обучения: диагностика, цифровой след, цифровой профиль, автоматизированное построение рубрикаторов образовательных результатов.

Цифровая образовательная среда потребовала использования новых моделей обучения, и они стали разрабатываться в рамках педагогического дизайна: такие, например, как ADDIE – Анализируй-Проектируй-Разрабатывай-Внедряй-Оценивай.

В западном мире к решению проблем приступили раньше, чем в нашей стране, и поэтому нам важен наработанный зарубежными специалистами опыт. Группа ученых из Франции и Люксембурга даже подняла тему «устойчивости» в цифровых исследованиях [1]. Но в последнее десятилетие и в России стали больше внимания уделять этой проблеме. Ученые исследуют специфику и уровни организации и управления современным цифровым обучением [2–4]; выделяют визуальный дизайн как инструмент

повышения качества учебного процесса [5]; обозначают проблемы подготовки кадров в условиях цифровой экономики [6].

Цель исследования – обобщение опыта организации управления цифровой образовательной средой в зарубежной и отечественной системах высшего образования, а основной задачей является осуществление экспресс-анализа мирового и отечественного опыта применения проектного подхода при организации образовательного курса на примере педагогического дизайна.

Методы исследования

В ходе исследования были применены системный, исторический, компаративный методы.

В образовательной мировой и отечественной практике существуют разные варианты определения педагогического дизайна. Авторы остановились на формулировке, данной во введении настоящей статьи. Она включает в себя следующие основные элементы: выбор элементов взаимодействия и методов вовлечения в образовательный процесс обучаемых, а также способов, методов, инструментов подачи учебного материала; определение образовательных результатов и их разметки; анализ целевой аудитории на основе выбранных факторов анализа; содержание курса, определение степени сложности учебного материала и последовательности его подачи; формирование навигации в рамках цифровой образовательной среды, то есть понятных для обучаемых размеченных карт, планов; разметка на рубрикаторах; настройка системы оценок, взаимооценок, контрольно-измерительных материалов в целом; оформление детальных и понятных инструкций пользователям с постановкой задач.

Все это также представляет собой реальные шаги по управлению учебным процессом в электронной образовательной среде с использованием мультимедиа.

В практике управления через проектный метод апробированы основные требования к дизайну образовательных онлайн-программ: дизайн образовательной программы, образовательные результаты; деятельностные практики как основа обучения и освоения навыков; моделирование траектории обучающегося или групп в привязке к образовательным результатам; разметка всего содержания программы по образовательным результатам; сбор, хранение цифрового следа (ЦС), привязка в профиле пользователя по образовательным результатам; анализ собранного следа относительно эталонных показателей для подтверждения достижения образовательных результатов; наличие специалистов по моделированию, сбору и анализу ЦС, обученных на стороне заказчика; наличие инструментов педагогического дизайна.

Примерно такой же круг вопросов исследуется учеными и экспертами как за рубежом, так и в России.

Результаты исследования и их обсуждение

Приступая к экспресс-анализу результатов исследований проблем управления в области педагогического дизайна, рекомендуем, прежде всего, познакомиться с публикацией группы авторов в составе А.С. Ли, П. Чиаравонгсе, Дж. Гулди и А. Зсома в журнале «Digital Humanities Quarterly», в которой представлены результаты исследований роли критического мышления в инфраструктуре гуманитарных наук. Ученые анализируют так называемую «концепцию трубопровода» с исследованием HaToRI (Hansard Topic Relevance Identifier), которая структурирует поток информации в электронной информационной среде с комплексной научной инфраструктурой приложений, программного обеспечения и исследовательских порталов и количество ученых, занимающихся своими исследованиями в эпоху веб-исследований. Такая научная

инфраструктура включает значительную часть «сайтов», и выбор дизайна этой инфраструктуры имеет прямое влияние на исследования [7].

К этому ряду относится публикация А. Киль, обосновывающая «привлекательность структуралистского движения для современной программы исследований в области цифровых гуманитарных наук благодаря своим специфическим институциональным и инфраструктурным особенностям».

Гуманитарная лаборатория, по мнению ученого, это «особый способ познания и что она не должна служить простой имитацией научной лаборатории (несмотря на ее очевидную смежность с этой областью)». Киль А. предполагает следующие «детерминанты, помогающие понять специфику этого метода: 1) экспериментирование, 2) сотрудничество, 3) значимость исследовательской инфраструктуры, 4) открытость (личная, дисциплинарная и институциональная), 5) лабильная позиция исследователя (текучесть границ между внутренней и внешней стороной лаборатории и вытекающей из этого проблемы участия гуманиста)» [8].

Группа исследователей Университета Юты определяет цифровую лабораторию как сообщество в активном образовательном пространстве. Подчеркивается приоритет персонала и опыта над технологиями и декором. Работа лаборатории может быть успешна при наличии прочных отношений с «поддерживающей администрацией». По мнению ученых, миссия лаборатории должна определяться конкретными потребностями.

Обучение варьируется от семинаров по обсуждению инструментов, формируемых навыков и передовых методов для преподавателей до семестровых курсов для студентов [9].

Использование «летней школы» по цифровому редактированию для изучения курса обучения цифровым гуманитарным наукам раскрывается в публикации М. Оива [10]. По разным видам лабораторий по цифровому обучению или DH, как это принято его сокращать в англоязычных разработках, посвящен целый ряд публикаций, в которых представлены результаты исследований разных компонентов DH [11–13].

Вертези Дж. и Рибес Д. определили инфраструктуру как технологию или структуру управления, отличающуюся продуманным дизайном, масштабом, способностью доставлять информацию и зачастую своей невидимостью [14].

Трейси Д.Г., Хоим Э.М. изучали проектный подход, реализуемый в ходе построения и игры в учебном процессе, оценили его эффективность и рекомендовали использование такового в тематических курсах, особенно в ходе повторения пройденного материала [15].

Общими вопросами управления проектами в цифровой образовательной среде задавался П. Кухнавец [16].

В международной базе данных Scopus представлены результаты исследований отечественных ученых. Так, М.А. Силантьева сопоставила опыт использования проектного метода в системе среднего и высшего образования [17]. Проектный подход в инженерии исследовали М. Макиенко и А. Панамарева [18].

При переходе к результатам исследований отечественных ученых и экспертов невозможно не упомянуть Г.П. Щедровицкого, одного из основоположников, разработавших основы проектного подхода, педагогического дизайна в нашем государстве [19] и его единомышленников П.А. Шеварева и В.В. Давыдова [20, 21]. Щедровицкий Г.П. разрабатывал идею методологии как общей канвы всей мыследеятельности, категориальные и операциональные средства онтологической схемы мыследеятельности. Воплощением этих разработок стала новая форма организации мышления и деятельности – организационно-деятельностные игры.

Современная геймификация-игрофикация, то есть использование игровой атрибутики и игровых элементов для повышения вовлеченности в неигровую деятельность: используются, например, различные игровые механики «Перевернутого класса», «Лестницы умозаключений Криса Аргириса»; широко известные и такие интерактивные среды, как ClassCraft, Spatial chat, Mozilla Hubs и др. Они направлены на формирование мотивации обучения и включают автоматизированную диагностику в игре, развитие «мягких навыков»,

навыков сбора данных, присвоения знаний, развитие понимания, проживания новых сред. Для выявления поведенческих стилей используется ЧатБот. Сформированы разные типологии игроков, например, типология Ричарда Бартла, Анджея Марчевски, школы Илона Маска и др.

Отечественные исследователи активно развивают и внедряют педагогический дизайн, используя для этого оригинальные и апробированные за рубежом формы и методы проектного подхода. В этом процессе есть общее и особенное.

Так, в Национальном исследовательском университете Высшей школы экономики накоплен уже отечественный опыт проектного подхода к организации цифрового обучения с помощью формирования проектно-учебных лабораторий. В процессе управления осуществляется постоянная модернизация образовательной модели, интеграция проектной работы в обучение всех студентов. Это объективно приводит к институциональным изменениям: проектный подход потребовал новых структурных единиц, реализующих проектные форматы.

Формирование новых каналов информации, проектных порталов и площадок вызвали и коммуникационные изменения, модернизацию всей технической составляющей цифрового обучения. Повышение квалификации, обучение и переобучение профессорско-преподавательского и административного состава, введение новых образовательных форматов и зачетных единиц привели к изменениям педагогических технологий [22].

В этом же направлении развивает проектное управление и Московский политехнический университет (МПИ). Кроме институциональных изменений последовала модернизация педагогических технологий; кадровые изменения – привлечение к обучению в цифровой среде практиков, экспертов, специалистов, преподавателей других вузов; управленческие изменения – создание отдельных подразделений, курирующих проектную деятельность [23].

В Дальневосточном федеральном университете проектный подход реализуется Центром проектной деятельности. Модернизация цифрового образовательного пространства охватывает все больше направлений. Здесь акцент сделан на управленческие изменения, подобные в МПИ [24].

В Нижегородском государственном университете имени Н.И. Лобачевского проектное обучение осуществляется в формате Всероссийской школы «Технологии+Бизнес». В этом вузе внимание акцентируют на управленческих изменениях. Это логично, поскольку без соответствущих кадров реализовать проектный подход оказывается весьма затруднительно [25].

В Южном федеральном университете получают приоритетное развитие такая организация учебного процесса, как внедрение проектного обучения на отдельных специальностях, а также коммуникационные изменения [26]. Похожие процессы идут и в Уральском федеральном университете [27, 28].

В российском электронном образовательном пространстве предпринимаются управленческие усилия по подготовке специалистов для работы с электронными онлайн-инструментами, и они не остаются без внимания исследователей [29].

К процессам изучения и осмысления проектного подхода подключились уже и студенты [30].

Заключение

Таким образом, проектный метод в педагогическом дизайне представляет собой комплексный подход к построению образовательной среды и учебного процесса, который включает в себя ряд сложных элементов.

Базовые составляющие цифрового обучения: диагностика, ЦС, цифровой профиль, автоматизированное построение рубрикаторов образовательных результатов реализуются в цифровой образовательной среде с помощью онлайн-инструментов.

Выявлен дефицит управленческих механизмов и инструментов, способных масштабно интегрировать современные форматы проектной деятельности в учебный процесс.

Педагогический дизайн образовательных онлайн-программ должен соответствовать определенным требованиям, без которых невозможно управление по реализации проектного метода в цифровой образовательной среде.

Экспресс-анализ результатов исследования проектного метода иностранными учеными выявил тенденцию роста таких исследований по основным направлениям развития педагогического дизайна в управлении проектным обучением.

Основную роль в ходе реализации проектного метода в цифровом образовательном пространстве в настоящее время играют цифровые лаборатории под разными названиями.

В Российской Федерации укрепляется тренд на внедрение проектного метода, который уже используется в ряде ведущих вузов.

Цифровизация образовательной сферы вызвала модернизацию моделей обучения в системе высшего образования по всем основным направлениям, начиная от организационного управленческого до технологического.

Список источников

1. Barats C., Cerlis, Schafer V., Fickers A. Fading Away... The challenge of sustainability in digital studies // Digital Humanities Quarterly. Northeastern University. Boston. 2020. Vol. 14. Iss. 3.

2. Колганов Е.А., Лехмус М.Ю. Цифровая трансформация учебного процесса в условиях пандемии. Опыт работы Уфимского филиала ФГБОУ ВО «Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации» // Вестник УГНТУ. Наука, образование, экономика. Сер.: Экономика. 2020. № 3 (33). С. 146–153.

3. Камшилов С.Г. Уровни организации электронной информационно-образовательной среды вуза // Управление, экономика и общество – 2020: проблемы и пути развития: сб. статей участников междунар. науч.-практ. конф. Челябинск, 2020. С. 53–56.

4. Сотникова С.И., Коржова А.М. Visual-дизайн учебного процесса как инструмент повышения конкурентноспособности научно-педагогических работников // Управление человеческими ресурсами: теория, практика, перспективы: сб. науч. трудов нац. науч.-практ. конф. / под ред. С.И. Сотниковой. 2021. С. 156–161.

5. Дусенко С.В., Святая Е.О. Современные вызовы подготовки кадров в высшей школе в условиях цифровой экономики // Вестник Белгородского университета кооперации, экономики и права. 2020. № 3 (82). С. 74–84.

6. Давыдова Т.Е. Специфика организации образовательного процесса в университете в нестандартных условиях // Организатор производства. 2020. Т. 28. № 2. С. 97–107.

7. Lee A.S., Chiarawongse P., Guldi J., Zsom A. The Role of Critical Thinking in Humanities Infrastructure: The Pipeline Concept with a Study of HaToRI (Hansard Topic Relevance Identifier) // Digital Humanities Quarterly. 2020. Vol. 14. № 3.

8. Kil A. Excavating Infrastructure in the Analog Humanities' Lab: An Analysis of Claude Lévi-Strauss's Laboratoire d'anthropologie sociale // Digital Humanities Quarterly. 2020. Vol. 14. № 3.

9. Cummings R., Roh D.S., Callaway E. Organic and Locally Sourced: Growing a Digital Humanities Lab with an Eye Towards Sustainability // Digital Humanities Quarterly. 2020. Vol. 14. № 3.

10. Oiva M. The Chili and Honey of Digital Humanities Research:The Facilitation of the Interdisciplinary Transfer of Knowledge in Digital Humanities Centers // Digital Humanities Quarterly. 2020. Vol. 14. № 3.

11. Fickers A., van der Heijden T. Inside the Trading Zone: Thinkering in a Digital History Lab // Digital Humanities Quarterly. 2020. Vol. 14. № 3.

12. DeRose C., Leonard P. Digital Humanities on Reserve: From Reading Room to Laboratory at Yale University Library // Digital Humanities Quarterly. 2020. Vol. 14. № 3.

13. Khatib R.El., Arbuckle A., Siemens L., Siemens R., Winter C. An «Open Lab?». The Electronic Textual Cultures Lab in the Evolving Digital Humanities Landscape // Digital Humanities Quarterly. 2020. Vol. 14. № 3.

14. Vertesi Janet, David Ribes. DigitalSTS: A Field Guide for Science & Technology Studies. Princeton University Press, 2019.

