

## СОДЕРЖАНИЕ 4–2021

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

- Вытовтов А.В., Королев Д.С., Калач А.В.** Способ снижения пожарной опасности домов престарелых и инвалидов на основе оценки пожарного риска. .... 1
- Изотов С.С., Баскин Ю.Г., Свидзинская Г.Б.** Перспективы развития морских перевозок в Арктике: природные, техносферные и геополитические риски. .... 9
- Ложкина О.В., Комашинский В.И.** Информационный процесс мониторинга и прогнозирования эффективности от внедрения экологически ориентированных технологий на автомобильном транспорте. .... 18
- Малыгин И.Г., Скодтаев С.В.** Методика проверки обеспечения безопасной эвакуации пассажиров воздушного судна при пожаре. .... 27

### ***БЕЗОПАСНОСТЬ КРИТИЧЕСКИ ВАЖНЫХ И ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ***

- Андрюшкин А.Ю., Моисеев Д.И., Кадочникова Е.Н.** Повышение энергетической эффективности и безопасности тепловых сетей. .... 37

### ***ПОЖАРНАЯ ТАКТИКА, ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЦЕССОВ ГОРЕНИЯ И ТУШЕНИЯ***

- Шилов А.Г., Сытдыков М.Р.** Методика тушения пожаров на транспорте универсальной установкой пожаротушения с вытеснением огнетушащего вещества газопоршневым способом. .... 44

### ***МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ТЕОРИИ УПРАВЛЕНИЯ СЛОЖНЫХ ПРОЦЕССОВ***

- Десницкий В.А.** Подход к построению защищенного протокола децентрализованного взаимодействия в беспроводных сенсорных сетях. .... 51
- Лабинский А.Ю.** Особенности нейронных сетей, использующих методы глубокого обучения. .... 58
- Астанков А.М., Мироненков О.В., Вагин А.В.** Математические модели формирования оптимальных наборов средств и методов неразрушающего контроля технологического оборудования стартового комплекса. .... 67
- Дворников С.В., Власенко В.И., Русин А.А.** Синтез низкопрофильных антенн методом фрактального анализа. .... 86
- Романов Н.Н., Медведева Л.В.** Программный модуль среднеобъемной температуры продуктов горения при пожаре в помещении. .... 95
- Коткова Е.А., Матвеев А.В.** Методика интеллектуального прогнозирования эффективности управления эвакуацией людей из общественных зданий. .... 107

### ***ЭКОНОМИКА, СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ***

- Вилков В.Б., Плотников В.А., Черных А.К.** Модель процесса управления инвестированием в перспективные проекты. .... 121
- Шугай О.Е., Калач А.В., Моторыгин Ю.Д.** Методика учета положительного опыта предыдущих периодов в процессе управления деятельностью предприятий уголовно-исполнительной системы. .... 132

### ***ПСИХОЛОГО-ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОДГОТОВКИ СОТРУДНИКОВ МЧС РОССИИ К УСЛОВИЯМ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ***

- Костюк А.В., Епанешников Н.М., Горшкова Е.Е.** Особенности активизации творческой деятельности обучающихся. .... 137

<b>Сошина Н.Л.</b> Психологические аспекты подготовки специалистов в области техносферной безопасности к действиям в аварийных и чрезвычайных ситуациях. ....	144
<b>Бобрищев А.А., Мотовичев К.В., Сагиев Т.А.</b> Блочно-модульная технология развития общей и специальной физической подготовленности биатлонистов. ....	155
<b>Грешных А.А., Булатова Ю.М., Рева Ю.В.</b> Психолого-педагогические основы деятельности как системы. ....	165
<b>Булат Р.Е., Лебедев А.Ю., Байчорова Х.С.</b> Психолого-педагогические особенности очной формы обучения с применением дистанционных образовательных технологий. ....	171

#### ***ТРУДЫ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ***

<b>Никитин Н.А.</b> Технология формирования готовности обучающихся очной формы обучения к освоению образовательной программы с применением дистанционных образовательных технологий. ....	182
<b>Таранцев А.А.</b> О тактике тушения модульных арктических объектов. ....	195
<b>Сикорова Г.А.</b> Комплексная методика исследования степени термического поражения стальных элементов автотранспорта. ....	202
<b>Константинова А.С.</b> Влияние насадка с внутренней спиральной нарезкой на формирование газопорошкового потока. ....	208
<b>Кучеренко Д.В.</b> Архитектура системы управления развитием региональной инфраструктуры государственных информационных систем. ....	215

<b>Сведения об авторах</b> .....	223
----------------------------------	-----

---

---

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

---

---

УДК 614.8-052 (614.842/.847)

## СПОСОБ СНИЖЕНИЯ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ ДОМОВ ПРЕСТАРЕЛЫХ И ИНВАЛИДОВ НА ОСНОВЕ ОЦЕНКИ ПОЖАРНОГО РИСКА

**А.В. Вытовтов, кандидат технических наук;**

**Д.С. Королев, кандидат технических наук.**

**Воронежский государственный технический университет.**

**А.В. Калач, доктор химических наук, профессор,**

**почетный работник сферы образования Российской Федерации.**

**Воронежский институт ФСИН России;**

**Воронежский государственный технический университет**

Обеспечение пожарной безопасности в социально-значимых объектах является одной из сложных задач настоящего времени. Это связано в первую очередь с тем, что к таким учреждениям относятся дома престарелых, интернаты и т.д., то есть места, где сконцентрированы имобильные пациенты. Приведено обоснование применения способа снижения пожарной опасности домов престарелых и инвалидов на основе оценки пожарного риска. Методика учитывает особенности расчета времени спасения при эвакуации людей из действующего психоневрологического интерната. Результатом применения способа является разработка компенсирующих мероприятий, удовлетворяющих требования нормативных документов и обеспечивающих безопасность людей.

*Ключевые слова:* модель, пожарная безопасность, эвакуация, объект, имобильный

## METHOD FOR REDUCING THE FIRE HAZARD OF HOUSES FOR THE ELDERLY AND DISABLED ON THE BASIS OF A FIRE RISK ASSESSMENT

A.V. Vytovtov; D.S. Korolev. Voronezh state technical university.

A.V. Kalach. Voronezh institute of the Federal penitentiary service of Russia.

Voronezh state technical university

Ensuring fire safety in socially significant objects is one of the most difficult tasks of the present time. This is primarily due to the fact that such institutions include nursing homes, boarding schools, etc., that is, places where a huge number of immobile patients are concentrated. The authors of the article provide the rationale for the application of the method of reducing the fire hazard of homes for the elderly and disabled people based on the assessment of fire risk. The method takes into account the peculiarities of calculating the time of rescue during the evacuation of people from a really functioning psycho-neurological boarding school. The result of applying the method is the development of compensating measures that meet the requirements of regulatory documents and ensure the safety of people.

*Keywords:* model, fire safety, evacuation, object, immobile

Обеспечение пожарной безопасности в социально-значимых объектах с круглосуточным пребыванием людей является одной из сложных задач, поскольку к ним, в частности, относятся: дома престарелых и инвалидов, школы-интернаты для детей с ограниченными возможностями [1]. Особенности пожарной опасности таких заведений являются:

- круглосуточное пребывание маломобильных групп населения;
- наличие горючей среды (мебель, текстиль, бумага);
- наличие источников зажигания (тепловые проявления аварийных режимов работы электрооборудования, теплового воздействия электронагревательных приборов и светильников и т.д.);
- распространение продуктов горения в смежные помещения и по всему объему здания через дверные проемы, вентиляцию.

Возникновение пожара в подобных учреждениях сопровождается трагическими последствиями, характеризуемыми большим количеством человеческих жертв, о чем свидетельствуют статистические данные МЧС России. В качестве примера можно выделить несколько трагичных случаев [2]:

- Московская область, г. Красногорск, 11 мая 2020 г. погибло девять пожилых людей;
- Тюменская область, г. Тюмень, 14 декабря 2019 г. погиб пациент, привязанный к кровати, свыше 10 человек в средней и легкой степени тяжести госпитализированы;
- Ивановская область, г. Пучеж, 15 сентября 2017 г. пожар унес жизни двух пациентов, свыше 10 госпитализированы;
- Краснодарский край, Выселковский район, 15 октября 2016 г. несколько человек скончались, свыше 79 госпитализированы.

Пожары в данной категории объектов происходят с регулярной периодичностью. При этом систематически из-за физических особенностей проживающих присутствуют человеческие жертвы. В совокупности задача обеспечения пожарной безопасности маломобильных групп населения формирует актуальность исследования.

В качестве объекта исследования выбран психоневрологический интернат для престарелых и инвалидов, расположенный в Курской области. Объект защиты представляет собой двухэтажное здание второй степени огнестойкости и класса конструктивной пожарной опасности – С0. При этом площадь пожарного отсека в пределах этажа – 225,3 км<sup>2</sup>, высота этажа – 2,8 м, высота здания – 3,8 м (рис. 1). Единовременная численность пребывающих людей составляет 38 человек (25 – пациенты, 13 – персонал).

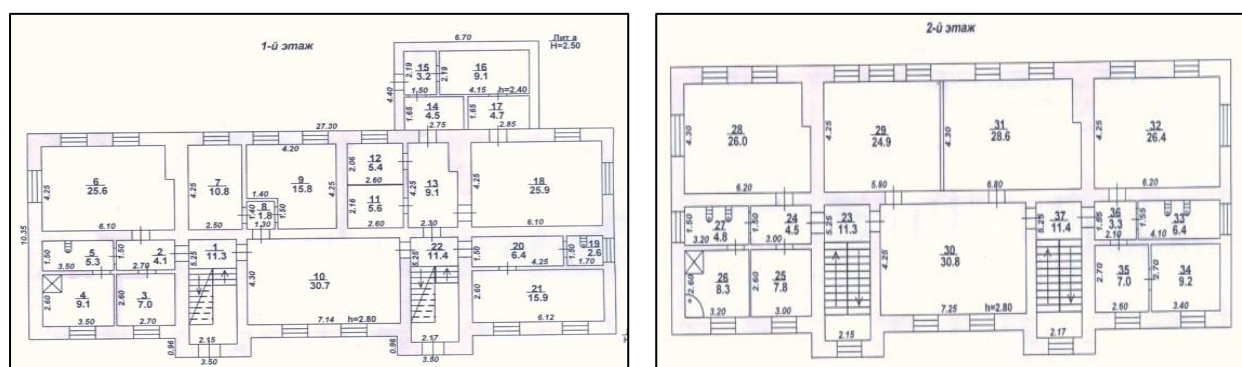


Рис. 1. Схема первого и второго этажа объекта защиты

Для защиты людей и имущества от опасных факторов пожара реализована система противопожарной защиты, предусматривающая наличие автоматической пожарной сигнализации и системы оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре 3-го типа. Оснащенность первичными средствами пожаротушения соответствует требованиям [3].

В рамках исследования была проведена инспекторская проверка дома интерната на предмет соответствия требованиям пожарной безопасности, установлено, что:

- на путях эвакуации в пределах марша лестницы и лестничной клетки (ЛК) ступени имеют различную высоту и ширину проступи (п. 4.3.4) [4] (рис. 2);
- на лестничных клетках радиатор отопления выступает из плоскости стены на высоте менее 2,2 м от поверхности площадки (п. 4.4.4) (рис. 2) [4];
- в наружной стене лестничной клетки Л1 отсутствует открывающееся окно (п. 5.4.16) [4];
- ширина лестничного марша менее 1,35 м (п. 5.2.5) [4];
- высота пути эвакуации в лестничной клетке на уровне первого этажа при выходе непосредственно наружу менее 2 м (п. 4.3.4) [4];
- отсутствует возможность передвижения с носилками в лестничных клетках и помещениях 6, 21.



Рис. 2. Ступени различной высоты в лестничной клетке, выступ радиатора отопления

Наряду с вышеперечисленными отступлениями от значений нормативных документов, обеспечение пожарной безопасности объекта исследования осложняется рядом условий капитального и режимного характера, а также отсутствием финансовых возможностей на глобальную реконструкцию здания. Поэтому для достижения поставленной цели авторы предлагают следующие компенсирующие и объемно-планировочные решения (рис. 3):

- реконструкция лестничной клетки Л1 с геометрическими параметрами, позволяющими вынести носилки с лежащим больным;
- предусмотреть эвакуационный выход, соответствующих параметров из помещения 6 в помещение 3, обеспечивая выход из помещения с носилками в вестибюль и ЛК;
- реконструкция перегородки в помещении 7;
- предусмотреть эвакуационный выход, соответствующих параметров из помещения 9 в вестибюль, из помещения 21 непосредственно наружу;
- запретить размещение в изоляторе и помещении 3 иммобильных пациентов.

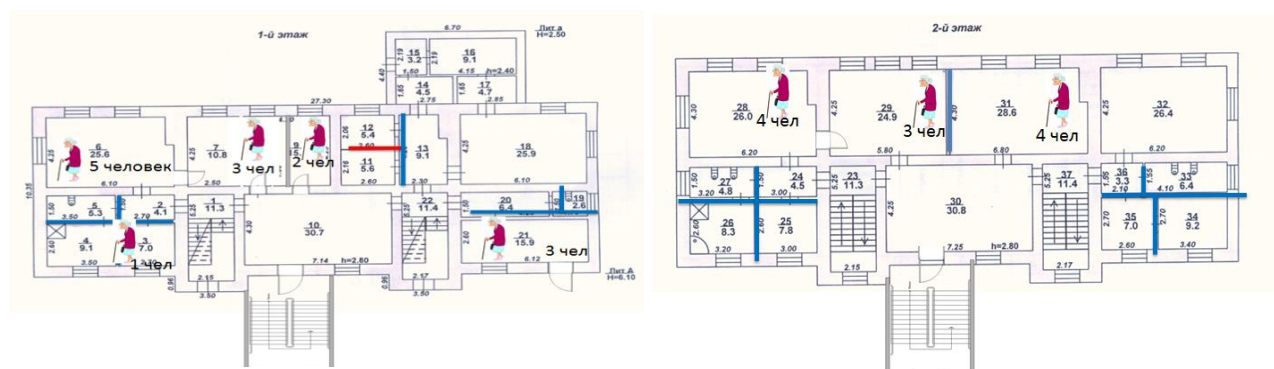


Рис. 3. Схема здания с изменениями (первый и второй этаж)

Время начала эвакуации принято в соответствии с табл. П 5.1. Методики [5] и составляет 4 мин, что является достаточно большим значением относительно зданий иного класса функциональной пожарной опасности и обосновывается психофизическими особенностями пребывающих на лечении людей.

Для расчета эвакуации людей из здания использовалась имитационно-стохастическая модель движения людских потоков, реализованная программой СИТИС Флуотек 4.0, которая является полной с точки зрения объема математических действий и позволяет получить значения времени эвакуации при слиянии потоков в лестничной клетке [6]. Кроме того, применялся блок индивидуально-поточного движения. Это позволило задать направление эвакуации персонала в соответствии со сценарием и провести спасение иммобильных людей со второго этажа. Таким образом, было рассмотрено два наихудших сценария развития пожара и эвакуации людей из помещений объекта защиты:

Сценарий 1: возгорание происходит в палате (помещение № 9). Пожар не блокирует выходы из помещения в связи с отсутствием второго эвакуационного выхода (рис. 4).

Сценарий 2: возгорание происходит в палате (помещение № 28). Пожар не блокирует выходы из помещения в связи с отсутствием второго эвакуационного выхода. Данный сценарий характеризуется наличием третьей лестничной клетки, выполненной в соответствии с требованиями нормативных документов и предложенной в рамках исследования (рис. 4).