15. Tracy D.G., Hoiem E.M. Scaffolding and Play Approaches to Digital Humanities Pedagogy: Assessment and Iteration in Topically-Driven Courses // Digital Humanities Quarterly. 2017. Vol. 11. № 4.

16. Kukhnavets P. What Are the Special Aspects of Project Management in the Educational Sector? 2019. URL: https://hygger.io/blog/special-aspects-of-project-management-in-educational-sector/ (дата обращения: 16.04.2022).

17. Silantjeva M.V. Project method in the system «school – higher educational institution» // Reserch in Pedagogy. 2013. Year III. № 1. P. 78–92.

18. Makienko M., Panamaryova A. Project Approach in Humanities as a Cognitive Strategy of Modern Engineering Education // Social and Behavioral Sciences. 2015. P. 415–421.

19. Щедровицкий Г.П. Оргуправленческое мышление: идеология, методология, технология (курс лекций). 2-е изд. М., 2003. 480 с.

20. Исследования мышления в советской психологии: сб. статей. Акад. наук СССР. Ин-т философии / отв. ред. Е.В. Шорохова. М.: Наука, 1966. 476 с.

21. Давыдов В.В. Теория тразвивающего обучения. М.: Изд-во ИНТОР, 1996. 544 с.

22. НИУ ВШЭ. Проектная деятельность студентов Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики» // Проектное обучение. Практика внедрения в университетах / под ред. Л.А. Евстратовой, Н.В. Исаевой, О.В. Лешукова. М., 2018. С. 28–53.

23. Московский Политех. Внедрение проектной деятельности как часть модернизации образовательной системы // Проектное обучение. Практика внедрения в университетах / под ред. Л.А. Евстратовой, Н.В. Исаевой, О.В. Лешукова. М., 2018. С. 54–67.

24. Проектное обучение. URL: https://www.dvfu.ru/project/ (дата обращения: 14.04.2022).

25. Проектное обучение в формате Всероссийской школы «Технологии+Бизнес» // Проектное обучение. Практика внедрения в университетах / под ред. Л.А. Евстратовой, Н.В. Исаевой, О.В. Лешукова. М., 2018. С. 136–148.

26. Южный федеральный университет. Внедрение проектного обучения в Институте компьютерных технологий и информационной безопасности ЮФУ // Проектное обучение. Практика внедрения в университетах / под ред. Л.А. Евстратовой, Н.В. Исаевой, О.В. Лешукова. М., 2018. С. 106–135.

27. Уральский федеральный университет. Проектное обучение в Нижнетагильском технологическом институте УрФУ // Проектное обучение. Практика внедрения в университетах / под ред. Л.А. Евстратовой, Н.В. Исаевой, О.В. Лешукова. М., 2018. С. 88–105.

28. Тетюкова Е.П. Проектное обучение – инновационный подход к организации учебного процесса в высших учебных заведениях РФ // Физика. Технологии. Инновации: сб. материалов VI Междунар. молодеж. науч. конф., посвящ. 70-летию основания Физико-технологического института УрФУ. Екатеринбург: УрФУ, 2019. С. 349–358.

29. Осипова О.П., Шклярова О.А. Подготовка менеджеров образования в условиях его цифровизации: идеи, подходы, ресурсы // Преподаватель XXI век. 2019. № 2-1. С. 108–124.

30. Попова Т.А., Новиков Н.И. Проектное управление в онлайн-образовании // Научные вести. 2020. № 9 (26). С. 71–75.

References

1. Barats C., Cerlis, Schafer V., Fickers A. Fading Away... The challenge of sustainability in digital studies // Digital Humanities Quarterly. Northeastern University. Boston. 2020. Vol. 14. Iss. 3.

2. Kolganov E.A., Lekhmus M.Yu. Cifrovaya transformaciya uchebnogo processa v usloviyah pandemii. Opyt raboty Ufimskogo filiala FGBOU VO «Finansovyj universitet pri Pravitel'stve Rossijskoj Federacii» // Vestnik UGNTU. Nauka, obrazovanie, ekonomika. Ser.: Ekonomika. 2020. № 3 (33). S. 146–153.

3. Kamshilov S.G. Urovni organizacii elektronnoj informacionno-obrazovatel'noj sredy vuza // Upravlenie, ekonomika i obshchestvo – 2020: problemy i puti razvitiya: sb. statej uchastnikov mezhdunar. nauch.-prakt. konf. Chelyabinsk, 2020. S. 53–56.

4. Sotnikova S.I., Korzhova A.M. Visual-dizajn uchebnogo processa kak instrument povysheniya konkurentnosposobnosti nauchno-pedagogicheskih rabotnikov // Upravlenie chelovecheskimi resursami: teoriya, praktika, perspektivy: sb. nauch. trudov nac. nauch.-prakt. konf. / pod red. S.I. Sotnikovoj. 2021. S. 156–161.

5. Dusenko S.V., Svyataya E.O. Sovremennye vyzovy podgotovki kadrov v vysshej shkole v usloviyah cifrovoj ekonomiki // Vestnik Belgorodskogo universiteta kooperacii, ekonomiki i prava. 2020. № 3 (82). S. 74–84.

6. Davydova T.E. Specifika organizacii obrazovatel'nogo processa v universitete v nestandartnyh usloviyah // Organizator proizvodstva. 2020. T. 28. № 2. S. 97–107.

7. Lee A.S., Chiarawongse P., Guldi J., Zsom A. The Role of Critical Thinking in Humanities Infrastructure: The Pipeline Concept with a Study of HaToRI (Hansard Topic Relevance Identifier) // Digital Humanities Quarterly. 2020. Vol. 14. № 3.

8. Kil A. Excavating Infrastructure in the Analog Humanities' Lab: An Analysis of Claude Lévi-Strauss's Laboratoire d'anthropologie sociale // Digital Humanities Quarterly. 2020. Vol. 14. № 3.

9. Cummings R., Roh D.S., Callaway E. Organic and Locally Sourced: Growing a Digital Humanities Lab with an Eye Towards Sustainability // Digital Humanities Quarterly. 2020. Vol. 14. № 3.

10. Oiva M. The Chili and Honey of Digital Humanities Research:The Facilitation of the Interdisciplinary Transfer of Knowledge in Digital Humanities Centers // Digital Humanities Quarterly. 2020. Vol. 14. № 3.

11. Fickers A., van der Heijden T. Inside the Trading Zone: Thinkering in a Digital History Lab // Digital Humanities Quarterly. 2020. Vol. 14. № 3.

12. DeRose C., Leonard P. Digital Humanities on Reserve: From Reading Room to Laboratory at Yale University Library // Digital Humanities Quarterly. 2020. Vol. 14. № 3.

13. Khatib R.El., Arbuckle A., Siemens L., Siemens R., Winter C. An «Open Lab?». The Electronic Textual Cultures Lab in the Evolving Digital Humanities Landscape // Digital Humanities Quarterly. 2020. Vol. 14. № 3.

14. Vertesi Janet, David Ribes. DigitalSTS: A Field Guide for Science & Technology Studies. Princeton University Press, 2019.

15. Tracy D.G., Hoiem E.M. Scaffolding and Play Approaches to Digital Humanities Pedagogy: Assessment and Iteration in Topically-Driven Courses // Digital Humanities Quarterly. 2017. Vol. 11. № 4.

16. Kukhnavets P. What Are the Special Aspects of Project Management in the Educational Sector? 2019. URL: https://hygger.io/blog/special-aspects-of-project-management-in-educational-sector/ (data obrashcheniya: 16.04.2022).

17. Silantjeva M.V. Project method in the system «school – higher educational institution» // Reserch in Pedagogy. 2013. Year III. № 1. P. 78–92.

18. Makienko M., Panamaryova A. Project Approach in Humanities as a Cognitive Strategy of Modern Engineering Education // Social and Behavioral Sciences. 2015. P. 415–421.

19. Shchedrovickij G.P. Orgupravlencheskoe myshlenie: ideologiya, metodologiya, tekhnologiya (kurs lekcij). 2-e izd. M., 2003. 480 s.

20. Issledovaniya myshleniya v sovetskoj psihologii: sb. statej. Akad. nauk SSSR. In-t filosofii / otv. red. E.V. Shorohova. M.: Nauka, 1966. 476 s.

21. Davydov V.V. Teoriya trazvivayushchego obucheniya. M.: Izd-vo INTOR, 1996. 544 s.

22. NIU VSHE. Proektnaya deyatel'nost' studentov Nacional'nogo issledovatel'skogo universiteta «Vysshaya shkola ekonomiki» // Proektnoe obuchenie. Praktika vnedreniya v universitetah / pod red. L.A. Evstratovoj, N.V. Isaevoj, O.V. Leshukova. M., 2018. S. 28–53.

23. Moskovskiĭ Politekh. Vnedrenie proektnoĭ deyatel'nosti kak chast' modernizacii obrazovatel'noĭ sistemy // Proektnoe obuchenie. Praktika vnedreniya v universitetah / pod red. L.A. Evstratovoj, N.V. Isaevoj, O.V. Leshukova. M., 2018. S. 54–67.

24. Proektnoe obuchenie. URL: https://www.dvfu.ru/project/ (data obrashcheniya: 14.04.2022).

25. Proektnoe obuchenie v formate Vserossiĭskoĭ shkoly «Tekhnologii+Biznes» // Proektnoe obuchenie. Praktika vnedreniya v universitetah / pod red. L.A. Evstratovoj, N.V. Isaevoj, O.V. Leshukova. M., 2018. S. 136–148.

26. Yuzhnyĭ federal'nyĭ universitet. Vnedrenie proektnogo obucheniya v Institute komp'yuternyh tekhnologiĭ i informacionnoĭ bezopasnosti YUFU // Proektnoe obuchenie. Praktika vnedreniya v universitetah / pod red. L.A. Evstratovoj, N.V. Isaevoj, O.V. Leshukova. M., 2018. S. 106–135.

27. Ural'skiĭ federal'nyĭ universitet. Proektnoe obuchenie v Nizhnetagil'skom tekhnologicheskom institute UrFU // Proektnoe obuchenie. Praktika vnedreniya v universitetah / pod red. L.A. Evstratovoj, N.V. Isaevoj, O.V. Leshukova. M., 2018. S. 88–105.

28. Tetyukova E.P. Proektnoe obuchenie – innovacionnyj podhod k organizacii uchebnogo processa v vysshih uchebnyh zavedeniyah RF // Fizika. Tekhnologii. Innovacii: cb. materialov VI Mezhdunar. molodezh. nauch. konf., posvyashch. 70-letiyu osnovaniya Fiziko-tekhnologicheskogo instituta UrFU. Ekaterinburg: UrFU, 2019. S. 349–358.

29. Osipova O.P., Shklyarova O.A. Podgotovka menedzherov obrazovaniya v usloviyah ego cifrovizacii: idei, podhody, resursy // Prepodavatel' XXI vek. 2019. № 2-1. S. 108–124.

30. Popova T.A., Novikov N.I. Proektnoe upravlenie v onlajn-obrazovanii // Nauchnye vesti. 2020. № 9 (26). S. 71–75.

Информация о статье:
Статья поступила в редакцию: 20.12.2022; одобрена после рецензирования: 05.03.2023; принята к публикации: 07.03.2023

The information about article:
The article was submitted to the editorial office: 20.12.2022; approved after review: 05.03.2023; accepted for publication: 07.03.2023

Информация об авторах:
Мусиенко Тамара Викторовна, профессор кафедры управления и экономики, профессор кафедры философии и социальных наук Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России, ассоциированный научный сотрудник Федерального научно-исследовательского социологического центра Российской академии наук – Социологического института РАН (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), доктор политических наук, кандидат исторических наук, доцент, e-mail: tvm77777@mail.ru, https://orcid.org/ 0000-0001-9658-1169
Матвеев Александр Владимирович, заведующий кафедрой прикладной математики и информационных технологий Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат технических наук, доцент, e-mail: fcvega_10@mail.ru, https://orcid.org/ 0000-0002-0778-3218
Артамонов Владимир Сергеевич, заместитель генерального директора АО «НПО Спецматериалов» (194044, Санкт-Петербург, Большой Сампсоневский пр., д. 282), действительный государственный советник Российской Федерации 1 класса, доктор военных наук, доктор технических наук, профессор, заслуженный работник высшей школы Российской Федерации, лауреат Премии Правительства Российской Федерации в области науки и техники, Почетный сотрудник Министерства внутренних дел Российской Федерации, https://orcid.org/ 0000-0003-4119-8976

Information about the authors:
Musienko Tamara V., professor of the department of management and economics, professor of the department of philosophy and social sciences of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, associate researcher of the federal research sociological center of the Russian academy of sciences – Sociological institute of the Russian academy of sciences (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky pr., ave. 149), doctor of political sciences, candidate of historical sciences, associate professor, e-mail: tvm77777@mail.ru, https://orcid.org/ 0000-0001-9658-1169
Matveev Alexander V., head of the department of applied mathematics and information technologies of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), candidate of technical sciences, associate professor, e-mail: fcvega_10@mail.ru, https://orcid.org/ 0000-0002-0778-3218
Artamonov Vladimir S., deputy general director of JSC «NPO Spetsmaterialov» (194044, Saint-Petersburg, Bolshoi Sampsonevsky pr., 282), acting state councilor of the Russian Federation, 1st class, doctor of military sciences, doctor of technical sciences, professor, honored worker of the higher schools of the Russian Federation, laureate of the prize of the government of the Russian Federation in the field of science and technology, honorary officer of the Ministry of internal affairs of the Russian Federation, https://orcid.org/ 0000-0003-4119-8976

ТРУДЫ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ

Научная статья
УДК 614.8

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ РИСКАМИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ НА ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТАХ

✉Смолякова Анастасия Сергеевна;
Щетка Владимир Федорович.
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия
✉an.ser76@ya.ru

Аннотация. Российская Федерация очень богата водными ресурсами. Ввиду этого на территории страны располагается большое количество гидротехнических сооружений как основной источник по добыче энергии. Значительная часть гидротехнических сооружений эксплуатируется без реконструкции более 50 лет, и вероятность возникновения на них аварийных ситуаций очень высока. Объективно существует проблема, характеризующаяся тем, что текущее состояние безопасности значительной части объектов и требуемые нормы обеспечения безопасности не соответствуют друг другу, возможные чрезвычайные ситуации на гидротехнических объектах могут приводить к очень существенным материальным издержкам. В связи с этим актуальными являются вопросы оценки безопасности гидротехнических объектов. В данной работе предлагается модель управления рисками чрезвычайных ситуаций на гидротехнических объектах, разработанная на основе методологии функционального моделирования IDEF0. Функциональная модель представляет собой некоторый набор диаграмм. Модель позволяет провести анализ правильности и корректности проведения процедуры управления рисками чрезвычайных ситуаций на гидротехнических объектах, а также при необходимости внести соответствующие коррективы в процесс.

Ключевые слова: модель, риск, прогнозирование, чрезвычайная ситуация, авария, гидротехнический объект

Для цитирования: Смолякова А.С., Щетка В.Ф. Функциональная модель управления рисками чрезвычайных ситуаций на гидротехнических объектах // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2023. № 1. С. 181–189.

Scientific article

FUNCTIONAL MODEL OF EMERGENCY RISK MANAGEMENT AT HYDRAULIC ENGINEERING FACILITIES

✉Smolyakova Anastasia S.;
Shchetka Vladimir F.
Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia
✉an.ser76@ya.ru

Abstract. The Russian Federation is very rich in water resources. In view of this, a significant number of hydraulic structures are located on the territory of the country, as one of the main sources of energy production. A significant part of hydraulic structures have been operated without reconstruction for more than 50 years and the probability of emergency situations occurring on them

© Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2023

is very high. Objectively, there is a problem characterized by the fact that the current state of safety of a significant part of the facilities and the required safety standards do not correspond to each other, possible emergencies at hydraulic engineering facilities can lead to very significant material costs. In this regard, the issues of assessing the safety of hydraulic engineering facilities and predicting the possibility of various emergencies on them are relevant. In this paper, a model of emergency risk management at hydraulic engineering facilities is proposed, developed on the basis of the IDEF0 functional modeling methodology. A functional model is a set of diagrams. The model makes it possible to analyze the correctness and correctness of the emergency risk management procedure at hydraulic engineering facilities, as well as, if necessary, make appropriate adjustments to the process.

Keywords: model, risk, forecasting, emergency, accident, hydraulic engineering facility

For citation: Smolyakova A.S., Shchetka V.F. Functional model of emergency risk management at hydraulic engineering facilities // Scientific and analytical journal «Vestnik Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia». 2023. № 1. P. 181–189.

Введение

В соответствии с СП 58.13330.2012 расчетные сроки службы основных гидротехнических сооружений (ГТС) составляют: для сооружений I и II классов – 100 лет; для сооружений III и IV классов – 50 лет [1]. На территории страны на данный момент действует 741 ГТС, значительная часть которых выработала расчетный срок службы. Из них наибольшую опасность представляют 108 шлюзов, 93 плотины, 11 гидроэлектростанций и 115 дамб. Так, например, в Челябинской обл. на р. Большая Сатка расположена Порожская гидроэлектростанция, которая проработала 112 лет, и только в 2017 г. была вынуждена прекратить свою работу, ввиду отсутствия финансирования. Проведенный анализ показывает [2], что большинство ГТС в России работают свыше расчетного срока эксплуатации, вследствие чего возникает объективная потребность в повышении безопасности данных объектов.

На сегодняшний день по данной области исследования в открытых источниках можно найти сравнительно небольшое количество научных трудов. Несмотря на то, что чрезвычайные ситуации (ЧС) на гидротехнических объектах в большинстве случаев представляют угрозу для жизни людей, находящихся в зоне поражения, данная область остается недостаточно изученной. При разработке модели управления рисками ЧС на гидротехнических объектах преобладающее большинство исследователей использовали логико-вероятностный подход с формализацией «дерева целей», «дерева отказов» и «дерева событий» [3–5]. Модель управления рисками ЧС на гидротехнических объектах может быть представлена в различных видах, таких как: математическая, структурная, функциональная, имитационная, аналитическая модель и т.п. Каждый подход к моделированию имеет свои возможности, достоинства и недостатки, может быть использован в зависимости от существующих целей и условий.

В данной статье разрабатывается функциональная модель, построенная на основе методологии IDEF0, которая представляет собой четкий порядок определённых действий, необходимых для прогнозирования риска, и при необходимости дальнейшего воздействия с целью предупреждения возникновения ЧС на ГТС. Функциональная модель является универсальной, так как позволяет учесть особенности всех типов гидротехнических объектов. Выступая как один из вариантов решения актуальной проблемы по вопросу безопасности гидротехнических объектов, модель имеет преимущество, так как не требует дополнительных денежных вложений, а ее полнота описания позволяет детализированно проанализировать работу ГТС, выявить потенциальные опасности и определить необходимые мероприятия по минимизации рисков ЧС.

Модель и методы исследования

В качестве инструмента исследования была выбрана методология IDEF0, на основе которой построена функциональная модель. Модель данного класса выбрана с учетом того, что она обладает рядом преимуществ, позволяющих адекватно отобразить процесс управления рисками ЧС. В частности, в данной модели имеются средства, позволяющие отображать, как управляющие воздействия, так и обратные связи, а также информационные взаимосвязи. Использование данных средств позволяет достигнуть требуемой полноты описания процесса. Модель обладает свойством наглядности и относительной простоты, что позволит использовать ее должностными лицами, не обладающими специальной подготовкой и навыками ее использования [6–10]. Модель разработана с учетом требований согласно ГОСТ Р 58771–2019 «Менеджмент риска. Технологии оценки риска».

.

Результаты и их обсуждение

Рассмотрим процесс управления риском ЧС на гидротехническом объекте. На рис. 1 изображен основной блок или как его еще называют – контекстная диаграмма «Управление рисками ЧС на гидротехническом объекте». Взаимодействие с внешней средой обозначено на схеме входящей стрелкой «Сведения об объекте», в данном случае это информация об объекте с потенциальным риском ЧС. В качестве управления в данном случае выступают «Паспорт территории», «Паспорт объекта», «ГОСТы», «Методические рекомендации» и «Нормативно-правовые акты» (НПА). В роли «Механизмов» выступают аналитики, проводящие анализ всей имеющейся информации. Выходом из данной диаграммы будут являться «Мероприятия по минимизации риска ЧС на ГТС», именно благодаря разрабатываемым мероприятиям и рекомендациям осуществляется достижение поставленной цели. В работе рассматривается декомпозиция всех блоков первого уровня (рис. 3–6), сопровождается описанием только контекстная диаграмма, диаграмма декомпозиции первого уровня.

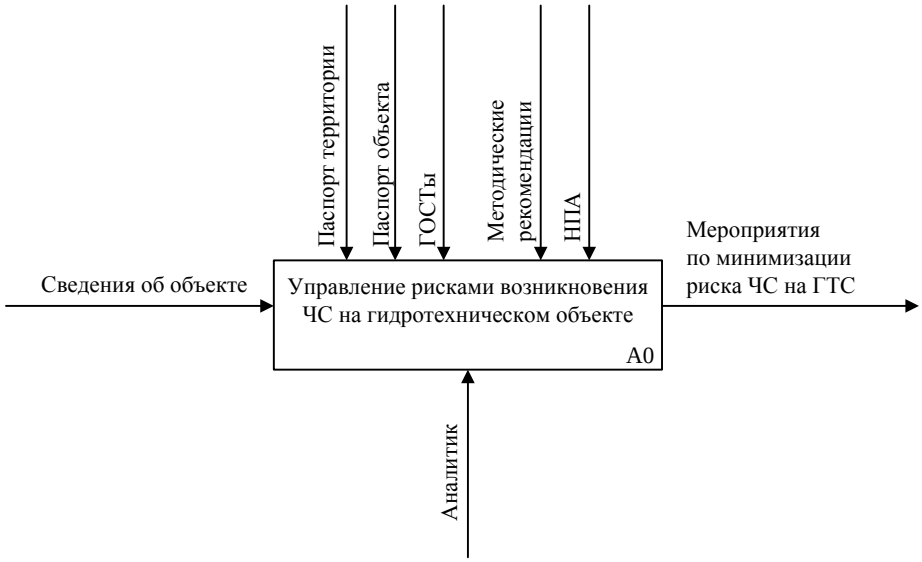


Рис. 1. **Контекстная диаграмма А0**

Контекстная диаграмма А0 не даёт полного представления процесса. Для того чтобы увидеть полную картину выполнения процесса, необходимо декомпозировать представленную выше диаграмму, то есть дать более детализированное описание процесса [11]. Диаграмма декомпозиции первого уровня представлена на рис. 2.

Данная модель включает в себя четыре основных этапа:

1. Сбор сведений об объекте.
2. Анализ данных о ЧС.
3. Оценка риска.
4. Управление рисками.

Рассмотрим декомпозицию первого уровня более детально. Целью первого этапа IDEF0-моделирования (блок А1 «Сбор сведений об объекте») является получение информации об источнике возникновения ЧС. Для этого используется поступающая информация о гидротехническом объекте, на котором произошла ЧС. Во время сбора сведений аналитик руководствуется паспортом территории, паспортом объекта, критериями безопасности ГТС, инструкцией об эксплуатации ГТС и постановлением Правительства Российской Федерации от 5 октября 2020 г. № 1607 «Об утверждении критериев классификации гидротехнических сооружений».

Вторым этапом моделирования является анализ данных о ЧС (блок А2). На данном этапе аналитик проводит определение типа объекта, анализирует основные характеристики объекта и места его расположения, в заключении выявляется источник возникновения ЧС. Руководствуется аналитик паспортом объекта, декларацией безопасности ГТС, инструкцией об эксплуатации ГТС, ГОСТом Р 51901.23–2012 «Менеджмент риска. Реестр риска» и ГОСТом Р ИСО/МЭК 31010–2011 «Менеджмент риска. Методы оценки риска». Результатом анализа данных выступает информация о ЧС на объекте конкретного типа.

Далее, на третьем этапе моделирования (блок А3 «Оценка риска») аналитик проводит анализ:

– аварий на объектах данного типа;
– тенденций и закономерностей событий, способных вызвать ЧС;
– достоверности данных и информации о ЧС;
– степени неопределенности данных и информации о ЧС.

В процессе анализа аналитик руководствуется Государственным докладом «О состоянии защиты населения и территорий Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера», декларацией безопасности ГТС, годовым отчетом о состоянии конкретного ГТС, ГОСТом Р 51901.23–2012 и ГОСТом Р ИСО/МЭК 31010–2011. Результатом процесса анализа риска являются показатели риска.

На заключительном этапе моделирования (блок А4 «Управление рисками») аналитик сравнивает показатели риска, полученные на предыдущем этапе моделирования, с допустимыми значениями риска, указанными в паспорте объекта. Далее, от результата сравнения зависит, какие типовые сценарии развития ЧС следует разработать и впоследствии применить, для каждого сценария отдельно разрабатываются мероприятия по минимизации риска ЧС на ГТС, в зависимости от вида возможной ЧС и состояния объекта [12]. Управление рисками проводится согласно плану действий по предупреждению и ликвидации ЧС, методическим рекомендациям о порядке осуществления регулярных обследований ГТС и декларации безопасности ГТС.

Таким образом, можно сказать, что данная модель систематизирует имеющиеся данные о ГТС, унифицируя процесс принятия решения при возникновении ЧС на ГТС. Для аналитика, имеющего только сведения об исследуемом объекте, становится возможным:

– при декомпозиции блока 1 диаграммы А1 определить тип объекта, основные характеристики объекта и его местонахождения, а также определить источник возникновения ЧС;

– при декомпозиции блока 2 диаграммы А1 определить какие аналогичные аварии случались на ГТС данного типа, а также проследить тенденцию и закономерности при работе ГТС, способные привести к аварии;

– при декомпозиции блока 3 диаграммы А1 идентифицировать опасности, присущие данному типу ГТС, определить факторы риска, а также рассчитать показатели риска;

– при декомпозиции блока 4 диаграммы А1 по текущим показателям риска выбрать типовой сценарий развития ЧС и мероприятия по управлению рисками.