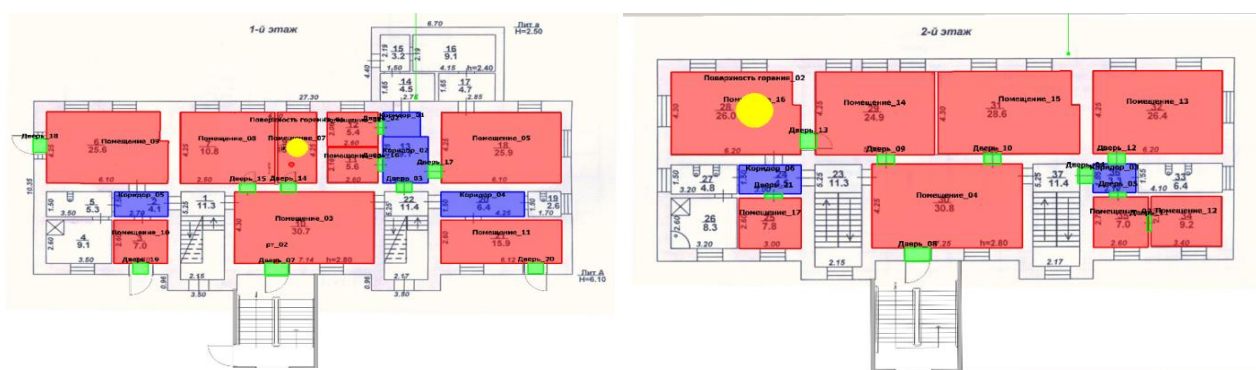


Рис. 4. Очаг пожара в сценарии 1, 2

В здании отсутствуют общие коридоры, соединяющие лестничные клетки. Обслуживающий персонал не имеет ограничений по мобильности и участвует в спасении маломобильных людей.

Результаты расчета времени эвакуации для первого сценария представлены на рис. 5.

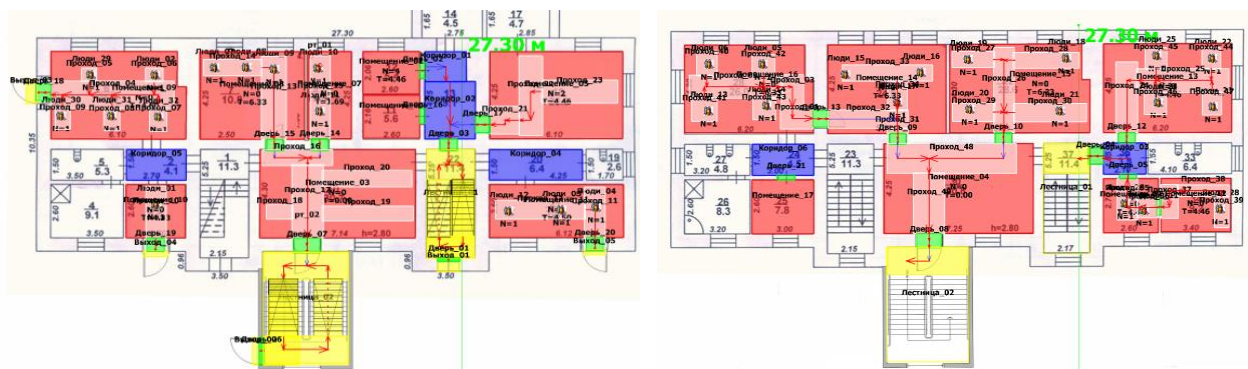


Рис. 5. Схема эвакуации людей по сценарию 1

Сценарием предусмотрено пять эвакуационных выходов с первого этажа, два выхода со второго. На первом этаже располагается 20 человек, на втором – 18. Максимальное время выхода с первого этажа составляет 6,33 мин для 16 человек, выходящих из дополнительной лестничной клетки. При этом расчет включает в себя людей, спускающихся со второго этажа.

Экспертиза объемно-планировочных решений и расчет времени эвакуации персонала в стандартной планировке выявили большое количество нарушений, о которых говорилось выше. Поэтому проведено моделирование процесса эвакуации с учетом компенсирующих мероприятий, что позволило добиться удовлетворительных результатов.

Однако для людей различного возраста, не способных к самостоятельной эвакуации, необходимо определять расчетное время спасения при помощи носилок [6]. Кроме формул методики, допустимо использовать программные комплексы моделирования эвакуации и спасения людей при пожаре.

Для определения скорости переноски персоналом носилок с человеком использовались данные, приведенные в работе [5]. Время укладывания человека на носилки или переукладывания с носилок на подготовленную поверхность, осуществляемое одной парой человек из числа персонала, составляет 0,15 мин. Поскольку объект защиты это двухэтажное здание, то максимальное количество рейсов двумя работниками не должно превышать 11 раз.

Смоделируем неблагоприятный сценарий, когда на втором этаже присутствует четыре иммобильных человека (эвакуация на носилках при помощи двух работников) и пять человек на первом этаже (эвакуация на кресле-каталке при помощи охранника), неконтролируемое горение происходит в ночное время, когда в здании находится минимальное количество персонала (рис. 6).

В расчете приняты допущения, основанные на особенностях эвакуации из рассматриваемого здания. Эвакуация посчитана в различных программных комплексах (СИТИС и Pathfinder) без учета слияния в общих проходах спасаемых и эвакуируемых. Для первого этажа это возможно в связи с отсутствием других эвакуирующихся из помещения б.

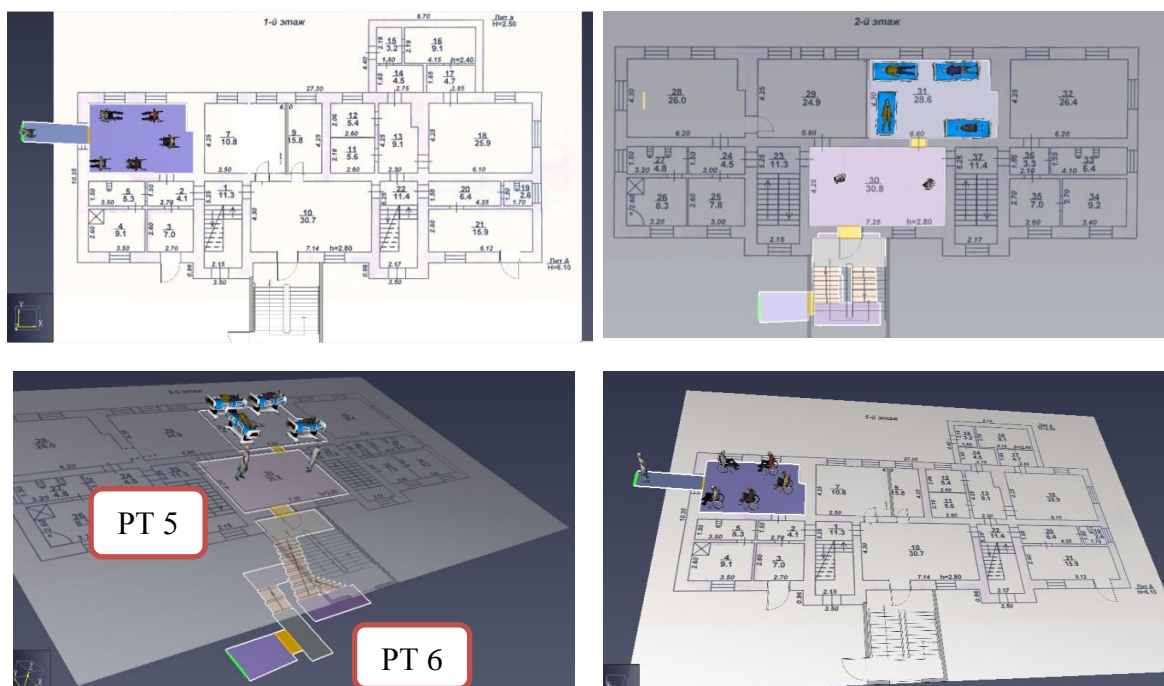


Рис. 6. Моделирование процесса спасения немобильных людей

Для второго этажа эвакуация из помещения 21 начинается через 4 мин после начала пожара, в лестничную клетку входят также помещения 28, 29, в которых время начала эвакуации составит 0,09 мин, в связи с чем они эвакуируются за 4 мин и потоки на лестничной клетке не встретятся.

По результатам расчета для обеспечения условий безопасной эвакуации и соответствия значений пожарного риска в пределах нормы необходимо установить пять противопожарных дверей из помещений 7, 9, 29, 31, 28. В рассмотренных сценариях двери препятствуют распространению опасных факторов пожара и обеспечивают безопасную эвакуацию людей [7]. Двери необходимо предусмотреть не ниже второго типа, предел огнестойкости EI30, шириной не менее 0,8 м в свету. Движение по лестничной клетке с носилками и диаграмма нормирования скорости представлена на рис. 7.

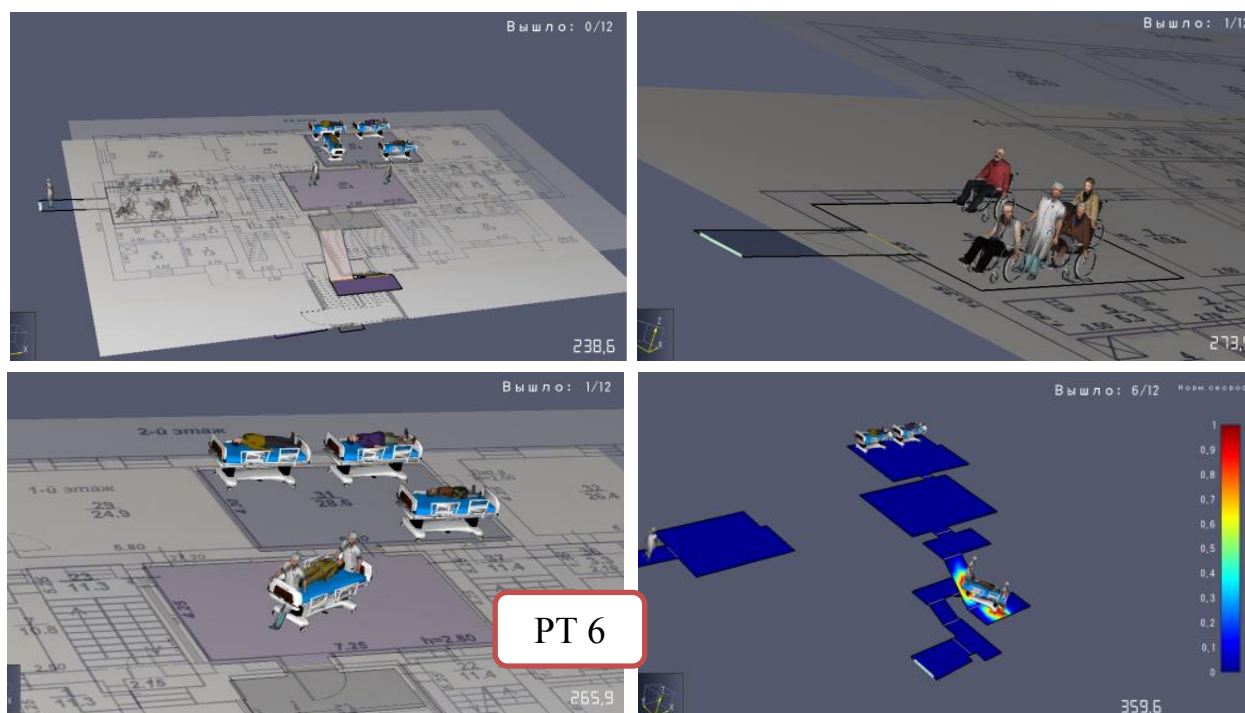


Рис. 7. Движение по лестничной клетке с носилками, диаграмма нормирования скорости

Применение противопожарных дверей позволяет предотвратить распространение опасных факторов пожара в вестибюль и лестничную клетку [8]. Это является приемлемым с экономической точки зрения решением, обеспечивающим время, необходимое для выноса немобильных людей из здания. Результаты расчетов представлены в виде сводной таблицы условий обеспечения безопасной эвакуации.

Определены значения индивидуального пожарного риска:

$$Q_{\text{в}} = 3,465 \cdot 10^{-8} \leq Q_{\text{в}}^{\text{н}} = 10^{-6}.$$

Условие выполняется, следовательно, индивидуальный пожарный риск в помещениях объекта защиты не превышает допустимого значения, установленного Федеральным законом от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» при условии выполнения требований, разработанных в исследовании.



Таблица. Сводная таблица результатов моделирования

Расчетные точки (нумерация по сценарию эвакуации Эвак/ОФП)	$t_{\text{бл}}$ (по потере видимости), мин	$0,8 \cdot t_{\text{бл}}$ , мин	$t_{\text{р}}$ , мин	$t_{\text{р}} + t_{\text{нэ}}$ , мин	Проверка выполнения условия безопасной эвакуации
Помещение 9 БТИ-РТ_01	0,38	0,304	0,09	0,09+0,18=0,27	Соответствует
Помещение 10 БТИ-РТ_02	>12	9,6	4	4+0,91=4,91	Соответствует
Помещение 28 БТИ-РТ_03	0,8	0,64	0,09	0,09+0,53=0,62	Соответствует
Помещение 29 БТИ-РТ_04	1,85	1,48	0,09	0,09+0,87=0,96	Соответствует
Помещение 30 БТИ-РТ_05	>12	9,6	4	4+4,62=8,62	Соответствует
ЛК выход наружу – РТ_6	>12	9,6	4	4+5,21=9,21	Соответствует

В работе приведен способ снижения пожарной опасности домов престарелых и инвалидов на основе оценки пожарного риска. Проведено моделирование процесса эвакуации иммобильных пациентов из социально-значимого объекта с круглосуточным пребыванием людей. Было отмечено, что для успешной эвакуации необходимо предусмотреть комплекс технических и объемно-планировочных решений (дополнительная лестничная клетка Л1 с шириной лестничного марша не менее 1,35 м, эвакуационные выходы должны обладать параметрами ширины не менее 1,2 м, лестничная площадка шириной не менее 1,35 м, оконные проемы с возможностью открывания на втором этаже площадью не менее 1,2 м<sup>2</sup>). Также по расчету значений пожарных рисков для обеспечения спасения немобильных людей необходимо обеспечить круглосуточное пребывание трех работников персонала интерната. В расчете были учтены охранник и два медицинских работника. Это обусловлено необходимостью спасения на носилках со второго этажа (2 человека) и спасения с первого этажа на кресле-каталке (1 человек).

Таким образом, спасение людей с ограниченными возможностями очень сложная задача. Авторы исследования предложили свое видение решения такой глобальной проблемы с учетом интересов собственника объекта защиты. Такой подход позволит привести систему обеспечения пожарной безопасности к действующим нормам и обеспечит безопасность пациентов и персонала в случае пожара и последующего неконтролируемого горения.

### Литература

1. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности: Федер. закон от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ (одобр. Сов. Федерации 11 июля 2008 г.) // Рос. газ. 2008. № 163.
2. Сгорели заживо: почему каждый год в хосписах и домах престарелых в России от огня гибнут люди. URL: <https://29.ru/text/world/2020/12/15/69631581/> (дата обращения: 11.09.2021).
3. Об утверждении Правил противопожарного режима в Российской Федерации: постановление Правительства Рос. Федерации от 16 сент. 2020 г. № 1479 (в ред. от 21 мая 2021 г. № 766). Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
4. Свод правил 1.13130.2009. Системы противопожарной защиты. Эвакуационные пути и выходы. URL: <https://docs.cntd.ru/document/565248961> (дата обращения: 25.03.2021).
5. Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной

опасности: приказ МЧС РФ от 30 июня 2009 г. № 382 (зарег. в Минюсте Рос. Федерации 6 авг. 2009 г., рег. № 14486; введ. 10 июля 2009 г.). Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

6. Вытовтов А.В., Королев Д.С., Федоров А.В. Математическое моделирование процесса спасения маломобильных групп населения при пожаре // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петербур. ун-та ГПС МЧС России». 2020. № 4. С. 126–131.