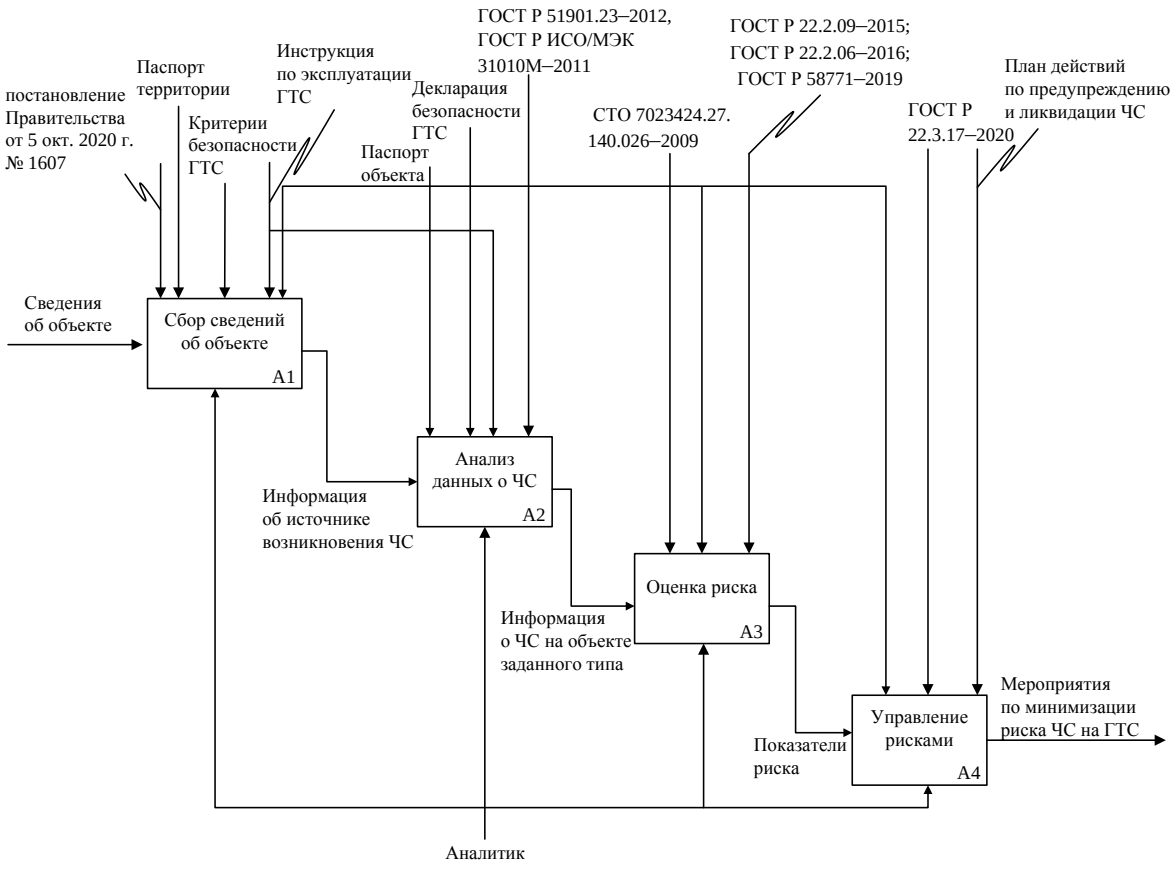


Рис. 2. **Диаграмма A1 – декомпозиция диаграммы A0**

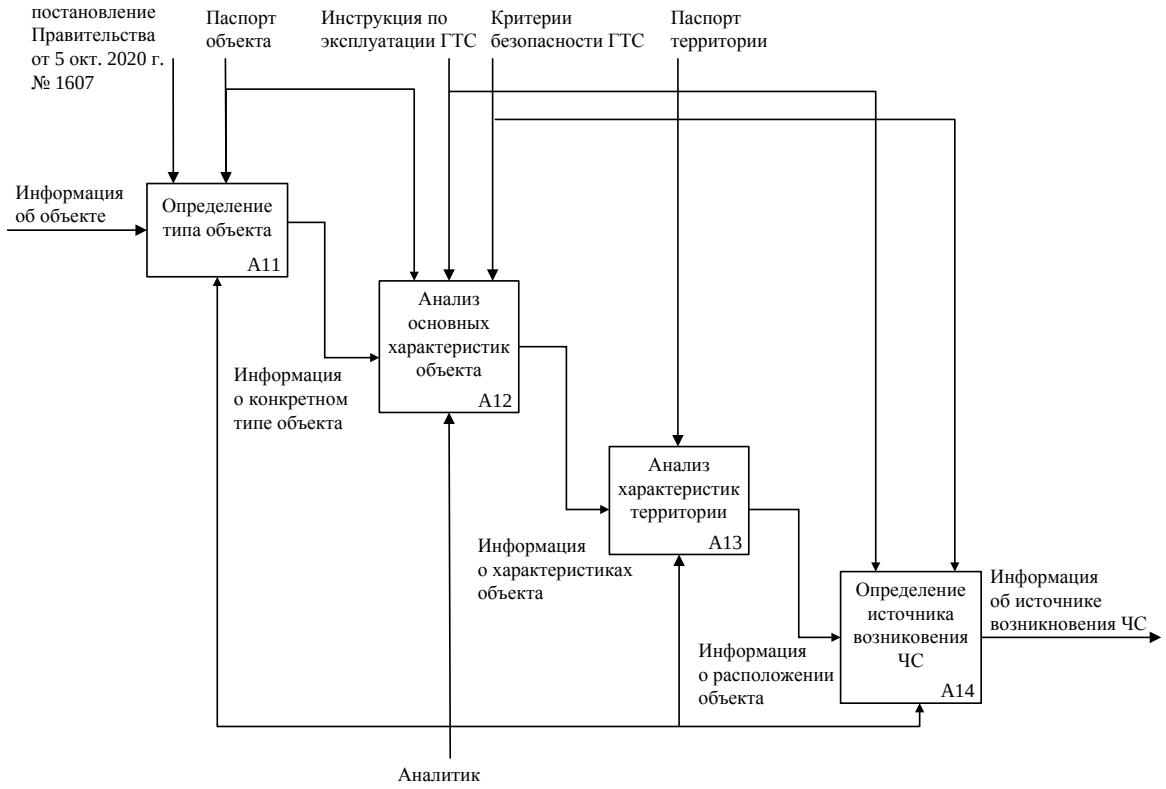


Рис. 3. **Диаграмма A2 – декомпозиция блока 1 диаграммы A1**

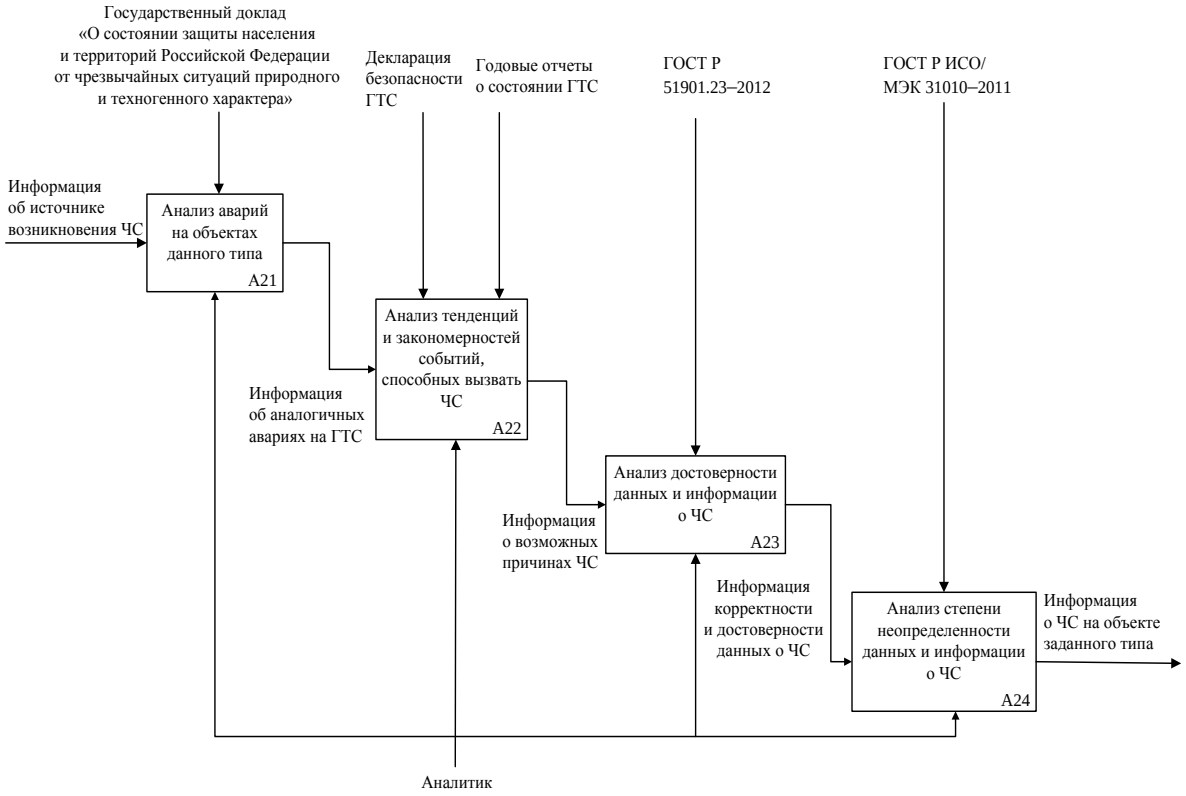


Рис. 4. **Диаграмма А3 – декомпозиция блока 2 диаграммы А1**

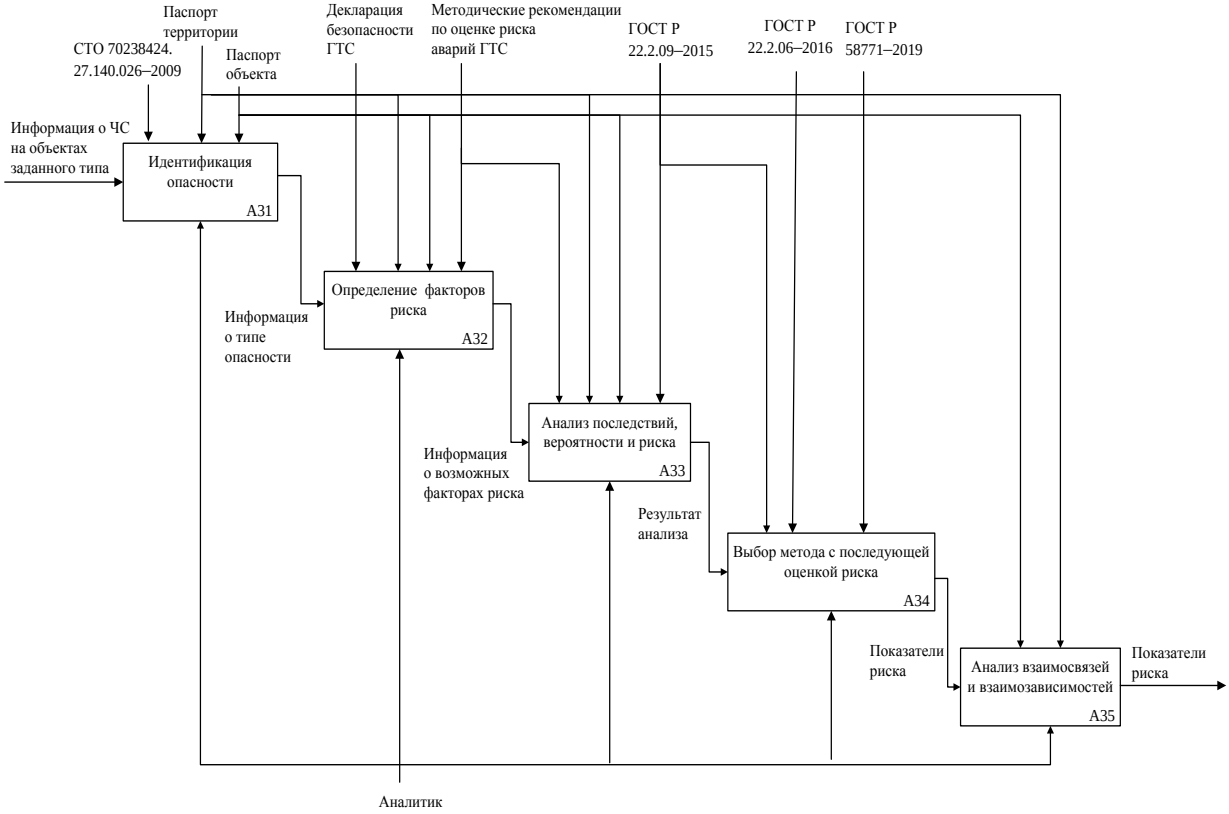


Рис. 5. **Диаграмма А4 – декомпозиция блока 3 диаграммы А1**

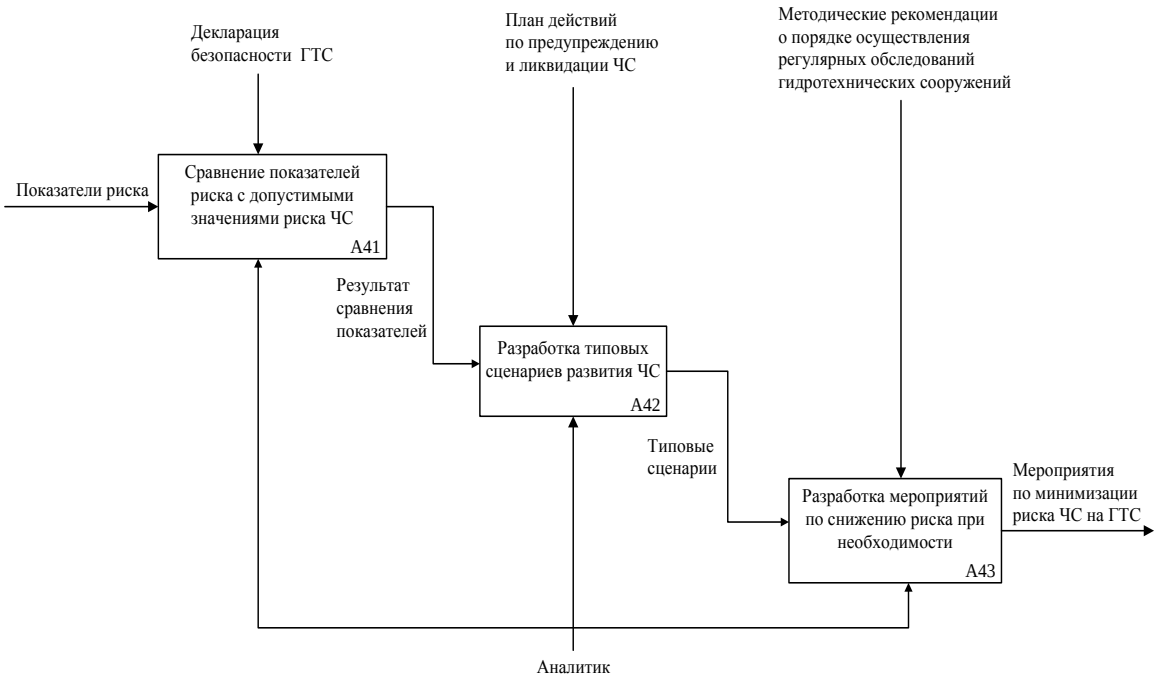


Рис. 6. **Диаграмма А5 – декомпозиция блока 4 диаграммы А1**

Заключение

На сегодняшний день для каждого вида ГТС разработана соответствующая модель управления рисками ЧС на объекте. С целью унификации и удобства использования для специалистов была разработана универсальная модель управления рисками ЧС на гидротехническом объекте. Данная модель позволяет по имеющимся сведениям о конкретном гидротехническом объекте определить тип объекта, присущие ему факторы опасности, наиболее вероятные аварии, а также показатели риска ЧС и соответствующие им разработанные заранее типовые сценарии развития ЧС с мероприятиями по минимизации риска определённого вида аварий. Таким образом, предложенная модель выступает в качестве начального этапа решения задачи обеспечения безопасности на гидротехнических объектах.