7. Русских Д.В., Вытовтов А.В., Шевцов С.А. Особенности процесса эвакуации людей из производственного помещения при пожаре // Техносферная безопасность. 2019. № 1 (22). С. 70–82.

8. Korolev D.S., Vytovtov A.V., Kargashilov D.V., Odnolko A.A., Denisov M.S. Mathematical simulation of the forecasting process of the fire hazard properties of substances // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. Krasnoyarsk, 2020. S. 52025.

### References

1. Tekhnicheskij reglament o trebovaniyah pozharnoj bezopasnosti: Feder. zakon ot 22 iyulya 2008 g. № 123-FZ (odobr. Sov. Federacii 11 iyulya 2008 g.) // Ros. gaz. 2008. № 163.

2. Sgoreli zzhivo: pochemu kazhdyj god v hospisah i domah prestarelyh v Rossii ot ognya gibnut lyudi. URL: <https://29.ru/text/world/2020/12/15/69631581/> (data obrashcheniya: 11.09.2021).

3. Ob utverzhdenii Pravil protivopozharnogo rezhima v Rossijskoj Federacii: postanovlenie Pravitel'stva Ros. Federacii ot 16 sent. 2020 g. № 1479 (v red. ot 21 maya 2021 g. № 766). Dostup iz sprav.-pravovoj sistemy «Konsul'tantPlyus».

4. Svod pravil 1.13130.2009. Sistemy protivopozharnoj zashchity. Evakuacionnye puti i vyhoda. URL: <https://docs.cntd.ru/document/565248961> (data obrashcheniya: 25.03.2021).

5. Ob utverzhdenii metodiki opredeleniya raschetnyh velichin pozharnogo riska v zdaniyah, sooruzheniyah i stroeniyah razlichnyh klassov funkcional'noj pozharnoj opasnosti: prikaz MCHS RF ot 30 iyunya 2009 g. № 382 (zareg. v Minyuste Ros. Federacii 6 avg. 2009 g., reg. № 14486; vved. 10 iyulya 2009 g.). Dostup iz sprav.-pravovoj sistemy «Konsul'tantPlyus».

6. Vytovtov A.V., Korolev D.S., Fedorov A.V. Matematicheskoe modelirovanie processa spaseniya malomobil'nyh grupp naseleniya pri pozhare // Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MCHS Rossii». 2020. № 4. S. 126–131.

7. Russkih D.V., Vytovtov A.V., Shevcov S.A. Osobennosti processa evakuacii lyudej iz proizvodstvennogo pomeshcheniya pri pozhare // Tekhnosfernaya bezopasnost'. 2019. № 1 (22). S. 70–82.

8. Korolev D.S., Vytovtov A.V., Kargashilov D.V., Odnolko A.A., Denisov M.S. Mathematical simulation of the forecasting process of the fire hazard properties of substances // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. Krasnoyarsk, 2020. S. 52025.

УДК 656.02

## **ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ МОРСКИХ ПЕРЕВОЗОК В АРКТИКЕ: ПРИРОДНЫЕ, ТЕХНОСФЕРНЫЕ И ГЕОПОЛИТИЧЕСКИЕ РИСКИ**

**С.С. Изотов.****Центральный научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт морского флота.****Ю.Г. Баскин, доктор педагогических наук, профессор,  
заслуженный работник высшей школы Российской Федерации;****Г.Б. Свидзинская, кандидат химических наук, доцент.****Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Рассмотрены перспективы коммерческого использования Арктического региона и Северного морского пути в свете существующих природных, техносферных и геополитических рисков. Показано, что поскольку процессы, связанные с глобальным потеплением, делают морские перевозки в Арктике экономически выгодными, задачей Российской Федерации является создание Северного морского транспортного коридора с развитой инфраструктурой, включающей современные портовые мощности, средства навигации и метеонаблюдения, экологичного и безопасного для судоходных компаний.

*Ключевые слова:* Арктика, Северный морской путь, безопасность судоходства, природные и техносферные риски, геополитические риски

### **PROSPECTS FOR THE ARCTIC SHIPPING DEVELOPMENT: NATURAL, TECHNO-SPHERE AND GEOPOLITICAL RISKS**

S.S. Izotov. Central marine research &amp; design institute.

Yu.G. Baskin; G.B. Svidzinskaya.

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

The perspectives of commercial use of the Arctic region and Northern Sea Route in connection with natural, techno-sphere and geopolitical risks are assessed. It is shown that global warming processes make shipping in the Arctic economically profitable, thereupon the Russian Federation's goal is to create a working Northern Sea transport corridor ecological and safe for shipping companies, with advanced infrastructure, which includes modern port, navigation and meteorological observations facilities.

*Keywords:* Arctic, Northern sea route, navigation safety, natural and techno-sphere risks, geopolitical risks

#### **Введение**

Процессы, связанные с изменением климата, отмечающиеся на планете в последние десятилетия глобальное потепление ускорили таяние морского льда в полярных районах Арктики. Средняя толщина зимнего льда снизилась с 3,64 м в 1980 г. до 1,89 м в 2008 г., площадь летнего льда к 2007 г. составила 55 % от зимнего максимума. В 2008 г. таяние арктического льда уменьшило площадь ледяного покрытия до 1 млн кв. км, освободив ото льда и открыв для неледокольных судов арктические транспортные коридоры (рис. 1). Межправительственная группа экспертов по изменению климата и рабочие группы

Арктического Совета отмечают, что, если лед продолжит таять с нынешней скоростью, к 2050 г. Северный Ледовитый океан в значительной степени будет свободен для прохода судов летом без ледокольного сопровождения. Оказывая фундаментальное негативное воздействие на полярные регионы, изменение климата предоставляет экономические выгоды для компаний, занятых в добыче, переработке и транспортировке полезных ископаемых, транзитных перевозках и зарождающемся арктическом туризме. Объем перевозок в российской Арктике за последние 15 лет вырос в шесть раз, а расстояние, пройденное судами в канадской части региона, в три раза (рис. 2) [1–4].

На сегодняшний день для судоходства используется два арктических маршрута. Первый, и наиболее исследованный и эксплуатируемый в коммерческих целях – это российский Северный морской путь (СМП). В СМП входит акватория вдоль восточного побережья архипелага Новая Земля от Карских Ворот до мыса Дежнева в Беринговом проливе и бухты Провидения, длина его составляет около 5 600 км, он является частью Северного морского транспортного коридора, который включает в себя территорию от Северо-Запада (порты Санкт-Петербург, Архангельск, Мурманск) до Камчатки. Акватория СМП простирается на 200 морских миль от побережья и включает российские внутренние воды, территориальное море, прилегающую зону и исключительную экономическую зону Российской Федерации.

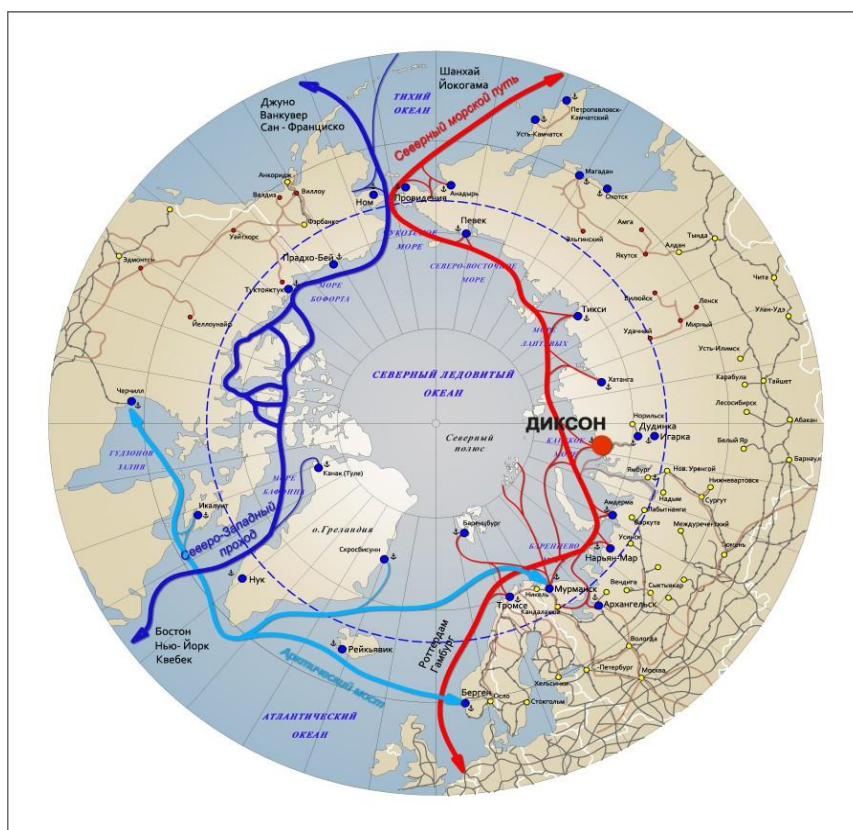


Рис. 1. Арктические транспортные коридоры [4]

Основным преимуществом СМП является то, что расстояние по нему от портов Северной Европы до Азии на 40 % короче, чем путь через Суэцкий канал или Африку (Тайвань – на 16–20 %; Китай – на 22–25 %; Южная Корея – на 30–33 %; Япония – на 36–39 %). В результате сокращения времени плавания снижается расход топлива, затраты на износ судна, заработная плата персонала. Особую актуальность использование СМП приобретает в связи с борьбой за сохранение климата планеты, так как при сокращении расстояния снижаются выбросы углекислого газа. Серьезная авария с контейнеровозом Ever Given, заблокировавшим в марте 2021 г. Суэцкий канал, также показала необходимость разработки альтернативных маршрутов перевозок [1, 5].

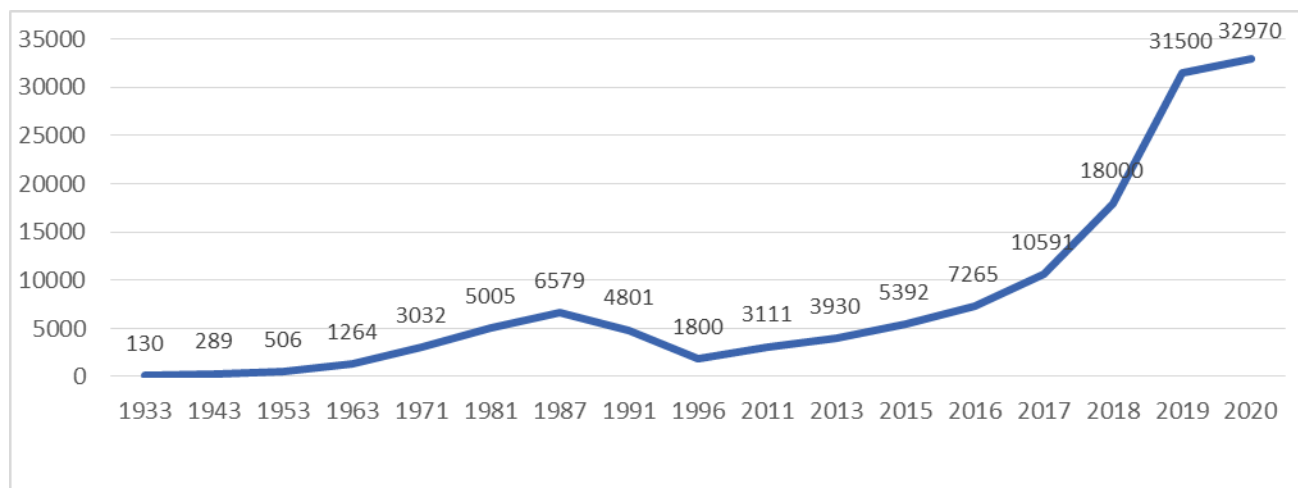


Рис. 2. Грузопоток по СМП (тыс. т) за период с 1933 по 2020 г.

Второй маршрут – это северо-западный проход длиной 1 450 км, на 40 % пролегающий через канадские арктические воды. Он позволяет осуществлять судоходство из северной части Атлантического океана, вверх по проливу Дэвиса между Канадой и Гренландией, через Арктический архипелаг, море Бофорта, Чукотское море и Берингов пролив в Северную часть Тихого океана. На сегодняшний день он используется для рыбного промысла, круизных и прогулочных судов. Северо-Западный проход достаточно глубокий, чтобы принимать супертанкеры и контейнеровозы, чья осадка слишком велика для Панамского канала. Однако использование данного маршрута для транзитных перевозок только разрабатывается правительством Канады и представляет значительные трудности из-за крайне сложных погодных условий и неразвитой инфраструктуры (рис. 1) [2, 3].

Целью настоящего исследования было проведение анализа, на базе последних отечественных и зарубежных публикаций, природных, техносферных и геополитических рисков, препятствующих использованию Арктического региона в качестве транспортного коридора между Европой и Азией, и оценка усилий, предпринимаемых Правительством Российской Федерации, для практического решения существующих проблем.

### Основные положения

Пережив период упадка и разрушения во время перестройки, с началом XXI в. Арктика стала рассматриваться Правительством Российской Федерации как один из важнейших регионов России, а СМП – как национальная транспортная магистраль. Неоднократно, подчеркивая стремление России превратить СМП в международную транспортную артерию, способную конкурировать с традиционными морскими маршрутами по стоимости услуг, безопасности и качеству, руководство Российской Федерации разработало и приняло ряд законодательных актов, направленных на развитие Арктического региона и СМП:

- 2008 г. – «Основы государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2020 года и дальнейшую перспективу»;
- 2012 г. – Федеральный закон «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации в части государственного регулирования торгового мореплавания в акватории Северного морского пути»;
- 2014 г. – «Государственная программа Российской Федерации «Социально-экономическое развитие Арктической зоны Российской Федерации на период до 2020 года»;
- 2015 г. – «Комплексный проект развития Северного морского пути»;
- 2018 г. – «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года»;

– 2019 г. – «План развития инфраструктуры Северного морского пути на период до 2035 года»;

– 2020 г. – Указ «Об основах государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2035 года» и «Стратегия развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года».

Большие запасы углеводородного сырья, минеральных ресурсов и наличие российского ледокольного флота привели к тому, что целевое судоходство, ориентированное на транспортировку ресурсов, стало самой экономически выгодной формой морской коммерческой деятельности на СМП. В период с 2010 по 2013 г. судами из Европы, Канады и Азии по СМП было совершено 28 международных транзитных рейсов с грузом нефтепродуктов, газового конденсата, угля, железной руды на общую сумму более 1,2 млн т, 46 рейсов с грузом более 2,0 млн т – между северо-западными портами России и Азиатско-Тихоокеанским регионом. Однако в 2014 г., в связи с экономическим кризисом и удешевлением топлива, объемы международных перевозок по СМП сократились, и в настоящее время их восстановление происходит достаточно медленно [3, 5].

При условии резкого роста внутрироссийских перевозок, увеличения транзита с 697 тыс. т в 2019 г. до 1 281 тыс. т в 2020 г. и планов Правительства по доведению грузооборота по СМП к 2024 г. до 80 млн т/год, к 2030 г. до 120 млн т/год, а к 2035 г. – до 160 млн т/год, СМП продолжает играть несущественную роль в общем объеме морских перевозок, при этом международный транзит по нему не превышает 1 % (для сравнения: через Суэцкий канал только за 2020 г. перевезли более 1 млрд т грузов) [1, 5, 6].