Список источников

1. СП 58.13330.2012. Гидротехнические сооружения // ЭЛЕКТРОННЫЙ ФОНД правовой и нормативно-технической документации. URL: http://www.docs.cntd.ru (дата обращения: 20.12.2022).

2. Малик Л.К. Чрезвычайные ситуации, связанные с гидротехническим строительством (ретроспективный обзор) // Гидротехническое строительство. 2009. С. 2–16.

3. Едаменко А.С., Лежанко В.А. Диагностика опасностей гидротехнических сооружений на примере Белгородского водохранилища // Технологии техносферной безопасности. 2020. Вып. 2 (88). С. 63–73.

4. Белов П.Г., Киселева Ю.В. Прогнозирование и снижение риска чрезвычайных ситуаций, вызванных разгерметизацией гидротехнических сооружений // Глобальная и национальные стратегии управления рисками катастроф и стихийных бедствий. 2015. С. 47.

5. Белов П.Г. Априорная оценка и снижение риска аварии гидротехнического сооружения на основе моделирования // Безопасность труда в промышленности. 2019. № 2. С. 26–34.

6. Бахтизин В.В., Глухова Л.А. Методология функционального проектирования IDEF0: учеб. пособие по курсу «Технология разработки программного обеспечения» для

студ. спец. 40.01.01 «Программное обеспечение информационных технологий дневной формы обучения». Мн.: БГУИР, 2003. С. 1–24.

7. Daniel R.A., Paulus T.M. Managing accidents and failures of hydraulic structure // MATEC Web of Conferences. 2019. P. 1–12.

8. Presley A., Liles D.H. The use of IDEF0 for the design and specification of methodologie: The University of Texas at Arlington. 2018. P. 93–107.

9. Dorador J.M., Young R.I.M. Application of IDEF0, IDEF3 and UML methodologies in the creation of information models // International Journal of Computer Integrated Manufacturing. 2010. P. 430–445.

10. Tian J., Chen C. The whole life cycle model of China’s PPP water project: based on IDEF0 approach // International Conference on Energy Resources and Sustainable Development. 2021. P. 63–67.

11. Цуканова О.А. Методология и инструментарий моделирования бизнес-процессов: учеб. пособие. СПб.: Ун-т ИТМО, 2015. С. 54.

12. Соболь С.В., Февралев А.В. Безопасность гидротехнических объектов: учеб. пособие. Н. Новгород: ННГАСУ, 2018. С. 98–102.

References

1. SP 58.13330.2012. Gidrotekhnicheskie sooruzheniya // ELEKTRONNYJ FOND pravovoj i normativno-tekhnicheskoj dokumentacii. URL: http://www.docs.cntd.ru (data obrashcheniya: 20.12.2022).

2. Malik L.K. Chrezvychajnye situacii, svyazannye s gidrotekhnicheskim stroitel'stvom (retrospektivnyj obzor) // Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo. 2009. S. 2–16.

3. Edamenko A.S., Lezhanko V.A. Diagnostika opasnostej gidrotekhnicheskih sooruzhenij na primere Belgorodskogo vodohranilishcha // Tekhnologii tekhnosfernoj bezopasnosti. 2020. Vyp. 2 (88). S. 63–73.

4. Belov P.G., Kiseleva Yu.V. Prognozirovanie i snizhenie riska chrezvychajnyh situacij, vyzvannyh razgermetizaciej gidrotekhnicheskih sooruzhenij // Global'naya i nacional'nye strategii upravleniya riskami katastrof i stihijnyh bedstvij. 2015. S. 47.

5. Belov P.G. Apriornaya ocenka i snizhenie riska avarii gidrotekhnicheskogo sooruzheniya na osnove modelirovaniya // Bezopasnost' truda v promyshlennosti. 2019. № 2. S. 26–34.

6. Bahtizin V.V., Gluhova L.A. Metodologiya funkcional'nogo proektirovaniya IDEF0: ucheb. posobie po kursu «Tekhnologiya razrabotki programmnogo obespecheniya» dlya stud. spec. 40.01.01 «Programmnoe obespechenie informacionnyh tekhnologij dnevnoj formy obucheniya». Mn.: BGUIR, 2003. S. 1–24.

7. Daniel R.A., Paulus T.M. Managing accidents and failures of hydraulic structure // MATEC Web of Conferences. 2019. P. 1–12.

8. Presley A., Liles D.H. The use of IDEF0 for the design and specification of methodologie: The University of Texas at Arlington. 2018. P. 93–107.

9. Dorador J.M., Young R.I.M. Application of IDEF0, IDEF3 and UML methodologies in the creation of information models // International Journal of Computer Integrated Manufacturing. 2010. P. 430–445.

10. Tian J., Chen C. The whole life cycle model of China’s PPP water project: based on IDEF0 approach // International Conference on Energy Resources and Sustainable Development. 2021. P. 63–67.

11. Cukanova O.A. Metodologiya i instrumentarij modelirovaniya biznes-processov: ucheb. posobie. SPb.: Un-t ITMO, 2015. C. 54.

12. Sobol' S.V., Fevralev A.V. Bezopasnost' gidrotekhnicheskih ob"ektov: ucheb. posobie. N. Novgorod: NNGASU, 2018. C. 98–102.

Информация о статье:
Статья поступила в редакцию: 17.01.2023; одобрена после рецензирования: 23.03.2023; принята к публикации: 25.03.2023
The information about article:
The article was submitted to the editorial office: 17.01.2023; approved after review: 23.03.2023; accepted for publication: 25.03.2023

Информация об авторах:
Смолякова Анастасия Сергеевна, адъюнкт Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: an.ser76@ya.ru, https://orcid.org/0000-0002-8950-682X
Щетка Владимир Федорович, профессор кафедры системного анализа и антикризисного управления Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат военных наук, профессор, e-mail: vfsche@mail.ru

Information about the authors:
Smolyakova Anastasia S., associate professor of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), e-mail: an.ser76@ya.ru, https://orcid.org/0000-0002-8950-682X
Shchetka Vladimir F., professor of the department of system analysis and crisis management of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), candidate of military sciences, professor, e-mail: vfsche@mail.ru

Научная статья
УДК 519.816

МОДЕЛЬ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ РЕАГИРОВАНИИ НА ЧРЕЗВЫЧАЙНЫЕ СИТУАЦИИ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

✉**Шофеев Тимур Германович.**
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия
✉***long.live.timbas@yandex.ru***

Аннотация. Проблема принятия управленческих решений, направленных на снижение возможного социального и экономического ущерба, при реагировании на чрезвычайные ситуации осложняется высокой степенью неопределенности информации. В условиях неопределенности широкое применение нашли методы теории игр, в основе которых лежит тезис о рациональности действий лица, принимающего решения. Однако различные исследования показывают, что лица, принимающие решения, в условиях чрезвычайных ситуаций обладают ограниченной рациональностью. Решения им приходится принимать в условиях значительного риска и неопределенности, существует потенциальная возможность получить неблагоприятные результаты в виде значительного размера ущерба. Данные факторы оказывают существенное влияние на выбор оптимальных решений. В данной статье предлагается расширить возможности применения методов теории игр при решении задач реагирования на чрезвычайные ситуации, объединив их с потенциальными преимуществами теории перспектив, учитывающей ограниченную рациональность лиц, принимающих решения.

Ключевые слова: принятие решений, реагирование на чрезвычайные ситуации, теория игр, теория перспектив, оптимальное решение

Для цитирования: Шофеев Т.Г. Модель принятия решений при реагировании на чрезвычайные ситуации в условиях неопределенности // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2023. № 1. С. 190–203.

Scientific article

DECISION-MAKING MODEL FOR EMERGENCY RESPONSE UNDER UNCERTAINTY

✉**Shofeev Timur G.**
Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia
✉***long.live.timbas@yandex.ru***

Abstract. The problem of making management decisions aimed at reducing the possible social and economic damage when responding to emergencies is complicated by a high degree of information uncertainty. In conditions of uncertainty, game theory methods have been widely used, based on the thesis of the rationality of the decisionmaker's actions. However, various studies show that decision makers in emergency situations have limited rationality. They have to make decisions under conditions of significant risk and uncertainty, and there is a potential for adverse outcomes in the form of a significant amount of damage. These factors have a significant impact on the choice of optimal solutions. This paper proposes extending the application of game theory methods to emergency response problems by combining them with the potential advantages of prospect theory, which takes into account the limited rationality of decision makers.

Keywords: decision making, emergency response, game theory, perspective theory, optimal decision

© Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2023

For citation: Shafeev T.G. Decision-making model for emergency response under uncertainty // Scientific and analytical journal «Vestnik Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia». 2023. № 1. P. 190–203.

Введение

Проблема принятия адекватных управленческих решений на этапе реагирования на чрезвычайные ситуации (ЧС) различного характера остается в настоящее время важной и актуальной. Так, на основе полученных данных из Международной базы по стихийным бедствиям (EM-DAT) за 2022 г. во всем мире было зарегистрировано 432 крупных ЧС, что значительно выше среднего показателя в 357 ЧС за 2001–2021 гг. [1]. Произошедшие ЧС привели к 10 492 погибшим, 101,8 млн травмированных с общим экономическим ущербом около 252,1 млрд долл. США. В Российской Федерации также наблюдается рост динамики ЧС в 2022 г. (+16,6 %) и как результат повышение показателей количества жертв (+39,1 %), травмированных (+78,5 %) и материального ущерба (+12,8 %) [2].

С учетом сложившейся негативной тенденции роста числа происшествий, воздействия их на безопасность населения и социально-экономическую сферу государства, стоит задача обоснования путей снижения возможного ущерба и воздействия на окружающую среду, что, несомненно, требует научного подхода и проведения соответствующих исследований. Во многом данная задача решается за счет принятия правильных оперативных решений на этапе реагирования на различного рода происшествия.

Проблема принятия управленческих решений, направленных на снижение возможного социального и экономического ущерба, при реагировании на ЧС осложняется высокой степенью неопределенности информации различной природы. Если в условиях полной определенности любое действие лицом, принимающим решение (ЛПР), однозначно приводит к определенному конечному результату, то в условиях неопределенности каждое действие (стратегия) ЛПР может привести к множеству возможных результатов. При этом данная проблема имеет большую социальную значимость, и от ЛПР в условиях неопределенности требуется выбрать оптимальную альтернативу действий при реагировании на ЧС в интересах минимизации числа пострадавших и стабилизации складывающейся обстановки на территории.

При решении задач принятия управленческих решений в условиях неопределенности широкое применение нашли методы теории игр. Но в основе данных подходов лежит тезис о рациональности действий ЛПР. Различные исследования показывают, что ЛПР в условиях ЧС обладает ограниченной рациональностью, так как приходится управлять сложными динамическими системами в условиях значительного риска и неопределенности, обусловливающими возможность получить неблагоприятные результаты, что оказывает существенное влияние на выбор принимаемых решений и поведения в целом. В данном исследовании предлагается расширить возможности применения методов теории игр при решении задач реагирования на ЧС, объединив их с потенциальными преимуществами теории перспектив, учитывающей ограниченную рациональность ЛПР.

Методы исследований

Игровые модели принятия решений в условиях ЧС относятся к классу игр с природой. Несомненно, методы теории игр [3] являются полезным инструментом для обеспечения математического обоснования процесса выбора оптимальной стратегии для одного игрока по отношению ко всем возможным стратегиям других игроков на протяжении всей игры. То есть теория игр в целом может помочь ЛПР выбрать надлежащие меры для решения различных ситуаций, которые могут возникнуть в ходе реальных ЧС [4, 5]. Проблема принятия решений в ЧС представляет собой типичную антагонистическую игру, если мы рассматриваем внешнюю среду (природу), генерирующую потенциальные опасности,

и ЛПР как игроков, в которой развитие ЧС и процесс реагирования могут рассматриваться в качестве неких сценариев игроков. Но необходимо отметить, что методы принятия решений в ЧС, основанные на классической теории игр, предполагают, что игрок (ЛПР) обладает в полной мере рациональностью [6].

Принятие решений в условиях ЧС требует от ЛПР, как правило, нетривиальных решений, так как характер любой ЧС отличается высокой динамикой, риском и неопределенностью [7–9]. Научные работы в данной предметной области показывают, что ЛПР в условиях ЧС обладает ограниченной рациональностью, так как находится под большим психологическим давлением, которое определяется возможностью наступления огромного социального или материального ущерба, что оказывает существенное влияние на его решения при управлении в сложной обстановке. И, конечно, данные факторы хотелось бы учитывать в модели принятия решений.

Наибольший вклад в развитие концепции ограниченной рациональности, которая позже трансформировалась в теорию перспектив, внесли труды Д. Канемана, А. Тверски и К. Становича [10–12].

Теория игр, как один из разделов исследования операций, позволяет математически обосновать выбор наилучшей стратегии действий для каждой возможной ситуации, сложившейся между игроками в процессе всей игры. Данные подходы теории игр вполне могут иметь место для задач принятия решений в условиях ЧС, в которых ЛПР должен иметь соответствующее решение в отношении различных проявлений ЧС.

Не нарушая общности рассуждений, процесс принятия решения можно представить в следующем виде, как $F=\{(S_i;V_i),\ i=1,\ 2\}$, где S_i и V_i стратегии и выигрыши i-го игрока (где 1 – среда, 2 – ЛПР). Стратегия S_i определяется как $S_i=\{S_{ik_i}\}$, где k_i – множество стратегий i-го игрока. Таким образом, в рамках сформулированной задачи управления в ЧС для среды (природы) набор ситуаций ЧС примет вид $S_1=\{S_{1\theta},\theta=1,2,\ldots,k_1\}$, для ЛПР же набор решений (альтернатив) по реагированию на θ ЧС будет $S_2=\{S_{2\delta},\delta=1,2,\ldots,k_2\}$. В случае если $V_1(S_1)+V_2(S_2)=0$, то такая игра будет являться игрой с нулевой суммой.

На практике все игры с природой делятся на динамические и статические. Статическая характеризуется тем, что в ней участники совершают одновременные и последовательные действия, не зная точной информации о действиях другой стороны, в противном случае игра будет динамической. С одной стороны, казалось бы, что в задачах принятия решений в ЧС природа всегда совершает действие первой, поэтому рассматриваемый процесс может относиться к типу динамической игры. Но в реальности из-за неточной и неполной информации о ЧС, отсутствии информации о сценарии ее развития рассматриваемую игру логичнее рассматривать в качестве статической. Дерево такой игры представлено на рис. 1.