Превращению СМП в активно используемый экономически выгодный международный транспортно-логистический коридор препятствуют инженерно-технические, инфраструктурные, геополитические, экологические проблемы и отсутствие инвестиций.

Для приема современных крупнотоннажных кораблей необходимо модернизировать порты городов Архангельска, Мурманска, Сабетты, Певека, построить новые терминалы в Диксоне, Кандалакше, на Таймыре, в районе Чёшской губы, незамерзающий глубоководный порт в бухте Аринай, обновить аэропортовые и железнодорожные комплексы. Создать в портах инфраструктуру по обеспечению материально-технического снабжения флота и бункеровки судов сжиженным природным газом (СПГ). Круглогодичное судоходства по СМП должно быть обеспечено бесперебойно работающим, дающим точные прогнозы гидрографическим, метеорологическим, информационно-телекоммуникационным, аварийно-спасательным оборудованием. Открытие регулярных перевозок невозможно без разработки системы централизованного оперативно-тактического управления судоходством на базе единого диспетчерского центра, организации прохождения судами участков в акватории СМП в установленные сроки.

В рамках «Плана развития инфраструктуры Северного морского пути на период до 2035 года (с изменениями на 21 апреля 2021 г.)», для снижения времени ожидания каравана и обеспечения ледовой проводки судов Правительством запланировано строительство трех универсальных атомных ледоколов типа «Арктика», ввод в эксплуатацию в течение 8–10 лет самых мощных в мире (120 МВт) атомных ледоколов проекта «Лидер». Государство готово обеспечить поддержку проектов по постройке современных грузовых судов, контейнеровозов, технических и служебно-вспомогательных судов, приспособленных для работы в акватории СМП, работающих не на мазуте, а на СПГ.

Согласно Регистру Ллойда, вероятность кораблекрушения в мировом океане составляет 0,15–0,39 %, для СМП этот показатель равен 0,04 % [7]. Однако связано это, прежде всего, с низкой интенсивностью судоходства в арктических водах. Увеличение перевозок неизбежно повлечет за собой возникновение чрезвычайных ситуаций (ЧС). Анализ аварийности и опыта проведения спасательных работ в Арктике показывает, что оперативность реагирования и оказания помощи в зоне СМП недостаточна, не хватает наземной, воздушной поисково-спасательной техники и спасательных судов, что в значительной мере препятствует развитию судоходства.

Особую опасность представляют туристические суда, имеющие на своем борту большое количество людей, не обладающих знаниями и опытом поведения в ЧС, осложненной суровыми условиями Арктики. В 1998 г. круизный лайнер «Максим Горький» с 1 000 пассажирами столкнулся с айсбергом к северу от Норвегии, судно получило значительные повреждения, пассажиры вынуждены были оставить судно и эвакуироваться на шлюпках. В 2018 г. судно «Академик Иоффе», зафрахтованное канадской туристической компанией, со 126 туристами на борту село на мель в заливе Бутия в Северном Ледовитом океане. Успешную операцию провели ледоколы береговой охраны Канады, судно продолжило свой путь, однако встал вопрос о том, кто должен спасать людей, материальные объекты и нести расходы в ситуациях, отвлекающих ледокольный флот от выполнения его прямых обязанностей.

Большую опасность плавание в Арктическом регионе несет для рыболовецких судов. В декабре 2020 г. из-за обледенения в районе Новой Земли затонуло судно «Онега», несвоевременное оказание помощи привело к гибели 17 человек.

В настоящее время в Арктическом регионе на постоянной основе несут службу и обеспечивают ледокольную проводку судов многоцелевые спасательные суда с арктическим ледовым классом ARC 5 «Спасатель Карев» и «Спасатель Заборщиков» и ледоколы-спасатели «Берингов пролив» и «Мурман» [8]. Именно они приходят на помощь сотрудникам МЧС России при возникновении ЧС. В 2018 г. для расширения зоны деятельности в Арктике и патрулирования акватории СМП Морспасслужба Российской Федерации приобрела в Китае уникальное спасательное судно «Артемис Оффшор», позволяющее выполнять в море работы по строительству буровых платформ, купила в Канаде и Норвегии многоцелевой буксир и два многофункциональных судна-якорезаводчика. Согласно «Плану развития инфраструктуры Северного морского пути на период до 2035 года» в Российской Федерации должно быть построено 16 новых спасательных судов ледового класса. Планируется, что эти суда будут распределены вдоль трассы СМП и сделают мореплавание при круглогодичной навигации по СМП на всем его протяжении безопасным. Кроме судов-спасателей для СМП в «Плане» предусмотрено строительство транспортных вертолетов, способных совершать посадку и базирование на вертолетных площадках атомных ледоколов с возможностью автономного запуска в условиях Арктики, транспортных рамповых самолетов с загрузкой до 10 т и дальностью полета до 4 000 км, которые могут использоваться для посадки на ледовые и грунтовые арктические аэродромы.

В Арктической зоне России активно ведется разработка, добыча и переработка полезных ископаемых и углеводородного сырья, размещены нефте- и газопроводы, хранилища нефтепродуктов, химически опасные и взрывопожароопасные объекты, которые могут стать источниками техногенных аварий. В осуществлении безопасной эксплуатации производственных объектов, буровых платформ, погрузочных терминалов и перевозке грузов по СМП, прежде всего, танкерным флотом, вместе с МЧС России и Морспасслужбой Российской Федерации принимают участие добывающие и энергетические компании. В 2009 г. для несения дежурства и обеспечения безопасной круглогодичной отгрузки нефти у морского причала Варандейского терминала компания «Лукойл» построила многофункциональный ледокол «Варандей» и ледокольный буксир «Тобой». В 2019 г. для отгрузки нефти с Новопортовского месторождения «Газпромнефть» приобрела самое мощное в мире ледокольное судно обеспечения «Александр Санников». На верфи «Звезда», созданной консорциумом инвесторов во главе с «Роснефтью», в 2020 г. было спущено на воду многофункциональное судно снабжения усиленного ледового класса Icebreaker 7 «Катерина Великая». Судно способно осуществлять спасательные операции в любых погодных условиях при толщине льда до 2,0–2,5 м и высоте волны до 30 м [8, 9].

Свой вклад в обеспечение безопасности судоходства вносят и специалисты Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России. Ими разрабатываются «Правила классификации, постройки и обеспечения эксплуатационной безопасности спасательных

судов МЧС России», позволяющие унифицировать требования к механическим установкам при изготовлении спасательных судов широкого назначения для различных районов эксплуатации [10].

Аварии в северном регионе опасны не только с точки зрения материального ущерба и гибели людей. Столкновения судов и, прежде всего, танкеров, используемых для перевозки углеводородов из Арктического региона в Европу и Азию, сжатие корпуса судна дрейфующими льдами, встреча с ледовыми объектами способны вызвать разливы нефтепродуктов и привести к экологической катастрофе.

В мае 2020 г. по вине компании «Норильский никель» произошла крупнейшая экологическая катастрофа в истории российской Арктики. Из-за проседания свай фундамента разгерметизировался один из резервуаров. Около 21 000 т нефтепродуктов попали в грунт и реку Амбарную, связанную водными путями с Карским морем. Экологи Greenpeace сравнили масштаб катастрофы с аварией танкера Exxon Valdez у берегов Аляски в 1989 г., когда в море вылилось 35 000 т нефти [2]. По оценке специалистов на работы по восстановлению природной среды потребуется от пяти до 10 лет.

Процессы самоочищения, биологического разложения в Арктике из-за низких температур идут крайне медленно. Попадая на ледяной покров, нефть остается в трещинах, с дрейфующими льдами перемещается на значительные расстояния [11]. В целях защиты экологии Арктики от загрязнения тяжелыми углеводородами Международная морская организация ООН (ИМО) утвердила запрет на перевозку в арктических водах и использование в качестве топлива мазута после 1 июля 2024 г.

Судоходство, обеспечивая основную часть мировой торговли, производит наименьшее количество выбросов токсичных оксидов серы, азота, углекислого газа, метана, прочих органических соединений, озоноразрушающих веществ и твердых частиц на тонно-милю по сравнению с другими видами транспорта. Однако, учитывая особенности экологии Арктического региона, ИМО устанавливает здесь особые требования. Одной из причин запрещения мазута в качестве судового топлива было высокое содержание в нем серы. Требования ИМО по снижению содержания серы с 3,5 % до 0,5 % в любых видах судового топлива вступили в силу с 2020 г., при этом правила Зоны Контроля Выбросов (ЕСА) еще выше – 0,1 %. Кроме того, при сжигании мазута в значительном количестве образуются твердые частицы сажи, оседая на поверхности льда, «черный углерод» притягивает солнечные лучи и способствует таянию льда, разрушая экосистему Севера [2].

Решение проблемы снижения токсичных выбросов – в переходе с тяжелых нефтепродуктов на СПГ, значительно уменьшающий содержание в продуктах горения  $\text{CO}_2$ , в десятки раз сокращающий концентрацию оксидов серы и азота. Российские газовозы в качестве топлива потребляют СПГ, они будут удовлетворять международным правилам, как минимум, до 2050 г. Флот танкеров «Совкомфлота» и «Газпромнефти», суда «Норильского никеля» построены давно и используют в качестве топлива мазут. Их переоборудование на СПГ окупится не ранее, чем через восемь лет. При этом для многих иностранных судов, работающих на мазуте, требования ИМО делают судоходство по СМП экономически невыгодным [12].

Еще одной экологической проблемой Арктического региона является шум, производимый судами, в особенности ледоколами, который животные слышат на расстоянии до 50–100 км. Антропогенные источники шума могут воздействовать на морских млекопитающих, маскируя важные звуки, нарушая их коммуникацию и способность находить пищу, вызывая временную или постоянную потерю слуха, физиологический стресс и травмы [2].

Наряду с длительным воздействием холода, работой в условиях полярного дня или полярной ночи, шум от ломающегося льда и удары льдин по корпусу судна приводят к нарушению сна у членов команды. В результате повышается утомляемость, возрастает риск аварий, вызванных неправильными действиями экипажа [2].



Кроме техногенных рисков, развитию Арктики и привлечению в нее иностранных инвестиций препятствуют геополитические проблемы. Опираясь на ст. 234 Конвенции ООН по морскому праву, предоставляющую прибрежному государству расширенные права на обеспечение соблюдения правил в районах, покрытых льдом, Россия, юридически не распространяя свой суверенитет на всю акваторию, фактически установила правила судоходства согласно российскому законодательству и ввела разрешительный порядок прохода иностранных и российских торговых судов по СМП не только в районе внутренних вод и территориального моря, но и в прилегающей и исключительной экономической зоне Российской Федерации, где в соответствии с Конвенцией ООН по морскому праву 1982 г. должна быть обеспечена свобода судоходства. Этот порядок противоречит интересам США и Китая, которые стремятся обеспечить для себя максимально свободный доступ в Северные регионы [3, 5]. Привлечению в Арктику иностранных инвестиций мешают европейские санкции и нерешенные вопросы Северных территорий с Японией.

Экологическая опасность, связанная с интенсификацией грузооборота по СМП, загрязнением Арктики и возможными разливами нефти, санкции западных стран, геополитические и репутационные риски привели к тому, что часть европейских компаний после 2014 г. отказались от участия в использовании СМП.

### Заключение

Проведенный анализ, имеющий научную новизну и практическую значимость для специалистов по техногенной безопасности, позволяет сделать вывод о том, что в развитии Арктического региона и судоходства по СМП заинтересованы как Россия, так и международное сообщество. Климатический пакт, подписанный в ноябре 2021 г. в г. Глазго 200 государствами, подтвердил, что для сохранения климата планеты к 2030 г. требуется сократить общемировые выбросы углекислого газа на 45 % относительно уровня 2010 г. и довести чистые выбросы до нуля к середине текущего столетия. СМП может внести свой вклад в реализацию этого проекта.

При всей сложности политических и экологических проблем, природных и техногенных рисков, именно экономика будет являться решающим фактором привлечения необходимых инвестиций в Арктику. Мировая торговля нуждается в северных морских транспортных коридорах, а изменение климата делает эти проекты экономически привлекательными. Специфика СМП состоит в том, что территории вдоль этого транспортного коридора сами по себе являются грузообразующими, богатейшие природные ресурсы региона осваиваются, в том числе с участием компаний из Европы и Азии, заинтересованных как в добыче сырьевых ресурсов, так и развитии инфраструктуры и туризма. Транзитные перевозки между Китаем и Европой, экспорт китайских товаров и технологий, импорт в Азию российских ресурсов позволят повысить эффективность функционирования СМП и совместных с Россией арктических проектов [3].

Выступая на Восточном экономическом форуме в сентябре 2021 г., премьер-министр Индии Нарендра Моди заявил, что Индия готова подключиться к освоению СМП и превращению его в международный торговый путь. В свою очередь, Владимир Путин на форуме отметил, что «Арктика – это 18 % нашей территории, мировые запасы сырья, нужного не только нашей стране, но и всему миру, всему человечеству», ее развитие открывает перспективу для «нашей страны не на десятилетия, а на столетия вперед». Он анонсировал открытие между Санкт-Петербургом и г. Владивостоком регулярных грузовых перевозок по СМП с 2022 г. и вновь призвал иностранных партнеров к совместной работе в Арктике и развитию СМП как национальной транспортной артерии Российской Федерации, базируясь на принципах международного права, взаимовыгодного партнерства и экологической безопасности [13].

### Литература

1. Didenko N.I., Cherenkov V.I. Economic and geopolitical aspects of developing the Northern Sea Route // IOP conference series: earth and environmental science. IOP Publishing. 2018. V. 180. № 1. P. 1–10. doi: 10.1088/1755-1315/180/1/012012.
2. Governance of Arctic shipping: rethinking risk, human impacts and regulation / A. Chircop [et al.]. Springer Nature. 2020. 319 p. doi: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-44975-9>.
3. Ерохин В.Л. Северный морской путь и арктические транспортные коридоры: проблемы использования и прогнозы коммерциализации грузоперевозок // Маркетинг и логистика. 2017. № 6. С. 22–44.
4. Российская Арктика. Начало «Полярного дня» // Мужская работа. 2017. № 60. URL: <https://menswork.ru/?q=content/> (дата обращения: 15.09.2021).
5. Gunnarsson B., Moe A. Ten years of international shipping on the Northern Sea Route: trends and challenges // Arctic Review on Law and Politics. 2021. V. 12. P. 4–30. doi: 10.23865/arctic.v12.2614.
6. Vukovic N.A., Mekhrentsev A.V., Vukovic D.B. Transnational transport corridor of the northern sea route based on Sabetta seaport: challenges of regional development for Russia // Journal Of The Geographical Institute Jovan Cvijic Sasa. 2018. V. 68. № 3. P. 405–414. doi: <https://doi.org/10.2298/IJGI180613005V>.
7. Marchenko N. Northern Sea Route: Modern State and Challenges // International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering. – American Society of Mechanical Engineers. 2014. V. 45561. P. V010T07A022.
8. Баскин Ю.Г., Свидзинская Г.Б. Реализация государственной программы обновления аварийно-спасательного флота Российской Федерации на отечественных верфях // Проблемы управления рисками в техносфере. 2017. № 3 (43). С. 123–129.
9. Что представляет собой судно «Катерина Великая». URL: <https://aif.ru/money/economy/> (дата обращения: 15.09.2021).
10. Копейкин Н.Н., Мельник А.А., Агеев П.М. Разработка правил надзора за спасательными судами МЧС России в части обеспечения эксплуатационной безопасности механических установок // Проблемы управления рисками в техносфере. 2021. № 2 (58). С. 83–88.
11. Statuto A.I. Overview of the of Arctic shipping role and ensuring of its environmental safety // Ecology. 2020. № 9. P. 5–16.
12. Климентьев А.Ю., Книжников А.Ю., Григорьев А.Ю. Перспективы и возможности использования СПГ для бункеровки в Арктических регионах России. М.: Всемирный фонд дикой природы (WWF), 2017. 60 с.
13. Фаляхов Р. Длина имеет значение: как Россия будет осваивать Северный морской путь. URL: <https://www.gazeta.ru/business/2021/09/03/13948376.shtml> (дата обращения: 15.09.2021).