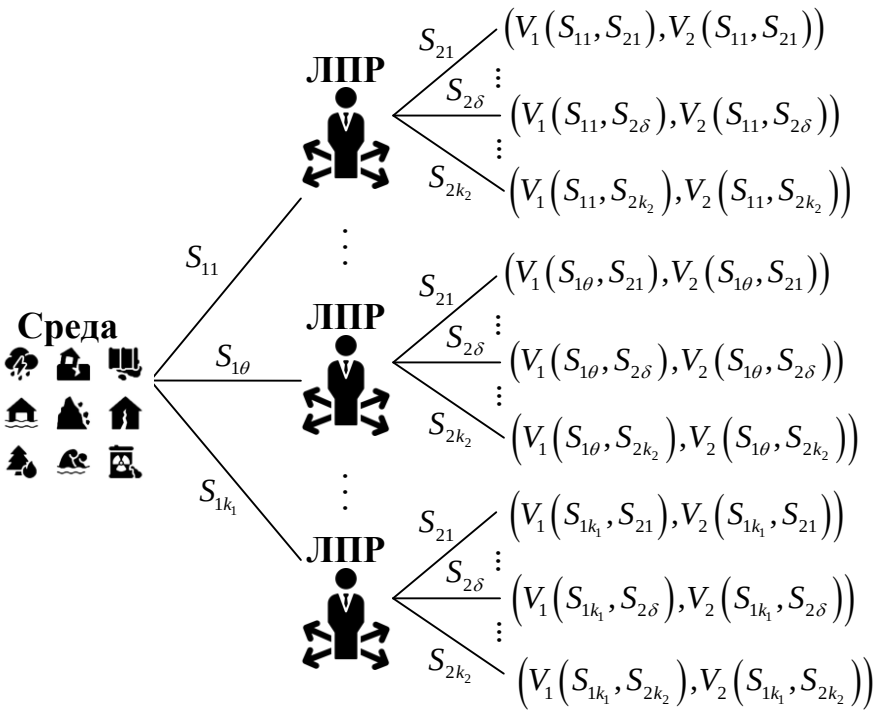


Рис. 1. **Дерево игры между природой и ЛПР**

Так как допустимо описывать задачу принятия решений в условиях ЧС в виде статической игры, то платежная матрица игры может быть представлена в виде табл. 1.

Таблица 1

Платежная матрица игры

		СРЕДА				
		S_{11}	..	$S_{1\theta}$	…	S_{1k_1}
ЛПР	S_{21}	$\left(V_1\left(S_{11},S_{21}\right),V_2\left(S_{11},S_{21}\right)\right)$	..	$\left(V_1\left(S_{1\theta},S_{21}\right),V_2\left(S_{1\theta},S_{21}\right)\right)$	…	$\left(V_1\left(S_{1k_1},S_{21}\right),V_2\left(S_{1k_1},S_{21}\right)\right)$
	⋮		..		…	
	$S_{2\delta}$	$\left(V_1\left(S_{11},S_{2\delta}\right),V_2\left(S_{11},S_{2\delta}\right)\right)$	..	$\left(V_1\left(S_{1\theta},S_{2\delta}\right),V_2\left(S_{1\theta},S_{2\delta}\right)\right)$	…	$\left(V_1\left(S_{1k_1},S_{2\delta}\right),V_2\left(S_{1k_1},S_{2\delta}\right)\right)$
	⋮		..		…	
	S_{2k_2}	$\left(V_1\left(S_{11},S_{2k_2}\right),V_2\left(S_{11},S_{2k_2}\right)\right)$	..	$\left(V_1\left(S_{1\theta},S_{2k_2}\right),V_2\left(S_{1\theta},S_{2k_2}\right)\right)$	…	$\left(V_1\left(S_{1k_1},S_{2k_2}\right),V_2\left(S_{1k_1},S_{2k_2}\right)\right)$

В общем виде схема игрового процесса между средой, генерирующей ЧС, и ЛПР представлена на рис. 2, при этом предполагается, что среда выбирает свою стратегию случайным образом.

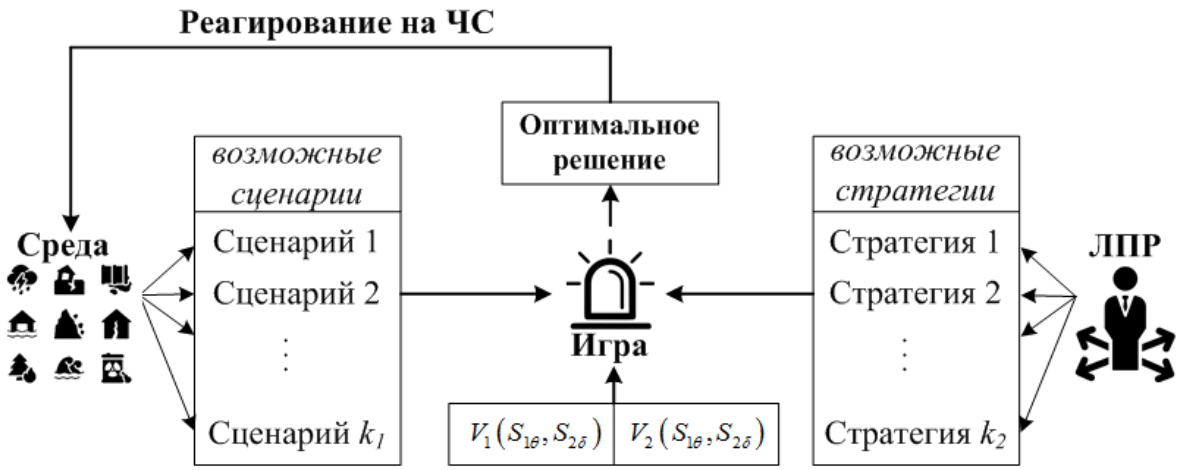


Рис. 2. **Схема игры между средой и ЛПР**

Как указывалось выше, психологическое состояние ЛПР, находящегося под давлением, является ключевым и важным фактором в процессе принятия решений в условиях ЧС. Но такой важный вопрос игнорируется в теории игр, поэтому для решения данной проблемы предлагается применить методы теории перспектив, позволяющие в некотором смысле снять данное ограничение.

Теория перспектив впервые была представлена в исследованиях Д. Канемана и А. Тверски и позже ими была переопределена как теория экономического поведения. Авторами данной теории был определен метод для описания психологического поведения ЛПР с применением функции ценности, базисных точек (среднего ожидания относительно определенной выгоды или потерь), выигрышей и возможных потерь. Простота вычисления и четкая логика данной теории позволяют говорить об области применения не только в задачах, связанных с принятием решений в экономике, но и в целом, где необходимо учитывать психологическое поведение ЛПР, что в полной мере соответствует проблеме принятия решений ЛПР при реагировании на ЧС [13, 14].

В общем виде в процессе принятия решений на основе применения теории перспектив рассматриваются следующие этапы (фазы) [10]:

1. Этап редактирования, на котором ЛПР в соответствии с определенной заранее базисной точкой определяет для себя потенциальные выигрыши и потери для рассматриваемых перспектив (альтернатив).

2. Этап оценки. На данном этом этапе проходит оценка значений отдельных перспектив на основе функции ценности, затем общие значения альтернатив рассчитываются на основе значений перспектив и функции весов.

3. Этап выбора, где альтернативный вариант с наибольшим значением показателя ценности будет выбран как наилучший в рамках решения проблемы принятия решения в условиях складывающейся обстановки.

Согласно теории перспектив, ЛПР обычно более чувствительны к потерям, чем к выигрышам, и их психологическое поведение демонстрирует стремление к риску ради потерь и неприятие риска ради выигрыша [15, 16], что совершенно не учитывается в классических подходах при использовании игровых моделей в принятии решений. Причем для ЛПР возможные потери кажутся намного серьезнее, чем потенциальные выигрыши. Данные рассуждения формируют соответствующий вид функции ценности, которая определяется с учетом отклонений от базисной точки, имеет выпуклую форму в области потерь и вогнутую форму в области выигрышей, а также имеет наиболее крутой наклон в базисной точке (рис. 3) [11]. Функция ценности в теории перспектив связана с базисной точкой и выражается степенной *S*-образной функцией в виде:

$$v(x)=\begin{cases} x^{\alpha},\ x\geq 0 \\ -\lambda(-x)^{\beta},\ x<0 \end{cases},$$

где α – параметр, относящийся к выигрышам; β – параметр, связанный с потерями; $0\leq\alpha$, $\beta\leq 1$, $x\geq 0$ – обозначает выигрыши, $x<0$ – потери, λ – обозначает параметр неприятия риска, $\lambda>1$. Значения параметров α, β и λ определяются с помощью экспериментов.

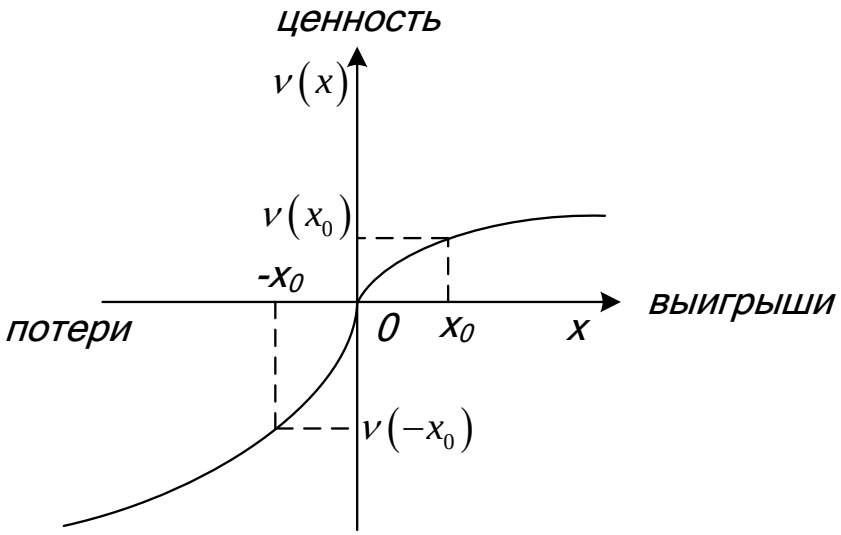


Рис. 3. **Функция ценности в теории перспектив**

В целях решения задачи принятия решений при реагировании на ЧС необходимо учитывать вышеописанные психологические особенности ЛПР, а значит, перспективным представляется процесс объединения преимуществ теории игр и теории перспектив для получения их синергетического эффекта. Общая схема принятия решений в условиях ЧС при использовании теории игр и теории перспектив представлена на рис. 4. В целом ее можно представить в виде трех основных этапов:

1. Формализация задачи принятия решений при реагировании на ЧС, входных и выходных параметров модели, критериев выбора оптимальных решений.

2. Вычисление общих значений ценности перспектив: в этой части функция ценности будет использоваться для вычисления общих значений перспектив в соответствии с потенциальными выигрышами и потерями.

3. Определение оптимальной альтернативы (стратегии) реагирования на соответствующую ЧС на основе анализа платежной матрицы игры с учетом психологического поведения ЛПР, формализованного с помощью подхода теории перспектив.

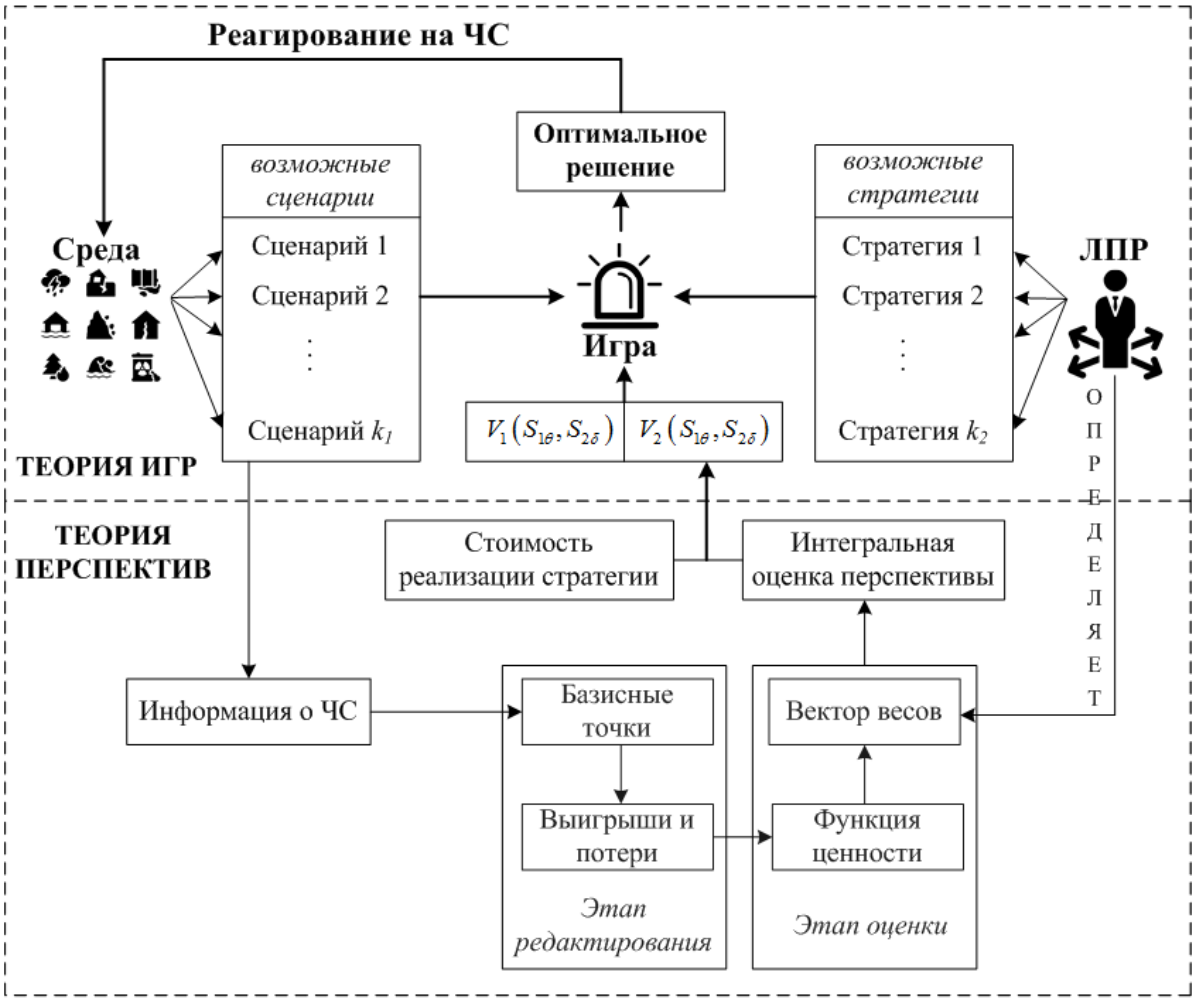


Рис. 4. **Общая схема принятия решений в условиях ЧС при использовании теории игр и теории перспектив**

Результаты исследования и их обсуждение

Формализация задачи

Как правило, особенно на начальном этапе возникновения и развития ЧС, поступающая информация может быть противоречивой и неполной, а также может динамически меняться. В связи с этим ЛПР достаточно сложно описать ЧС, используя точные оценки входных параметров. Поэтому для оценки возможного ущерба и потерь от ЧС будут использоваться интервальные значения, а точечные – для стоимости каждого из множества альтернативных решений [17]. В рамках формализации решаемой задачи введены следующие обозначения:

$S_1 = \{S_{1\theta}\}$ – множество возможных ситуаций, возникающих при ЧС, генерируемых средой, где $\theta = 1,\ 2, \ldots,\ k_1$.