### References

1. Didenko N.I., Cherenkov V.I. Economic and geopolitical aspects of developing the Northern Sea Route // IOP conference series: earth and environmental science. IOP Publishing. 2018. V. 180. № 1. P. 1–10. doi: 10.1088/1755-1315/180/1/012012.
2. Governance of Arctic shipping: rethinking risk, human impacts and regulation / A. Chircop [et al.]. Springer Nature. 2020. 319 p. doi: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-44975-9>.
3. Erohin V.L. Severnyj morskoy put' i arkticheskie transportnye koridory: problemy ispol'zovaniya i prognozy kommercializacii gruzoperevozok // Marketing i logistika. 2017. № 6. S. 22–44.
4. Rossijskaya Arktika. Nachalo «Polyarnogo dnya» // Muzhskaya rabota. 2017. № 60. URL: <https://menswork.ru/?q=content/> (data obrashcheniya: 15.09.2021).

5. Gunnarsson B., Moe A. Ten years of international shipping on the Northern Sea Route: trends and challenges // *Arctic Review on Law and Politics*. 2021. V. 12. P. 4–30. doi: 10.23865/arctic.v12.2614.

6. Vukovic N.A., Mekhrentsev A.V., Vukovic D.B. Transnational transport corridor of the northern sea route based on Sabetta seaport: challenges of regional development for Russia // *Journal Of The Geographical Institute Jovan Cvijic Sasa*. 2018. V. 68. № 3. P. 405–414. doi: <https://doi.org/10.2298/IJGI180613005V>.

7. Marchenko N. Northern Sea Route: Modern State and Challenges // *International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering*. – American Society of Mechanical Engineers. 2014. V. 45561. P. V010T07A022.

8. Baskin Yu.G., Svidzinskaya G.B. Realizaciya gosudarstvennoj programmy obnovleniya avarijno-spasatel'nogo flota Rossijskoj Federacii na otechestvennyh verfyah // *Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere*. 2017. № 3 (43). S. 123–129.

9. Chto predstavlyaet soboj sudno «Katerina Velikaya». URL: <https://aif.ru/money/economy/> (data obrashcheniya: 15.09.2021).

10. Kopejkin N.N., Mel'nik A.A., Ageev P.M. Razrabotka pravil nadzora za spasatel'nymi sudami MCHS Rossii v chasti obespecheniya ekspluatacionnoj bezopasnosti mekhanicheskikh ustanovok // *Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere*. 2021. № 2 (58). S. 83–88.

11. Statuto A.I. Overview of the of Arctic shipping role and ensuring of its environmental safety // *Ecology*. 2020. № 9. R. 5–16.

12. Kliment'ev A.Yu., Knizhnikov A.Yu., Grigor'ev A.Yu. Perspektivy i vozmozhnosti ispol'zovaniya SPG dlya bunkerovki v Arkticheskikh regionah Rossii. M.: Vsemirnyj fond dikoj prirody (WWF), 2017. 60 s.

13. Falyahov R. Dlina imeet znachenie: kak Rossiya budet osvivaivat' Severnyj morskoy put'. URL: <https://www.gazeta.ru/business/2021/09/03/13948376.shtml> (data obrashcheniya: 15.09.2021).

УДК 004.942

## **ИНФОРМАЦИОННЫЙ ПРОЦЕСС МОНИТОРИНГА И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОТ ВНЕДРЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИ ОРИЕНТИРОВАННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НА АВТОМОБИЛЬНОМ ТРАНСПОРТЕ**

**О.В. Ложкина, доктор технических наук, профессор.  
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России.  
В.И. Комашинский, доктор технических наук, доцент.  
Институт проблем транспорта им. Н.С. Соломенко  
Российской академии наук**

Описывается информационный процесс мониторинга и долгосрочного прогнозирования эффективности от внедрения экологически ориентированных технологий на автомобильном транспорте. Информационный процесс реализуется в трех стратах: первая страта включает исходные информационные базы данных, расчетные модели, прогнозные сценарии; во второй страте производится расчетное прогнозирование; третья страта – когнитивная – страта принятия решений и управляющих воздействий по результатам прогнозной оценки по индикаторным показателям качества воздуха. Разработанный подход был апробирован на примере Санкт-Петербурга.

*Ключевые слова:* информационный процесс, мониторинг, прогнозирование, автотранспорт, экологически ориентированные технологии

## **INFORMATION PROCESS FOR MONITORING AND FORECASTING THE EFFECTIVENESS OF ENVIRONMENTALLY FRIENDLY TECHNOLOGIES IN ROAD TRANSPORT**

O.V. Lozhkina. Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia.  
V.I. Komashinsky. Solomenko institute of transport problems

The article describes information process for monitoring and long-term forecasting the effectiveness of environmentally friendly technologies in road transport. The information process includes three strata: the first stratum comprises initial information databases, computational models, predictive scenarios; in the second stratum, computational forecasting is performed; the third stratum is the cognitive stratum – the stratum of decision-making and control actions based on the results of air quality forecasting. We have tested the developed approach in Saint-Petersburg.

*Keywords:* information process, monitoring, forecasting, motor transport, environmentally friendly technologies

### **Введение**

Независимые исследования ученых по всему миру показывают, что в крупных городах с развитой автодорожной инфраструктурой на транспорт приходится более 60 % валовых выбросов парниковых газов (ПГ) и загрязняющих веществ (ЗВ), включая угарный газ (CO), оксиды азота (NO<sub>x</sub>), диоксид серы (SO<sub>2</sub>), мелкодисперсные взвешенные частицы PM<sub>10</sub> и PM<sub>2,5</sub> [1–5].

Ревич Б.А. в своей работе [6], основанной на анализе зарубежных исследований, проведенных в Китае, Индии, США, Франции, Германии, Испании, указывает на взаимосвязь

между заболеваемостью и смертностью от новой коронавирусной инфекции COVID-19 и уровнем загрязненности атмосферного воздуха в городах [7–11]. Анализ данных показывает, что вирус COVID-19 может адсорбироваться на поверхности аэрозольных частиц  $PM_{10}$  и  $PM_{2,5}$  и переноситься таким образом на более значительные расстояния (2–10 м). Кроме того, опасное воздействие мелкодисперсных взвешенных частиц  $PM_{2,5}$  провоцирует и/или усугубляет заболевания сердца и легких, нарушение сердечного ритма, астму, снижение легочной функции, респираторные симптомы (кашель, затрудненное дыхание), увеличивая, таким образом, тяжесть исходов коронавирусной болезни для инфицированных. Еще одним опасным фактором, способным оказать неблагоприятное влияние на исход ковидной болезни, наряду с  $PM_{2,5}$ , является загрязнение воздуха диоксидом азота ( $NO_2$ ). Это вещество вызывает гибель клеток эпителия в легких, воспаление дыхательных путей; является значимым фактором риска развития хронической обструктивной болезни легких, ишемической болезни сердца, гипертонической болезни, диабета и других заболеваний.

Напряженная эпидемиологическая ситуация в крупнейших городах мира по-новому актуализирует проблему повышения экологической безопасности.

Эффективность управления экологической безопасностью существенно зависит от качества мониторинга текущей обстановки и достоверности прогнозирования ситуации в будущем в различных пространственно-временных масштабах (от локальных краткосрочных до глобальных долгосрочных), а также эффективности сбора входных информационных данных, адекватности расчетных моделей, эффективности обработки получаемых больших объемов экспериментально-расчетных данных [12–15].

Целью настоящей работы явилась разработка и апробация на примере Санкт-Петербурга информационного процесса долгосрочного прогнозирования эффективности от внедрения экологически ориентированных технологий на автомобильном транспорте.

### Объект, модели, методы исследования и прогнозные сценарии

#### *Характеристика объекта исследования.*

В качестве объекта исследования был выбран Санкт-Петербург. Санкт-Петербург является вторым по значению транспортным узлом Российской Федерации, здесь действуют практически все виды городского наземного, водного и подземного транспорта, и вторым субъектом страны по количеству эксплуатируемых автотранспортных средств (АТС), сведения о динамике изменения численности которых в 2010–2020 гг. приведены в табл. 1 (данные обобщены на основе анализа открытых данных, публикуемых в ежегодных сборниках Росстата).

Таблица 1. Динамика изменения количества зарегистрированных АТС в Санкт-Петербурге в 2010–2020 гг.

Год	Количество АТС, ед.			
	легковые автомобили	грузовые автомобили	автобусы	всего
2010	1 462 461	129 043	22 714	1 614 218
2011	1 525 967	138 967	20 965	1 685 899
2012	1 537 473	201 033	22 449	1 760 955
2013	1 741 267	220 067	21 513	1 982 847
2014	1 636 336	213 123	19 838	1 869 297
2015	1 638 183	217 738	20 221	1 876 142
2016	1 676 379	214 003	19 659	1 910 041
2017	1 710 811	223 662	29 798	1 964 271
2018	1 724 410	226 975	20 948	1 972 333
2019	1 744 133	229 764	21 061	1 994 958
2020	1 771 034	231 735	20 951	2 023 720

С 2010 по 2020 г. численность автомобильного парка Санкт-Петербурга выросла в 1,2 раза за счет увеличения количества легковых автомобилей и грузовых автомобилей (табл. 1) и по состоянию на 2020 г. достигла 2 023 720 ед.

В табл. 2 приведены сведения о потреблении углеводородных энергоносителей автотранспортом Санкт-Петербурга в 2014–2018 гг. (сведения были получены из открытых источников Петростата).

Таблица 2. Динамика потребления углеводородных энергоносителей автотранспортом Санкт-Петербурга в 2014–2018 гг.

Тип АТС	Тип топлива	Потребление углеводородного (УВ) топлива, т/год				
		2014	2015	2016	2017	2018
Легковые	Бензин	1065324	1066749	1072126	1078562	1087817
	Диз. топливо	47754	48102	48659	48983	49072
	СНГ* и СПГ**	1220	1268	1289	1380	1350
	Всего	1114298	1116119	1122074	1128925	1138239
Микроавтобусы и автофургоны (< 3,5 т)	Бензин	198765	204653	207863	212142	213160
	Диз. топливо	89646	89976	90327	90785	91823
	СНГ* и СПГ**	965	972	987	1021	1045
	Всего	289376	295601	299177	303948	306028
Грузовые и автобусы (>3,5 т)	Бензин	28638	29341	29677	30248	30973
	Диз. топливо	315664	315989	316774	316982	317498
	СНГ* и СПГ**	14322	14759	14889	15128	15595
	Всего	358624	360089	361340	362358	364066
Суммарное потребление УВ*** топлива, т/год		1762298	1771809	1782591	1795231	1808333
Суммарное потребление СНГ* и СПГ**, т/год		16567	16 999	17165	17529	17990
Доля СНГ* и СПГ** в суммарном потреблении топлива, %		0,93	0,96	0,96	0,98	0,99

\*СНГ – сжатый нефтяной газ; \*\*СПГ – сжиженный природный газ

Анализ данных, приведенных в табл. 2, свидетельствует о том, что доля потребления газового топлива в 2014 и 2018 гг. в суммарном потреблении топлива составила соответственно 0,11 и 0,12 % в сегменте легкового автотранспорта; 0,33 и 0,34 % – в сегменте легкого коммерческого транспорта; 3,99 и 4,28 % – в сегменте тяжелого коммерческого транспорта (грузовики и автобусы). В то же время суммарное потребление углеводородных энергоносителей легковыми автомобилями выросло на 2,1 %, а газа – на 9,6 %, легким коммерческим транспортом (микроавтобусами и автофургонами) – соответственно на 5,4 и 7,6 %, грузовыми автомобилями и автобусами – соответственно на 1,5 и 8,2 %. Полученные результаты, с одной стороны, свидетельствуют о том, что в сегменте легковых АТС доля использования альтернативных видов топлива мала, но в то же время в сегменте крупнотоннажного автотранспорта число АТС, работающих на более экологически чистом газообразном топливе, заметно увеличивается, и это было отражено в прогнозных сценариях.

В официальном отчете Министерства транспорта Российской Федерации за 2020 г. (<https://mintrans.gov.ru/ministry/targets/187/191/documents>) говорится, что по итогам 2020 г. россияне в общей сложности приобрели 687 новых электромобилей, из них в Санкт-Петербурге – 69 электромобилей. А всего по состоянию на 1 января 2021 г. (по данным аналитического агентства «Автостат») в Северной столице насчитывалось 205 электромобилей.

Таким образом, анализ структуры автопарка Санкт-Петербурга по типу используемых энергоносителей показал, что по состоянию на 2021 г. подавляющее большинство автомобилей во всех типовых сегментах (легковые, грузовые, автобусы) оснащено двигателями внутреннего сгорания, работающими на традиционных видах топлива (бензине и дизельном топливе).

В то же время официальная «Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года» предполагает значительное усиление требований к экологичности и энергоэффективности развития транспорта и изменение структуры используемых топливно-энергетических ресурсов в отрасли.

#### Описание модели исследования.

Структурно-логическая схема разработанного информационного процесса долгосрочного прогнозирования эффективности от внедрения экологически ориентированных технологий на автомобильном транспорте представлена на рис. 1.



Рис. 1. Структурно-логическая схема информационного процесса долгосрочного прогнозирования эффективности от внедрения экологически ориентированных технологий на автомобильном транспорте

Структурно-логическая модель выстраивается в трех стратах: 1 страта – страта информационных баз данных, включающих сведения о количестве АТС, характеристики автотранспортных потоков, данные о распределении автомобилей по типам двигателей и экологическим классам, расчетные модели и набор прогнозных сценариев; 2 страта – страта расчетного прогнозирования уровня загрязнения атмосферного воздуха по заложенным сценариям с учетом планируемых управленческих и технологических мероприятий; 3 страта – когнитивная страта (страта принятия решений и управляющих воздействий по результатам прогнозной оценки по индикаторным показателям качества воздуха (например, снижению выбросов углекислого газа, оксидов азота, мелкодисперсных взвешенных частиц).

*Метод исследования.*

Расчетное прогнозирование валовых выбросов автотранспорта осуществляли с использованием Европейской методологии COPERT. Ключевым для проведения прогнозирования отличием COPERT от других расчетных отечественных и зарубежных подходов является скрупулезная детализация АТС по экологическим классам (Евро 0 – Евро 6), типам двигателя, объемам двигателя (для легковых ТС), весу ТС (для легкого коммерческого транспорта (ЛКТ), грузовиков и автобусов), типам используемого источника энергии (бензина, дизельного топлива, СПГ, СНГ, биодизельного топлива, биоэтанола, водорода, электричества), что позволяет в долгосрочной перспективе получить обоснованные оценки положительного эффекта от внедрения экологически ориентированных технологий на автомобильном транспорте.

### **Сценарии развития автотранспортного комплекса Санкт-Петербурга в долгосрочной перспективе до 2035 г.**

При обосновании перспективных сценариев процесса модернизации эксплуатируемого автотранспорта в долгосрочной перспективе до 2035 г. учитывались прогнозные значения социально-экономических показателей региона, обнародованные в официальном документе «Прогноз социально-экономического развития Санкт-Петербурга на период до 2035 года», утвержденном постановлением Правительства Санкт-Петербурга от 14 февраля 2017 г. № 90. Распределение транспортных средств по экологическим классам выполнялось на основе статистического анализа темпов обновления автопарка и сроков введения нормативов на выбросы, а по виду потребляемого энергоносителя (бензин, дизельное топливо, газовое топливо, электричество) – исходя из текущей ситуации и целевых показателей сценариев развития транспортного комплекса согласно Транспортной стратегии. Было рассмотрено три варианта развития автотранспорта:

Сценарий 1 «Базовый» – в основу сценария заложены темпы обновления автопарка по мере ужесточения требований в отношении снижения выбросов и повышения качества традиционных моторных топлив, а также консервативный принцип сохранения доли автотранспорта, работающего на альтернативных энергоносителях, на уровне 1,5–2 %.

Сценарий 2 «Инновационный» подразумевает, что, наряду с реализацией экологических ориентированных мероприятий базового сценария, к 2035 г. доля потребления альтернативных видов энергоносителей достигнет 30 %, а парк автомобилей на 54 % будет состоять из ТС, оснащенных двигателями, работающими на альтернативных источниках энергии. Индикаторы инновационного сценария 2 представлены в табл. 3.

Таблица 3. **Индикаторы сценария 2**

№	Вид транспорта	Ед. изм.	2010 г.	2011 г.	2015 г.	2018 г.	2020 г.	2025 г.	2030 г.	2035 г.
Доля альтернативных видов топлива в суммарном потреблении топлива автотранспортом										
1	автомобильный	%	0,9	0,9	0,96	0,99	1,0	5	20	30
Доля парка транспортных средств с двигателями, работающими на альтернативных энергоносителях										
2	автомобильный	%	<1	<1	<1	<1	1	7	29	54

Сценарий 3 «Общественный транспорт» подразумевает, что, наряду с базовыми мероприятиями, перевозка пассажиров общественным транспортом к 2035 г. увеличится на 14 % по сравнению с 2010 г., а использование личного автотранспорта пропорционально сократится. Индикаторы сценария 3 отражены в табл. 4.



Таблица 4. Индикаторы сценария 3

Наименование		2010 г.	2015 г.	2020 г.	2025 г.	2030 г.	2035 г.
1.	Доля альтернативных видов топлива в валовом потреблении топлива АТС, %	0,9	0,96	1,0	1,3	1,5	2,0
2.	Возрастание перевозок обществ. транспортом по сравнению со сценарием 1, %	Базовый уровень	3	5	9	12	14

### Результаты и обсуждение

Расчетное исследование показало, что при реализации сценария 1 при условии возрастания количества легковых автомобилей в 1,6 раз, а грузовых автомобилей и автобусов в 1,5 раза к 2035 г. по сравнению с 2015 г., эффективность от внедрения более жестких нормативов (Евро 5 – Евро 6) на содержание поллютантов в отработавших газах и на качество углеводородных топлив (Евро 5) могло бы привести к заметному сокращению выбросов ЗВ и ПГ: выброса угарного газа в 2,7 раза, выброса углеводородов в 1,8 раза, выброса аммиака в 1,3 раза, выброса закиси азота в 8,5 раз, выброса метана в 1,3 раза, выброса мелкодисперсных взвешенных частиц в 1,8 раз, выброса оксидов азота на 10 %.

Использование дизельного топлива не ниже стандарта Евро 5 позволило бы сократить к 2035 г. выбросы диоксида серы (SO<sub>2</sub>) в 20,2 раза по сравнению с 2015 г. и в 24,5 раза по сравнению с 2010 г., а сажевых частиц (PM) – в 1,9 и 2,1 раз соответственно (рис. 2).

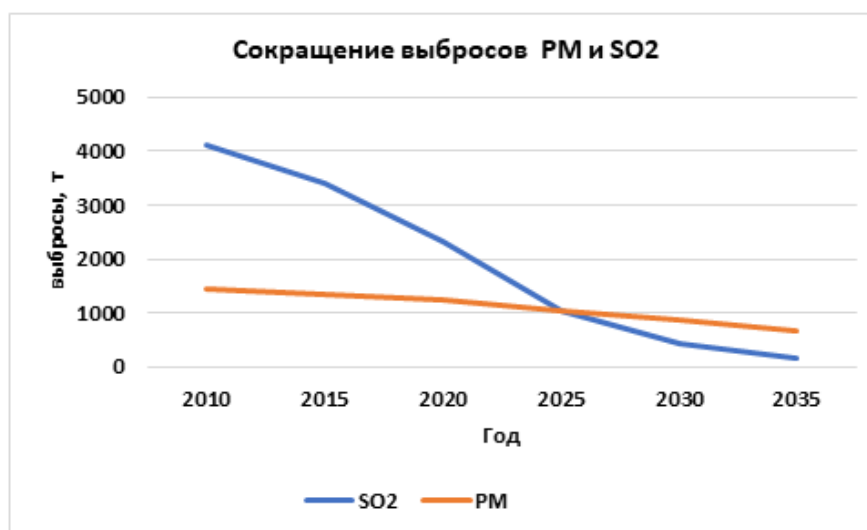


Рис. 2. Динамика сокращения выбросов оксида серы (SO<sub>2</sub>) и сажевых частиц (PM) при использовании дизельного топлива экологического качества Евро 5

Прогнозные расчеты по сценарию 2 позволяют сделать вывод о том, что при развитии ситуации в автотранспортной отрасли по инновационному варианту правомерно ожидать к 2035 г. дополнительного сокращения, по сравнению со сценарием 1, валовых выбросов ПГ и загрязняющих компонентов: CO<sub>2</sub> на 12,6 %, N<sub>2</sub>O на 13,8 %, CO на 7,6 %, NO<sub>x</sub> на 2,0 % (рис. 3), углеводородов на 22,8 %. А при условии перевода 30 % автопарка на газовое топливо выбросы CH<sub>4</sub> уменьшились бы на 4,8 % (рис. 4).

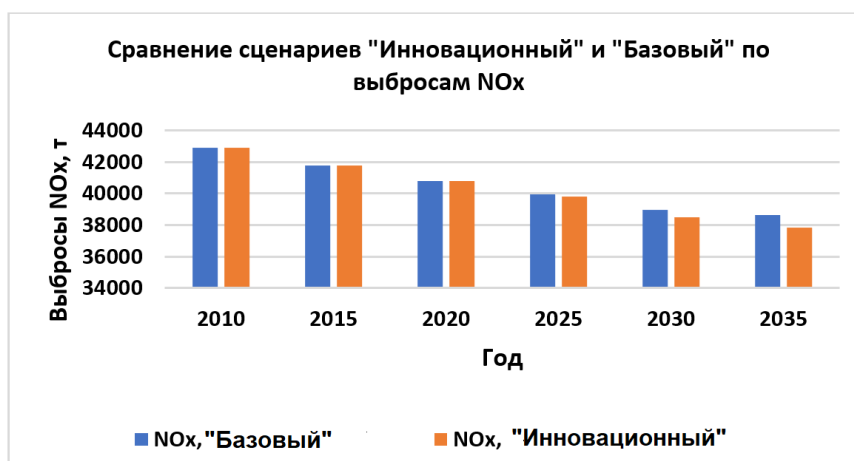


Рис. 3. Сравнение сценария 1 «Базовый» и сценария 2 «Инновационный» по показателям выбросов оксидов азота

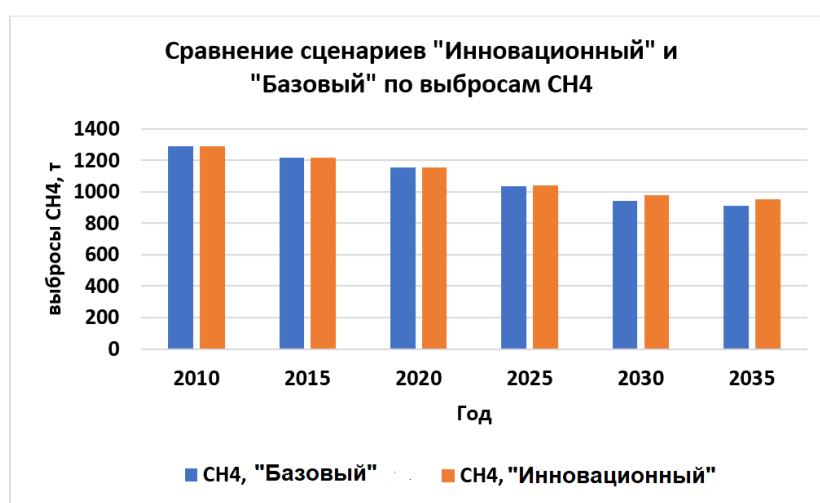


Рис. 4. Сравнение сценария 1 «Базовый» и сценария 2 «Инновационный» по показателям выбросов парникового газа CH<sub>4</sub>

Развитие инфраструктуры городского транспорта согласно сценарию 3, предполагающему к 2035 г. увеличение перевозки пассажиров общественным транспортом на 14 % и сокращение объемов использования личного транспорта на 10 % по сравнению с 2010 г., позволило бы сократить дополнительно суммарные выбросы ЗВ на 12,6 % по сравнению со сценарием 1.

### Заключение

Проведенный анализ показал, что ужесточение законодательного регулирования выбросов ЗВ и ПГ, реализация экологически ориентированных мероприятий в транспортном секторе будет в долгосрочной перспективе способствовать сокращению негативного воздействия этой отрасли на окружающую среду, что особенно важно в условиях роста численности населения в городах, роста темпов его автомобилизации и увеличения транспортной деятельности в целом, проявления глобальных экологических проблем, связанных с изменением климата, в том числе погодных качелей (волн жары и холода), появления и распространения новых особо опасных инфекций.

## Литература

1. Wild P. Recommendations for a future global CO<sub>2</sub>-calculation standard for transport and logistics // *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 2021. V. 100. e103024.
2. Mingolla S., Lu Z. Carbon emission and cost analysis of vehicle technologies for urban taxis Article // *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 2021. V. 99. e102994.
3. González L., Perdiguero J., Sanz A. Impact of public transport strikes on traffic and pollution in the city of Barcelona // *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 2021. V. 99. e102952.
4. Lozhkin V., Gavkalyuk B., Lozhkina O., Evtukov S., Ginzburg G. Monitoring of extreme air pollution on ring roads with PM<sub>2,5</sub> soot particles considering their chemical composition (case study of Saint Petersburg) // *Transportation Research Procedia*. 2020. V. 50. P. 381–388.
5. Lozhkina O., Rogozinsky G., Lozhkin V., Malygin I., Komashinsky V. Smart Technologies for Decision-Support in the Management of Environmental Safety of Transportation in Big Port Cities // *Marine Intellectual Technologies*. 2020. Vol. 1. № 2 (48). P. 125–133.
6. Ревич Б.А., Шапошников Д.А. Пандемия COVID-19: новые знания о влиянии качества воздуха на распространение коронавирусной инфекции в городах // *Проблемы прогнозирования*. 2021. № 4. С. 28–36.
7. Zhu Y., Xie J., Huang F., and L. Cao. Association between short-term exposure to air pollution and COVID-19 infection: Evidence from China // *Science of the Total Environment*. 2020. V. 727. e138704. Doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.138704.
8. Coccia M. Factors determining the diffusion of COVID-19 and suggested strategy to prevent future accelerated viral infectivity similar to COVID // *Science of the Total Environment*. 2020. V. 729. e138704. Doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.138704.
9. Wu X., Nethery R.C., Sabath M.B., Braun D., Dominici F. Air pollution and COVID-19 mortality in the United States: Strengths and limitations of an ecological regression analysis // *Science advances*. 2020. V. 6 (45). eabd4049. Doi.org/10.1126/sciadv.abd4049.
10. Burnett R., Cohen A. Relative risk functions for estimating excess mortality attributable to outdoor PM<sub>2,5</sub> air pollution: Evolution and state-of-the-art // *Atmosphere*. 2020. V. 11(6). P. 589.
11. Ogen Y. Assessing nitrogen dioxide (NO<sub>2</sub>) levels as a contributing factor to the coronavirus (COVID-19) fatality rate // *Science of the Total Environment*. 2020. V. 726. e138605. Doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.138605.
12. Ложкина О.В., Комашинский В.И. К вопросу о совершенствовании информационного процесса мониторинга и прогнозирования опасного воздействия транспортных выбросов на среду обитания и население // *Науч.-анал. журн. «Вестник С.-Петербур. ун-та ГПС МЧС России»*. 2021. № 2. С. 16–24.
13. Ложкина О.В., Малышев С.А., Хахленов А.В. Исследование опасного загрязнения придорожного воздуха мелкодисперсными взвешенными частицами PM<sub>10</sub> и PM<sub>2,5</sub> на примере Санкт-Петербурга // *Проблемы управления рисками в техносфере*. 2021. № 2 (58). С. 96–103.
14. Ложкин В.Н., Ложкина О.В. Повышение качества информационной поддержки контроля загрязнения атмосферного воздуха поллютантами автотранспорта на примере Санкт-Петербурга // *Вода и экология: проблемы и решения*. 2021. № 2 (86). С. 65–74.
15. Ложкина О.В., Онищенко И.А. Методика оценки выбросов опасных компонентов отработавших газов при пуске и прогреве двигателей автотранспортных средств в климатических условиях Арктики // *Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петербур. ун-та ГПС МЧС России»*. 2020. № 3. С. 30–37.

## References

1. Wild P. Recommendations for a future global CO<sub>2</sub>-calculation standard for transport and logistics // *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 2021. V. 100. e103024.