$S_2 = \{S_{2\delta}\}$ – множество стратегий (альтернативных действий) ЛПР при реагировании на ЧС, где $\delta = 1,\ 2, \ldots,\ k_2$.

$X = \{X_m\}$ – множество критериев (например, количество погибших, пострадавших, размер материального ущерба, ущерб окружающей среде и др.), где $m = 1,\ 2, \ldots,\ M$.

$W_{X_m} = \left(\omega_{X_1}, \ldots, \omega_{X_m}\right)$ – вектор весов критериев, где W_{X_m} представляет собой вес *m*-го критерия, $\sum_{m=1}^{M} \omega_{X_m} = 1$, $\omega_{X_m} \in [0,\ 1]$, $m = 1,\ 2, \ldots,\ M$.

C_δ – экономическая оценка стоимости принятия δ-действия при реагировании на ЧС, где $\delta = 1,\ 2, \ldots,\ k_2$.

$R_{\theta m} = \left[R_{\theta m}^L,\ R_{\theta m}^H\right]$, $R_{\theta m}^H > R_{\theta m}^L$ – верхние и нижние значения базисных точек, определяемые ЛПР для каждого *m*-го критерия в θ-й ситуации ($m = 1,\ 2, \ldots,\ M$, $\theta = 1,\ 2, \ldots,\ k_1$), которые определяют психологические ориентиры для ЛПР.

$E_{\delta m} = \left[E_{\delta m}^L,\ E_{\delta m}^H\right]$, $E_{\delta m}^H > E_{\delta m}^L$ – интервал прогнозируемого ущерба, в котором $E_{\delta m}^L$ и $E_{\delta m}^H$ представляют собой нижнее и верхнее значение ущерба от ЧС при реализации δ-го варианта решения относительно *m*-го критерия. $E_{\delta m}$ обычно определяется оперативным штабом на месте ЧС, $m = 1,\ 2, \ldots,\ M$, $\delta = 1,\ 2, \ldots,\ k_2$.

Оценка выигрышей и потерь при выборе альтернативных стратегий ЛПР

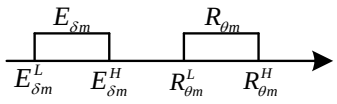
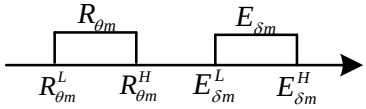
В условиях возникшей ЧС и ее возможных ситуаций для принятия решения ЛПР необходимо собрать соответствующую информацию о возможных рисках и перспективах развития негативно складывающейся обстановки, потенциальных потерях. Согласно собранной информации, ЛПР формирует соответствующую базисную точку $R_{\theta m}$ для *m*-го критерия X_m в θ-й ситуации $S_{1\theta}$. Выигрыши и потери могут быть определены на основе базисных точек $R_{\theta m}$ и предварительно определенного интервала прогнозируемого ущерба $E_{\delta m}$ для различных альтернативных вариантов действия ЛПР.

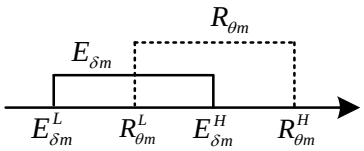
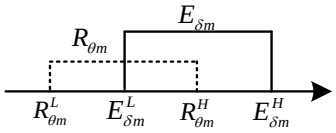
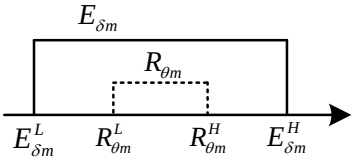
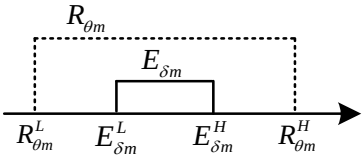
Поскольку как базисные точки, так и заранее прогнозируемый ущерб выражены в виде интервальных значений, то должно быть проанализировано взаиморасположение интервалов $R_{\theta m}$ и $E_{\delta m}$ в интересах оценки потенциальных выигрышей и потерь в платежной матрице игры при принятии соответствующих действий ЛПР.

Все возможные варианты расположения интервалов $R_{\theta m}$ и $E_{\delta m}$ относительно друг друга представлены в табл. 2.

Таблица 2

Варианты возможных расположений интервальных значений $R_{\theta m}$ и $E_{\delta m}$

Вариант взаиморасположения		Графическое изображение взаиморасположения интервалов
1	$E_{\delta m}^H < R_{\theta m}^L$	
2	$R_{\theta m}^H < E_{\delta m}^L$	

Вариант взаиморасположения		Графическое изображение взаиморасположения интервалов
3	$E_{\delta m}^{L} < R_{\theta m}^{L} < E_{\delta m}^{H} < R_{\theta m}^{H}$	
4	$R_{\theta m}^{L} < E_{\delta m}^{L} < R_{\theta m}^{H} < E_{\delta m}^{H}$	
5	$E_{\delta m}^{L} < R_{\theta m}^{L} < R_{\theta m}^{H} < E_{\delta m}^{H}$	
6	$R_{\theta m}^{L} < E_{\delta m}^{L} < E_{\delta m}^{H} < R_{\theta m}^{H}$	

Если значение прогнозируемого ущерба при определенной альтернативе оказывается выше заданной базисной точки, то часть превышения может рассматриваться в качестве потери ЛПР. В случае если размер ущерба альтернативы ниже базисной точки, то оставшаяся часть может рассматриваться как выигрыш для ЛПР. В табл. 3, 4 представлены формулы расчета значений выигрышей ($G_{\delta m}$) и потерь ($L_{\delta m}$) для всех возможных вариантов расположения интервалов $R_{\theta m}$ и $E_{\delta m}$ относительно друг друга.

Таблица 3

Формулы расчета значений $G_{\delta m}$ и $L_{\delta m}$ ЛПР относительно критерия «потери»

Вариант взаиморасположения		Выигрыши $G_{\delta m}$	Потери $L_{\delta m}$
1	$E_{\delta m}^{H} < R_{\theta m}^{L}$	$R_{\theta m}^{L} - 0.5\left(E_{\delta m}^{L} + E_{\delta m}^{H}\right)$	0
2	$R_{\theta m}^{H} < E_{\delta m}^{L}$	0	$R_{\theta m}^{H} - 0.5\left(E_{\delta m}^{L} + E_{\delta m}^{H}\right)$
3	$E_{\delta m}^{L} < R_{\theta m}^{L} < E_{\delta m}^{H} < R_{\theta m}^{H}$	$0.5\left(R_{\theta m}^{L} - E_{\delta m}^{L}\right)$	0
4	$R_{\theta m}^{L} < E_{\delta m}^{L} < R_{\theta m}^{H} < E_{\delta m}^{H}$	0	$0.5\left(R_{\theta m}^{H} - E_{\delta m}^{H}\right)$
5	$E_{\delta m}^{L} < R_{\theta m}^{L} < R_{\theta m}^{H} < E_{\delta m}^{H}$	$0.5\left(R_{\theta m}^{L} - E_{\delta m}^{L}\right)$	$0.5\left(R_{\theta m}^{H} - E_{\delta m}^{H}\right)$
6	$R_{\theta m}^{L} < E_{\delta m}^{L} < E_{\delta m}^{H} < R_{\theta m}^{H}$	0	0

Таблица 4

Формулы расчета значений $G_{\delta m}$ и $L_{\delta m}$ ЛПР относительно критерия «выигрыш»

Вариант взаиморасположения		Выигрыши $G_{\delta m}$	Потери $L_{\delta m}$
1	$E_{\delta m}^{H} < R_{\theta m}^{L}$	0	$0.5\left(E_{\delta m}^{L} + E_{\delta m}^{H}\right) - R_{\theta m}^{L}$
2	$R_{\theta m}^{H} < E_{\delta m}^{L}$	$0.5\left(E_{\delta m}^{L} + E_{\delta m}^{H}\right) - R_{\theta m}^{H}$	0
3	$E_{\delta m}^{L} < R_{\theta m}^{L} < E_{\delta m}^{H} < R_{\theta m}^{H}$	0	$0.5\left(E_{\delta m}^{L} - R_{\theta m}^{L}\right)$
4	$R_{\theta m}^{L} < E_{\delta m}^{L} < R_{\theta m}^{H} < E_{\delta m}^{H}$	$0.5\left(E_{\delta m}^{H} - R_{\theta m}^{H}\right)$	0
5	$E_{\delta m}^{L} < R_{\theta m}^{L} < R_{\theta m}^{H} < E_{\delta m}^{H}$	$0.5\left(E_{\delta m}^{H} - R_{\theta m}^{H}\right)$	$0.5\left(E_{\delta m}^{L} - R_{\theta m}^{L}\right)$
6	$R_{\theta m}^{L} < E_{\delta m}^{L} < E_{\delta m}^{H} < R_{\theta m}^{H}$	0	0

На основе вычисленных значений выигрышей и потерь, представленных в табл. 3, 4, может быть сформирована матрица выигрышей GM_{θ} и матрица потерь LM_{θ}. Для матрицы GM_{θ} оптимальным решением ЛПР будет наибольшее значение выигрыша, для матрицы LM_{θ} – наименьшее значение потерь.

Далее общие значения перспектив могут быть рассчитаны с помощью функции ценности на основе построенной матрицы прибылей и убытков GM_{θ}, LM_{θ}. Матрицу выигрышей в θ-й ситуации обозначим $GM_{\theta} = \left(G_{\theta\delta m}\right)_{\delta\times m}$, а матрицу потерь $LM_{\theta} = \left(L_{\theta\delta m}\right)_{\delta\times m}$.

Для оценки значений перспектив строятся матрицы ценностей в каждой θ-й ситуации $VM_{\theta} = \left(\nu_{\theta\delta m}\right)_{\delta\times m}$, где:

$$\nu_{\theta\delta m} = G_{\theta\delta m}{}^{\alpha} + \left[-\lambda\left(-L_{\theta\delta m}\right)^{\beta}\right],\ \theta = 1,\ 2,\ldots,\ k_1,\ \delta = 1,\ 2,\ldots,\ k_2,\ m = 1,\ 2,\ldots,\ M\ . \quad (1)$$

В данном выражении $\nu_{\theta\delta m}$ означает значение перспективы $S_{2\delta}$ в ситуации $S_{1\theta}$ по отношению к критерию X_m. Решение проблемы выбора значений параметров α, β и λ описаны в работе [11]. Уравнение (1) будет использоваться для оценки степени выигрышей и потерь. Чем выше значение $\nu_{\theta\delta m}$, тем в большей степени решение будет удовлетворять ЛПР.

По причине того, что при оценке решения используется несколько критериев, имеющих разные единицы измерения, а требуется формирование интегрального показателя оценки перспектив ЛПР, то необходимо $\nu_{\theta\delta m}$ привести к одним и тем же единицам измерения. Добиться этого можно за счет нормализации матрицей ценностей по каждому из критериев. Таким образом, нормированная матрица ценностей $\overline{VM_{\theta}} = \left(\bar{\nu}_{\theta\delta m}\right)_{\delta\times m}$ может быть получена следующим образом:

$$\bar{\nu}_{\theta\delta m} = \frac{\nu_{\theta\delta m}}{\nu^{*}_{\theta\delta}},\ \theta = 1,\ 2,\ldots,\ k_1,\ \delta = 1,\ 2,\ldots,\ k_2,\ m = 1,\ 2,\ldots,\ M\ , \quad (2)$$

где $\nu^{*}_{\theta\delta} = \max\limits_{m\in M}\left|\nu_{\theta\delta m}\right|$.

На основе нормализованной матрицы ценностей $\overline{VM_{\theta}}$ и вектора весов критериев W_{X_m} интегральные оценки перспектив каждой альтернативы $S_{2\delta}$ могут быть рассчитаны с помощью свертки оценок по каждому критерию:

$$O_{\theta\delta} = \sum_{m=1}^{M}\bar{\nu}_{\theta\delta m} w_{X_m},\ \theta = 1,\ 2,\ldots,\ k_1,\ \delta = 1,\ 2,\ldots,\ k_2,\ m = 1,\ 2,\ldots,\ M\ . \quad (3)$$

Выбор оптимальной стратегии на основе анализа выигрышей

Выигрыши среды и ЛПР будут определяться на основе интегральных оценок перспектив $O_{\theta\delta}$, полученных с помощью выражения (3). На основе выигрышей среды и ЛПР можно выбрать оптимальное альтернативное решение.

Как было отмечено выше, рассматриваемая игра относится к игре с нулевой суммой между разумным игроком и природой, поэтому достаточно рассматривать оценку выигрышей ЛПР для принятия решений по реагированию на ЧС.