2. Mingolla S., Lu Z. Carbon emission and cost analysis of vehicle technologies for urban taxis Article // *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 2021. V. 99. e102994.
3. González L., Perdiguero J., Sanz A. Impact of public transport strikes on traffic and pollution in the city of Barcelona // *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 2021. V. 99. e102952.
4. Lozhkin V., Gavkalyuk B., Lozhkina O., Evtukov S., Ginzburg G. Monitoring of extreme air pollution on ring roads with PM<sub>2,5</sub> soot particles considering their chemical composition (case study of Saint Petersburg) // *Transportation Research Procedia*. 2020. V. 50. P. 381–388.
5. Lozhkina O., Rogozinsky G., Lozhkin V., Malygin I., Komashinsky V. Smart Technologies for Decision-Support in the Management of Environmental Safety of Transportation in Big Port Cities // *Marine Intellectual Technologies*. 2020. V. 1. № 2 (48). P. 125–133.
6. Revich B.A., SHaposhnikov D.A. Pandemiya COVID-19: novye znaniya o vliyanii kachestva vozduha na rasprostranenie koronavirusnoj infekcii v gorodah // *Problemy prognozirovaniya*. 2021. № 4. S. 28-36.
7. Zhu Y., Xie J., Huang F., and L. Cao. Association between short-term exposure to air pollution and COVID-19 infection: Evidence from China // *Science of the Total Environment*. 2020. V. 727. e138704. - Doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.138704.
8. Coccia M. Factors determining the diffusion of COVID-19 and suggested strategy to prevent future accelerated viral infectivity similar to COVID // *Science of the Total Environment*. 2020. V. 729. e138704. Doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.138704
9. Wu X., Nethery R. C., Sabath M. B., Braun D., Dominici F. Air pollution and COVID-19 mortality in the United States: Strengths and limitations of an ecological regression analysis // *Science advances*. 2020. V. 6(45). eabd4049. Doi.org/10.1126/sciadv.abd4049.
10. Burnett R. and Cohen A. Relative risk functions for estimating excess mortality attributable to outdoor PM<sub>2,5</sub> air pollution: Evolution and state-of-the-art // *Atmosphere*. 2020. V. 11(6). P. 589.
11. Ogen Y. Assessing nitrogen dioxide (NO<sub>2</sub>) levels as a contributing factor to the coronavirus (COVID-19) fatality rate // *Science of the Total Environment*. 2020. V. 726. e138605. Doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.138605
12. Lozhkina O.V., Komashinskij V.I. K voprosu o sovershenstvovanii informacionnogo processa monitoringa i prognozirovaniya opasnogo vozdejstviya transportnyh vybrosov na sredu obitaniya i naselenie // *Nauchno-analiticheskij zhurnal Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta Gosudarstvennoj protivopozharnoj sluzhby MCHS Rossii*. 2021. № 2. S. 100–108.
13. Lozhkina O.V., Malyshev S.A., Hahlenov A.V. Issledovanie opasnogo zagryazneniya pridorozhnogo vozduha melkodispersnymi vzveshennymi chasticami PM<sub>10</sub> i PM<sub>2.5</sub> na primere Sankt-Peterburga // *Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere*. 2021. № 2 (58). S. 96-103.
14. Lozhkin V.N., Lozhkina O.V. Povyshenie kachestva informacionnoj podderzhki kontrolya zagryazneniya atmosfernogo vozduha pollyutantami avtotransporta na primere Sankt Peterburga // *Voda i ekologiya: problemy i resheniya*. 2021. № 2 (86). S. 65–74.
15. Lozhkina O.V., Onishchenko I.A. Metodika ocenki vybrosov opasnyh komponentov otrabotavshih gazov pri puske i progreve dvigatelej avtotransportnyh sredstv v klimaticheskikh usloviyah Arktiki // *Nauchno-analiticheskij zhurnal Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta Gosudarstvennoj protivopozharnoj sluzhby MCHS Rossii*. 2020. № 3. S. 30–37.

УДК 614.841

## **МЕТОДИКА ПРОВЕРКИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОЙ ЭВАКУАЦИИ ПассажиРОВ ВОЗДУШНОГО СУДНА ПРИ ПОЖАРЕ**

**И.Г. Малыгин, доктор технических наук, профессор.**

**Институт проблем транспорта им. Н.С. Соломенко**

**Российской академии наук.**

**С.В. Скодтаев.**

**Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Предложена методика, позволяющая на стадии проектирования воздушного судна оценить степень обеспечения условий безопасной эвакуации людей при пожаре и заложить оптимальные технические решения, обеспечивающие безопасность пассажиров. Рассмотрены наиболее распространенные сценарии развития пожара в пассажирском воздушном судне. Предложены и обоснованы дополнительные организационно-технические решения, направленные на обеспечение безопасности пассажиров в случае возникновения пожара в воздушном судне.

*Ключевые слова:* исследование пожара, пожар на воздушном судне, необходимое время эвакуации, расчетное время эвакуации, обеспечение безопасной эвакуации, анализ авиационных катастроф

## **JUSTIFICATION OF TECHNICAL SOLUTIONS AIMED AT REDUCE THE DYNAMICS OF THE DANGEROUS FACTORS OF AIRCRAFT FIRE**

I.G. Malygin.

Solomenko institute of transport problems of the Russian academy of sciences.

S.V. Skodtaev. Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

A technique is proposed that allows at the design stage of an aircraft to assess the degree of ensuring conditions for the safe evacuation of people in case of fire and to lay down optimal technical solutions to ensure the safety of passengers. The most common scenarios for the development of a fire in a passenger aircraft are considered. Additional organizational and technical solutions aimed at ensuring the safety of passengers in the event of a fire in an aircraft are proposed and substantiated.

*Keywords:* fire investigation, aircraft fire, required evacuation time, estimated evacuation time, ensuring safe evacuation, analysis of aviation crash

### **Введение**

Темпы экономического развития любого государства напрямую зависят от состояния транспортной инфраструктуры. Из-за возможности преодоления больших расстояний за короткое время все большую популярность набирает воздушный транспорт. Одним из ключевых направлений в воздушной транспортной структуре России являются пассажирские перевозки.

Согласно статистическим данным [1], количество пассажиров, перевезенных рейсами российских авиакомпаний за 2019 г., составило 123 748 720 человек. С распространением коронавирусной инфекции количество перевозок пассажиров значительно сократилось и за 2020 г. составило 68 917 705 человек. Учитывая ответственность, возложенную

на перевозчиков, возникает серьёзная задача обеспечения безопасности людей на воздушном судне, в том числе в случае возникновения пожара.

При возникновении пожара на пассажирских самолетах важно организовать беспрепятственное движение людей по эвакуационным путям к эвакуационным выходам и далее через них наружу. Данное требование закреплено в Сертификационном базисе [2], в соответствии с которым время эвакуации пассажиров и экипажа для авиалайнеров с количеством пассажирских мест более 44 не должно превышать 90 с. Подобный общий подход ко всем самолетам транспортной категории зачастую является недостаточным для создания условий для безопасной эвакуации пассажиров. При сертификации пассажирских самолетов не учитывается сценарий пожара, при котором аварийные выходы блокируются, и эвакуация осуществляется только в одном направлении. Также не учитываются сценарии, при которых потоки людей при эвакуации движутся на встречу друг другу.

Отметим, что в соответствии с Федеральным законом от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» (в ред. от 27 декабря 2018 г.) безопасная эвакуация людей при пожаре в здании считается обеспеченной, при условии, если время от момента обнаружения пожара до выхода последнего человека в безопасную зону не превышает времени достижения критических значений опасных факторов пожара (ОФП), то есть отсутствуют воздействия на человека ОФП, достигших критических значений.

В настоящее время отсутствуют методики, позволяющие на стадии проектирования воздушного судна просчитать (определить), выполняются ли условия беспрепятственной и своевременной эвакуации людей при возможном пожаре.

### **Методика, результаты исследования и обсуждение**

Для принятия оптимальных технических решений, направленных на повышение безопасности людей, предложена методика проверки обеспечения безопасной эвакуации пассажиров воздушного судна при пожаре (рис. 1).

При проверке обеспечения безопасной эвакуации пассажиров в первую очередь требуется провести анализ пожарной опасности воздушного судна, включающий в себя определение перечня применяемых горючих материалов и жидкостей и их пожароопасных характеристик, установление потенциальных источников зажигания и условий возникновения пожара, при этом необходимо учитывать:

- объемно-планировочные решения объекта;
- количество посадочных мест;
- мероприятия, направленные на ограничение распространения пожара;
- наличие и количество эвакуационных путей и аварийных выходов;
- наличие в салоне средств индивидуальной защиты людей от воздействия ОФП (дымовые кислородные маски);
- вид и пожароопасные характеристики материалов обшивки;
- применение антипиренов для повышения пределов огнестойкости конструкций фюзеляжа и материалов внутренней обшивки и т.д.
- применение автоматических и автономных установок пожаротушения.

Исходя из установленных при исследовании пожарной опасности потенциально возможных источников зажигания, учитывая результаты расследования авиационных катастроф [3], связанных с возникновением пожаров, выбираются сценарии развития пожара и эвакуации пассажиров. Также необходимо учитывать техническую информацию, сохранившуюся на системах наземной регистрации и бортовых накопителях [4, 5], при авиационных происшествиях, произошедших на подобных воздушных судах. Необходимо рассматривать сценарии пожара, произошедших как во внутреннем объеме воздушного судна, так и снаружи, при которых реализуются наихудшие условия для обеспечения безопасности людей, то есть условия с наиболее высокой динамикой нарастания ОФП и максимально затрудненным процессом эвакуации.

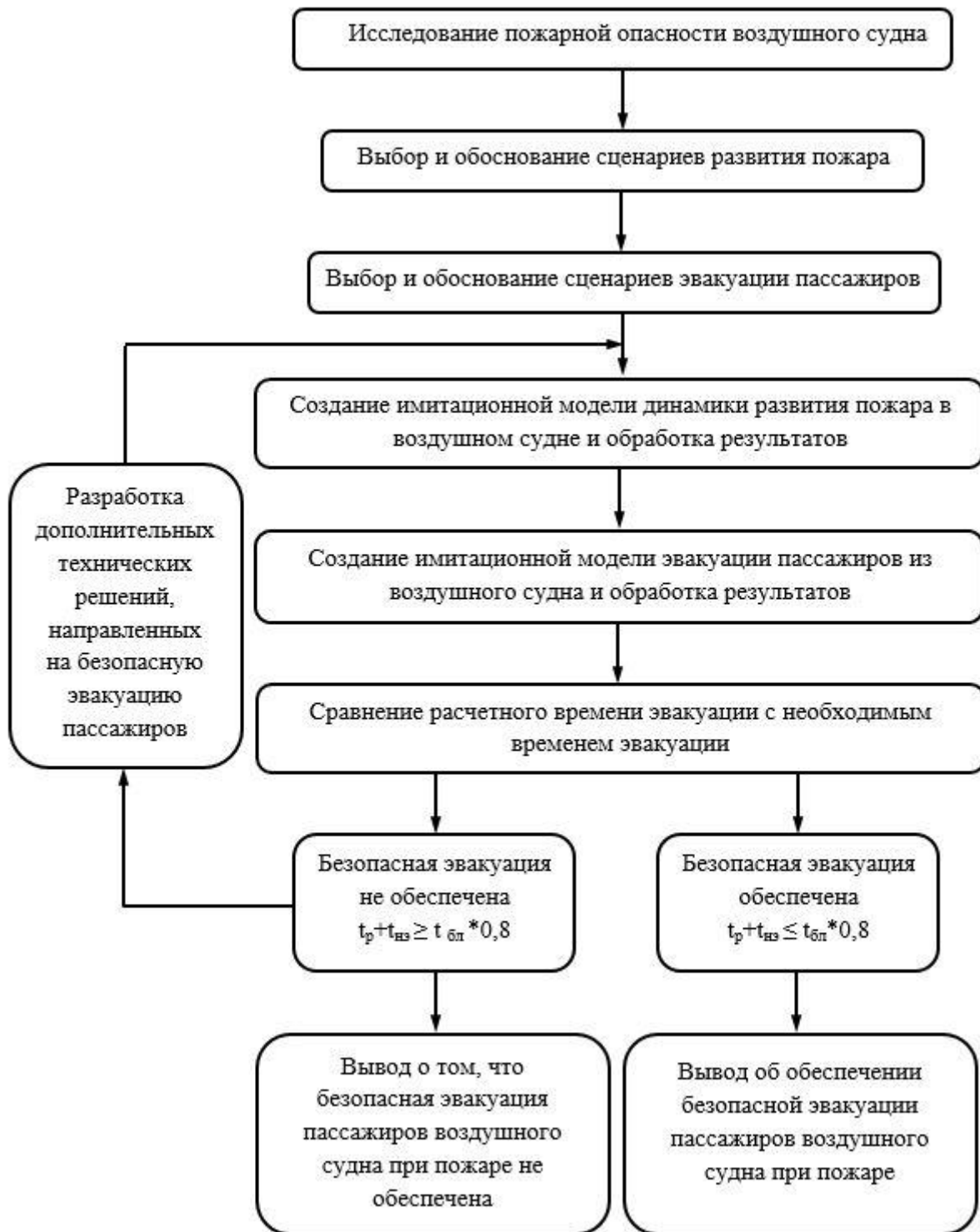


Рис. 1. Схема проверки обеспечения безопасной эвакуации пассажиров воздушного судна при пожаре

Наибольшую опасность для пассажиров представляют пожары, возникающие при аварийной посадке, в результате потери целостности топливных баков самолета и разлива авиационного топлива. В случае возгорания пролитого топлива огонь, как правило, охватывает фюзеляж воздушного судна и блокирует часть эвакуационных выходов. Из-за высокой температуры горения авиационного топлива и мощного теплового потока фюзеляж очень быстро прогревается и в конечном итоге теряет целостность. По этой причине время эвакуации пассажиров очень ограничено и составляет, в лучшем случае, около 180 сек. [6, 7].

Также в режиме ограниченной вентиляции в верхней части салона воздушного судна скапливаются раскаленные газообразные продукты сгорания. В слое дыма температура может достигать 500–600 °С при сохранении относительно невысокой температуры в нижней части салона [8, 9]. Лучистый тепловой поток от этого раскаленного облака прогревает расположенную в салоне воздушного судна пожарную нагрузку (обшивку салона, кресла, напольное покрытие, ручную кладь и т.п.) до температуры самовозгорания, что приводит к одномоментному увеличению площади пожара. Данное явление называется «общей вспышкой» и, как правило, для твердых горючих материалов возникает при достижении раскаленными продуктами сгорания в припотолочном слое температуры более 600 °С [10]. В салоне воздушного судна условия для возникновения «общей вспышки» формируются примерно к 150 сек. после начала пожара [8, 9]. При исследовании пожара, произошедшего 5 мая 2019 г. в самолете Sukhoi Superjet 100-95В в аэропорту Шереметьево, было установлено, что примерно к середине второй минуты произошла «общая вспышка», в результате которой большая часть салона воздушного судна оказалась охвачена огнем [11].

После выбора сценариев развития пожара и эвакуации пассажиров необходимо создать имитационную модель воздушного судна, учитывающую характеристики, влияющие на безопасную эвакуацию людей, то есть необходимо создать компьютерную модель воздушного судна с помощью программного обеспечения, позволяющего эффективно спрогнозировать развитие пожара и эвакуацию пассажиров.

Для определения расчетного времени эвакуации необходимо использовать индивидуально-поточную модель движения людей, так как объектом моделирования в ней является отдельный человек, что позволяет точнее воспроизводить многообразие факторов, влияющих на перемещение в пространстве [12–14]. В качестве программного продукта, реализующего индивидуально-поточную модель движения людей, рекомендуется использовать Pathfinder [15].

Для моделирования динамики развития пожара необходимо использовать полевою модель развития пожара CFD (computational fluid dynamics) [16–18]. В качестве программного продукта, реализующего полевою модель развития пожара CFD, рекомендуется использовать PyroSim (<https://www.pyrosim.ru/>) [19].

При полевом моделировании пожар рассматривается как турбулентное течение реакционноспособной смеси газов с широким спектром временных и пространственных масштабов.

После создания имитационных моделей динамики развития пожара и эвакуации пассажиров воздушного судна необходимо рассмотреть наиболее опасные сценарии развития событий.

Далее необходимо сравнить результаты моделирования динамики развития пожара и эвакуации людей, то есть сравнить необходимое время эвакуации с расчетным временем эвакуации.

Необходимое время эвакуации ( $t_{\text{бл}}$ ) принимается как время от момента возникновения пожара до блокирования эвакуационных путей ОФП и определяется как время достижения ОФП критических значений в салоне воздушного судна на высоте 1,7 м от пола с учетом коэффициента безопасности 0,8 [20].

Расчетное время эвакуации людей ( $t_p$ ) принимается как время от начала эвакуации до выхода последнего человека из воздушного судна +10 сек., необходимые для открытия аварийных выходов ( $t_{\text{нэ}}$ ) (интервал времени от момента приведения в действие средств открытия до момента полного открытия выхода, в соответствии с п. 25.809 [2]).