Поскольку каждое альтернативное решение ЛПР имеет свою экономическую оценку стоимости затрат на его реализацию C_δ, то предлагается рассматривать значения удельной стоимости каждой альтернативы:

$$P_2\left(S_2\right) = f\left(O_{\theta\delta}, C_\delta\right) = \frac{O_{\theta\delta}}{C_\delta},\ \theta = 1,\ 2, \ldots,\ k_1,\ \delta = 1,\ 2, \ldots,\ k_2. \quad (4)$$

Выбор оптимальной стратегии ЛПР применительно к каждому сценарию ЧС осуществляется следующим образом:

$$P_2\left(S_{1\theta}, S_{2\delta}^*\right) = \max_{\delta \in k_2} P_2\left(S_{1\theta}, S_{2\delta}\right). \quad (5)$$

В терминах теории игр совокупность стратегий $\left(S_{1\theta}, S_{2\delta}^*\right)$ означает, что если среда сгенерировала ситуацию $S_{1\theta}$ в качестве своей стратегии, то оптимальным решением для ЛПР будет стратегия $S_{2\delta}^*$.

В целом алгоритм решения задачи выбора решения ЛПР при реагировании на ЧС будет состоять из следующих последовательных шагов:

1. На основе исходных данных об интервальных значениях базисных точек $R_{\theta m}$ и прогнозируемого ущерба $E_{\delta m}$ оцениваются потенциальные выигрыши и потери с помощью уравнений, представленных в табл. 3, 4. Рассчитанные потенциальные выигрыши и потери формируют матрицы выигрышей и потерь GM_θ, LM_θ.

2. Формируются матрицы ценности VM_θ с помощью выражения (1), после чего происходит процесс их нормализации $\overline{VM_\theta}$, с использованием выражения (2).

3. Строится интегральная оценка $O_{\theta\delta}$ стратегий ЛПР за счет свертки оценок по каждому критерию с помощью уравнения (3).

4. С учетом финансовых ресурсов, требуемых на реализацию каждой из стратегий ЛПР C_δ, оцениваются значения их удельных стоимостей с помощью выражения (4).

5. Выбор оптимальной стратегии ЛПР применительно к каждому сценарию из множества возможных ЧС в соответствии с выражением (5).

Заключение

Происходящие в последние годы различные ЧС оказывают крайне негативное воздействие на социально-экономическое развитие регионов, стран. В связи с этим актуализируется проблема принятия различных управленческих решений, направленных на контроль ситуации, снижение возможного социального и экономического ущерба. Важной задачей при управлении в ЧС является вопрос об оперативности и эффективности реагирования [18, 19], а также выборе оптимального решения из множества альтернатив на более ранней стадии ЧС.

Существующие подходы к решению задачи принятия управленческих решений при реагировании на ЧС в основном касаются проблем обработки противоречивой или неполной информации или к выбору альтернатив в условиях полной определенности. Многие подходы используют либо методы теории игр, либо модели математического программирования [20]. Однако большинство данных исследований не учитывают факторы психологического поведения ЛПР, возможности учета динамических меняющихся характеристик развития ЧС и их влияние на выбор решения ЛПР в условиях риска и неопределенности.

С учетом этого в данной работе предложено использовать подходы теории перспектив, реализующие концепцию ограниченной рациональности ЛПР, разработанную Д. Канеманом и А. Тверски, совместно с классическими методами теории игр при решении задачи выбора альтернативных решении ЛПР при реагировании на ЧС.

По сравнению с известными подходами теории перспектив и с учетом противоречивой и неполной информации относительно характеристик ЧС, предлагаемый в статье подход задает нечеткое значение базисной точки в виде ее интервального значения. Таким образом, оказывается возможным учитывать динамические особенности ЧС, а также психологическое поведение ЛПР в условиях ЧС.

Дальнейшее развитие данного подхода возможно в расширении возможностей учета различных видов представления информации о ЧС, в частности в виде нечеткого представления информации, что в значительной степени осложняет процедуру обоснованного выбора принятия того или иного решения.

Список источников

1. EM-DET. URL: https://www.emdat.be// (дата обращения: 15.01.2023).

2. МЧС России. URL: https://mchs.gov.ru/deyatelnost/itogi-deyatelnosti-mchs-rossii/2021-god (дата обращения: 15.01.2023).

3. Саулова Т.А., Бас В.И. Методологические подходы к выбору и принятию решений о тушении лесных пожаров // Мониторинг, моделирование и прогнозирование опасных природных явлений и чрезвычайных ситуаций: материалы IX Всерос. науч.-практ. конф. 2019. С. 68–73. EDN CSHLKW.

4. Самороковский А.Ф. Использование элементов «теории игр» для принятия решений руководителем оперативного штаба при чрезвычайных обстоятельствах // Охрана, безопасность, связь. 2020. № 5-2. С. 87–91. EDN CYIEGB.

5. Хализев В.Н., Федоров С.Ю., Жданова Н.В. Математическая модель синтеза интегрированной системы безопасности на основе теории игр и применения квалиметрической оценки качества // Вестник УрФО. Безопасность в информационной сфере. 2018. № 3 (29). С. 43–49. DOI: 10.14529/SECUR180307. EDN YTEBCP.

6. Перевалов А.С., Сугак В.П. Игровые методы выбора оптимального плана проведения поисково-спасательных работ // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2013. № 3. С. 8–12. EDN RSMMEL.

7. Гинис Л.А., Вовк С.П. Определение четко доминирующих тактик для выработки альтернативных управляющих решений в условиях полной неопределенности // Инженерный вестник Дона. 2014. № 2 (29). С. 30. EDN SZBIUR.

8. Использование экспертных методов и методов теории игр при принятии решений в ходе аварийно-спасательных работ / А.Н. Домрачев [и др.] // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. 2014. № 1. С. 33–36.

9. Матвеев А.В. Методы моделирования и прогнозирования. СПб.: С.-Петерб. ун-т ГПС МЧС России, 2022. 230 с. ISBN 978-5-907116-73-3. EDN IMLKWS.

10. Канеман Д., Тверски А. Теория перспектив: анализ принятия решений в условиях риска // Экономика и математические методы. 2015. Т. 51. № 1. С. 3–25. EDN: TNIUGN.

11. Tversky A., Kahneman D. Advances in prospect theory: Cumulative representation of uncertainty // J. Risk Uncertain. 1992. № 5. P. 297–323.

12. Stanovich K.E., West R.F. Advancing the rationality debate // Behavioral and brain sciences. 2000. Vol. 23. № 5. 701–717.

13. Богатырев С.Ю. Теория перспектив: основы и сферы применения // Финансы и кредит. 2019. Т. 25. № 4 (784). С. 755–768.

14. Шаблаков А.Д., Соловьева И.А. Модель теории перспектив как вызов традиционной теории ожидаемой полезности // Молодой исследователь: материалы VI Науч. выставки-конф. науч.-технич. и творческих работ студентов. 2019. С. 372–377.

15. Пожилов Г.А. Теория перспектив: анализ и моделирование // Инновации. Наука. Образование. 2021. № 31. С. 963–967.

16. Земляков Ю.Д., Кулакова Ю.В., Лобковская О.З. Управленческое решение и методы его принятия // Вестник Международной академии системных исследований. Информатика, экология, экономика. 2011. Т. 13. № 2. С. 110–113. EDN PSMSXN.

17. Fauon Z.P., Liu Y. Multiple attribute decision making considering aspiration-levels: A method based on prospect theory // Comput. Ind. Eng. 2016. № 61. P. 331–351.

18. Воднев С.А., Матвеев А.В. Оценка эффективности реагирования аварийно-спасательных служб на чрезвычайные ситуации на транспорте // Проблемы управления рисками в техносфере. 2019. № 2 (50). С. 110–117. EDN XDDTYZ.

19. Крупкин А.А., Максимов А.В., Матвеев А.В. Методика оценки эффективности управления силами и средствами гарнизона пожарной охраны // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2015. № 4. С. 30–34. EDN VHNSPZ.

20. Матвеев А.В., Одоевский С.М. Оптимизация распределения ресурсов на защиту объектов от чрезвычайных ситуаций методом линейного программирования // Проблемы управления рисками в техносфере. 2011. № 4 (20). С. 24–32. EDN OUMMER.

References

1. EM-DET. URL: https://www.emdat.be// (data obrashcheniya: 15.01.2023).

2. MCHS Rossii. URL: https://mchs.gov.ru/deyatelnost/itogi-deyatelnosti-mchs-rossii/2021-god (data obrashcheniya: 15.01.2023).

3. Saulova T.A., Bas V.I. Metodologicheskie podhody k vyboru i prinyatiyu reshenij o tushenii lesnyh pozharov // Monitoring, modelirovanie i prognozirovanie opasnyh prirodnyh yavlenij i chrezvychajnyh situacij: IX Vseros. nauch.-prakt. konf. 2019. S. 68–73. EDN CSHLKW.

4. Samorokovskij A.F. Ispol'zovanie elementov «teorii igr» dlya prinyatiya reshenij rukovoditelem operativnogo shtaba pri chrezvychajnyh obstoyatel'stvah // Ohrana, bezopasnost', svyaz'. 2020. № 5-2. S. 87–91. EDN CYIEGB.

5. Halizev V.N., Fedorov S.Yu., Zhdanova N.V. Matematicheskaya model' sinteza integrirovannoj sistemy bezopasnosti na osnove teorii igr i primeneniya kvalimetricheskoj ocenki kachestva // Vestnik UrFO. Bezopasnost' v informacionnoj sfere. 2018. № 3 (29). S. 43–49. DOI: 10.14529/SECUR180307. EDN YTEBCP.

6. Perevalov A.S., Sugak V.P. Igrovye metody vybora optimal'nogo plana provedeniya poiskovo-spasatel'nyh rabot // Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MCHS Rossii». 2013. № 3. S. 8–12. EDN RSMMEL.

7. Ginis L.A., Vovk S.P. Opredelenie chetko dominiruyushchih taktik dlya vyrabotki al'ternativnyh upravlyayushchih reshenij v usloviyah polnoj neopredelennosti // Inzhenernyj vestnik Dona. 2014. № 2 (29). S. 30. EDN SZBIUR.

8. Ispol'zovanie ekspertnyh metodov i metodov teorii igr pri prinyatii reshenij v hode avarijno-spasatel'nyh rabot / A.N. Domrachev [i dr.] // Vestnik nauchnogo centra po bezopasnosti rabot v ugol'noj promyshlennosti. 2014. № 1. C. 33–36.

9. Matveev A.V. Metody modelirovaniya i prognozirovaniya. SPb.: S.-Peterb. un-t GPS MCHS Rossii, 2022. 230 s. ISBN 978-5-907116-73-3. EDN IMLKWS.

10. Kaneman D., Tverski A. Teoriya perspektiv: analiz prinyatiya reshenij v usloviyah riska // Ekonomika i matematicheskie metody. 2015. T. 51. № 1. S. 3–25. EDN: TNIUGN.

11. Tversky A., Kahneman D. Advances in prospect theory: Cumulative representation of uncertainty // J. Risk Uncertain. 1992. № 5. P. 297–323.

12. Stanovich K.E., West R.F. Advancing the rationality debate // Behavioral and brain sciences. 2000. Vol. 23. № 5. 701–717.

13. Bogatyrev S.Yu. Teoriya perspektiv: osnovy i sfery primeneniya // Finansy i kredit. 2019. T. 25. № 4 (784). S. 755–768.

14. Shablakov A.D., Solov'eva I.A. Model' teorii perspektiv kak vyzov tradicionnoj teorii ozhidaemoj poleznosti // Molodoj issledovatel': materialy VI Nauch. vystavki-konf. nauch.-tekhnich. i tvorcheskih rabot studentov. 2019. S. 372–377.

15. Pozhilov G.A. Teoriya perspektiv: analiz i modelirovanie // Innovacii. Nauka. Obrazovanie. 2021. № 31. S. 963–967.

16. Zemlyakov Yu.D., Kulakova Yu.V., Lobkovskaya O.Z. Upravlencheskoe reshenie i metody ego prinyatiya // Vestnik Mezhdunarodnoj akademii sistemnyh issledovanij. Informatika, ekologiya, ekonomika. 2011. T. 13. № 2. S. 110–113. EDN PSMSXN.

17. Fauon Z.P., Liu Y. Multiple attribute decision making considering aspiration-levels: A method based on prospect theory // Comput. Ind. Eng. 2016. № 61. P. 331–351.

18. Vodnev S.A., Matveev A.V. Ocenka effektivnosti reagirovaniya avarijno-spasatel'nyh sluzhb na chrezvychajnye situacii na transporte // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2019. № 2 (50). S. 110–117. EDN XDDTYZ.

19. Krupkin A.A., Maksimov A.V., Matveev A.V. Metodika ocenki effektivnosti upravleniya silami i sredstvami garnizona pozharnoj ohrany // Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MCHS Rossii». 2015. № 4. S. 30–34. EDN VHNSPZ.

20. Matveev A.V., Odoevskij S.M. Optimizaciya raspredeleniya resursov na zashchitu ob"ektov ot chrezvychajnyh situacij metodom linejnogo programmirovaniya // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2011. № 4 (20). S. 24–32. EDN OUMMER.

Информация о статье:
Статья поступила в редакцию: 17.01.2023; одобрена после рецензирования: 23.03.2023;
принята к публикации: 25.03.2023
The information about article:
The article was submitted to the editorial office: 17.01.2023; approved after review: 23.03.2023;
accepted for publication: 25.03.2023

Информация об авторах:
Шофеев Тимур Германович, адъюнкт Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: long.live.timbas@yandex.ru, https://orcid.org/ 0000-0002-8864-0074

Information about the authors:
Shofeev Timur G., adjunct of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), e-mail: long.live.timbas@yandex.ru, https://orcid.org/ 0000-0002-8864-0074

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий имени Героя Российской Федерации генерала армии Е.Н. Зиничева»

Научно-аналитический журнал

«Вестник Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России»

№ 1 – 2023

Редакторы
И.В. Дмитриева,
Л.В. Алексеева

Отпечатано в Санкт-Петербургском университете ГПС МЧС России
196105, Санкт-Петербург, Московский проспект, д. 149