Условия безопасной эвакуации пассажиров воздушного судна при пожаре считаются обеспеченными в случае, когда расчетное время эвакуации меньше необходимого времени эвакуации ( $t_p + t_{\text{нэ}} \leq t_{\text{бл}} * 0,8$ ).

Условия безопасной эвакуации пассажиров воздушного судна при пожаре считаются не обеспеченными в случае, когда расчетное время эвакуации больше необходимого времени эвакуации ( $t_p + t_{\text{нэ}} \geq t_{\text{бл}} * 0,8$ ).



В случае если не обеспечены условия безопасной эвакуации пассажиров при пожаре, в воздушном судне необходимо предусмотреть дополнительные технические решения, направленные на безопасную эвакуацию.

В качестве дополнительных технических решений можно рассмотреть:

- средства, ограничивающие распространение пожара;
- устройство дополнительных аварийных выходов;
- применение средств индивидуальной защиты людей от воздействия ОФП;
- применение систем противопожарной защиты (установки пожаротушения, система дымоудаления и т.д.).

Далее необходимо пересчитать с учетом дополнительных технических решений необходимое и расчетное время эвакуации.

После проведения имитационного моделирования формируются выводы об обеспечении безопасной эвакуации пассажиров воздушного судна. Исходя из результатов проведенных расчетов, вывод может быть отрицательным, положительным или условно положительным. Ниже приведены примеры формулировки выводов.

Отрицательный вывод: «Анализ результатов имитационного моделирования показал, что для принятых организационных и технических решений расчетное время эвакуации людей превышает необходимое время эвакуации людей при пожаре. Условия безопасной эвакуации людей из воздушного судна не обеспечены».

Положительный вывод: «Анализ результатов имитационного моделирования показал, что для принятых организационных и технических решений расчетное время эвакуации людей не превышает необходимое время эвакуации людей при пожаре. Условия безопасной эвакуации людей из воздушного судна обеспечены».

Условно положительный вывод: «Анализ результатов имитационного моделирования показал, что для принятых организационных и технических решений расчетное время эвакуации людей не превышает необходимое время эвакуации людей при пожаре. Условия безопасной эвакуации людей из воздушного судна обеспечены при условии устройства двух дополнительных аварийных выходов в центральной части воздушного судна».

Возможность использования методики проверки обеспечения безопасной эвакуации пассажиров при пожаре рассмотрим на примере воздушного судна «Sukhoi SuperJet 100» (RRJ-95B) в двухклассной компоновке на 87 пассажирских мест.

При моделировании рассматривались два сценария развития пожара и эвакуации пассажиров.

Сценарий № 1. При жесткой посадке воздушного судна топливные баки потеряли целостность, что привело к струйному истечению авиационного керосина с дальнейшим возгоранием. Под воздействием теплового потока от внешнего источника (горящий керосин) происходит прогрев фюзеляжа и иллюминаторов. Огнем охвачена задняя часть воздушного судна, заблокированы аварийные выходы. Эвакуация осуществляется через два аварийных выхода, расположенных в передней части воздушного судна (входная дверь (П-В) – 0,86x1,83 м; сервисная дверь (П-С) – 0,765x1,65 м). С учетом требований [2] – 50 % ручной клади распределено в различных местах, в проходах, подходах к аварийным выходам для создания небольших препятствий. Один человек идет против потока эвакуирующихся.

Сценарий № 2. Пожар произошел в задней части салона воздушного судна в отсеке для хранения предметов ручной клади. Огнем охвачена задняя часть салона, заблокированы аварийные выходы. Эвакуация осуществляется через два аварийных выхода, расположенных в передней части воздушного судна (входная дверь (П-В) – 0,86x1,83 м; сервисная дверь (П-С) – 0,765x1,65 м). С учетом требований [2] – 50 % ручной клади распределено в различных местах, в проходах, подходах к аварийным выходам для создания небольших препятствий. Один человек идет против потока эвакуирующихся.

Моделирование проходило на фрагменте самолета размерами 20,417x3,24x2,112 м (соответственно, длина, ширина и высота пассажирского салона воздушного судна RRJ-95B).

Расчетная сетка равномерная, размер ячейки сетки 0,3x0,3x0,3 м. Размер ячейки расчетной сетки определялся с использованием зависимости, приведенной в работе [17].

На рис. 2, 3 представлены имитационные модели сценариев № 1 и № 2.

На рис. 4 показана схема поведения одного человека, идущего против потока. Красным цветом обозначены мужчины, желтым – женщины.

В табл. 1 приведены результаты моделирования выбранных сценариев пожара и сделан вывод об обеспечении условий безопасной эвакуации людей.

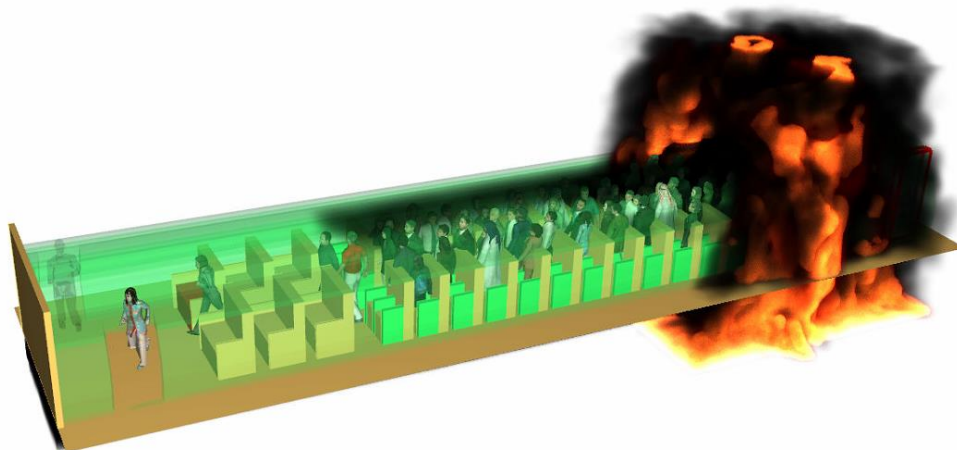


Рис. 2. Имитационная модель воздушного судна, сценарий № 1

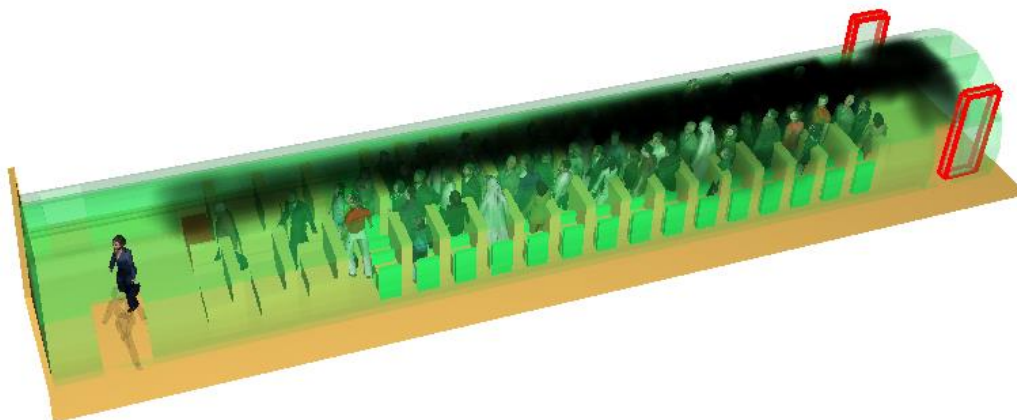


Рис. 3. Имитационная модель воздушного судна, сценарий № 2

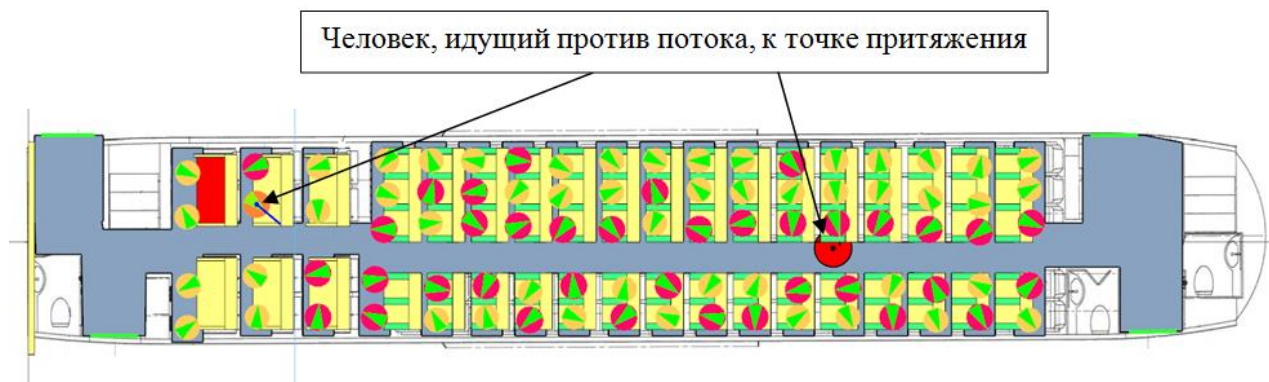


Рис. 4. Схема расположения людей в начальный момент времени

Таблица 1. Сравнение расчетного времени эвакуации с необходимым временем эвакуации

Сценарий	Наименование двери	Время блокирования, $t_{\text{бл}}$ , с	Необходимое время эвакуации, $0,8 t_{\text{бл}}$ , с	Время начала эвакуации, $t_{\text{нэ}}$ , с	Время эвакуации, $t_3 = t_{\text{нэ}} + t_p$ , с	Безопасная эвакуация
1	П-В	33	26,4	10	270,0	не обеспечена
	П-С	33	26,4	10	271,8	не обеспечена
2	П-В	45	36	10	270,0	не обеспечена
	З-В	45	36	10	271,8	не обеспечена

Анализ результатов расчетов показал, что безопасная эвакуация пассажиров воздушного судна при пожаре не обеспечена, поскольку расчетное время эвакуации превышает необходимое времени эвакуации ( $t_p + t_{\text{нэ}} \geq t_{\text{бл}} \cdot 0,8$ ).

Соответственно, необходимо предусмотреть дополнительные технические решения, направленные на достижение условий безопасной эвакуации пассажиров воздушного судна. Для этого предлагается следующее:

- повысить предел огнестойкости заполнения иллюминаторов до значения, соответствующего времени эвакуации;
- предусмотреть устройства блокировки отсеков для хранения предметов ручной клади для исключения возможности загромождения проходов личными вещами пассажиров;
- предусмотреть в салоне воздушного судна систему дымоудаления.

Кроме того, необходимо предусмотреть совместную рассадку членов одной семьи (желательно на местах, расположенных в одном ряду).

В табл. 2 приведены результаты моделирования необходимого и расчетного времени эвакуации пассажиров, с учетом принятых дополнительных технических решений.

Таблица 2. Сравнение расчетного времени эвакуации с необходимым временем эвакуации с учетом принятых дополнительных технических решений

Сценарий	Наименование двери	Время блокирования, $t_{\text{бл}}$ , с	Необходимое время эвакуации, $0,8 t_{\text{бл}}$ , с	Время начала эвакуации, $t_{\text{нэ}}$ , с	Время эвакуации, $t_3 = t_{\text{нэ}} + t_p$ , с	Безопасная эвакуация
1	П-В	> 300	240	10	130,0	обеспечена
	П-С	> 300	240	10	132,4	обеспечена
2	П-В	> 300	240	10	130,0	обеспечена
	З-В	> 300	240	10	132,4	обеспечена

Анализ результатов имитационного моделирования, приведенных в табл. 2, показал, что для принятых организационных и технических решений расчетное время эвакуации людей не превышает необходимое время эвакуации людей при пожаре. Следовательно, условия безопасной эвакуации людей из воздушного судна «Sukhoi SuperJet 100» (RRJ-95B) обеспечены. При этом должны быть реализованы следующие дополнительные организационно-технические решения:

- предел огнестойкости заполнения иллюминаторов не менее 300 с;
- оборудование салона пассажирского самолета системой дымоудаления;
- устройства блокировки отсеков для хранения предметов ручной клади;
- совместная рассадка членов одной семьи (желательно на местах, расположенных в одном ряду).

### Заключение

Предложена методика, позволяющая на стадии проектирования воздушного судна оценить степень обеспечения условий безопасной эвакуации людей при пожаре.

Моделирование наиболее распространенных сценариев развития пожара в самолетах показало, что в большинстве случаев доступны для эвакуации только два выхода из салона.

Что, в свою очередь, обуславливает необходимость разработки дополнительных технических решений и организационных мероприятий.

Разработанная методика позволяет заложить оптимальные технические решения, обеспечивающие безопасность пассажиров воздушного судна при возникновении пожара.

### Литература

1. Статистические данные перевозки пассажиров. URL: <https://favt.gov.ru/deyatelnost-vozdushnye-perevozki-stat-pokazately/> (дата обращения: 15.11.2021).
2. Межгосударственный авиационный комитет. «Авиационные правила. Ч. 25. Нормы летной годности самолетов транспортной категории» (утв. Постановлением 28-й сессии Совета по авиации и использованию воздушного пространства от 11 дек. 2008 г.). Доступ из справ.-правовой системы «Гарант».
3. База по расследованиям авиационных происшествий. URL: <https://mak-iac.org/rassledovaniya/> (дата обращения: 15.11.2021).
4. Иванов А.Ю., Малыгин И.Г., Комашинский В.И. Информационная система наземной регистрации состояния безопасности воздушного судна // Пожаровзрывобезопасность. 2017. Т. 26. № 2. С. 54–61.
5. Малыгин И.Г., Таранцев А.А., Чугунов В.И. Корпус защищенного бортового накопителя информации: пат. № 2620984 Рос. Федерация; заявка № 2016106414; заявл. 24.02.16; опубл. 30.05.17. URL: [https://yandex.ru/patents/doc/RU2620984C1\\_20170530](https://yandex.ru/patents/doc/RU2620984C1_20170530) (дата обращения: 24.11.2021).
6. Lewis R.H. Aircraft cabin water fire suppression – where to now? // Fire Prev.1994. № 270. pp. 16–24.
7. Full scale study of a cabin fire in an A300 fuselage section / K. Dussa, R. Fiala, R. Wagner, B. Zenses // Aircraft Fire Safety: Pap. Propul. and Energ. Panel 73rd Symp., Sintra, 22–26 May, 1989 / NATO Advis. Group Aerosp Res. and Dev. Seattle (Wash.). 1989. pp. 12/1–12/16.
8. Gordon R. Cabin fires // Flying safety. 1986. 42. № 1. pp. 6–17.
9. Characteristics of transport aircraft fires measured by full – scale tests / C.P. Sarkos, R.G. Hill // Aircraft Fire Safety: Pap. Propul. and Energ. Panel 73rd Symp., Sintra, 22–26 May, 1989 / NATO Advis. Group Aerosp Res. and Dev.–Seattle (Wash.). 1989. pp. 11/1–11/17.
10. Драйздейл Д. Введение в динамику пожаров: пер. с англ. К.Г. Бомштейна / под ред. Ю.А. Кошмарова, В.Е. Макарова. М.: Стройиздат, 1990. 424 с.
11. Техническое заключение по факту пожара, произошедшего 5 мая 2019 г. в самолете Sukhoi Superjet 100-95В при посадке на взлетно-посадочную полосу 24Л Международного аэропорта Шереметьево. СПб.: ИЦЭП СПб ун-та ГПС МЧС России, 2020. 101 с.
12. Методика определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и пожарных отсеках различных классов функциональной пожарной опасности: приложение к приказу МЧС России от 30 июня 2009 г. № 382 (в ред. от 2 дек. 2015 г.). Доступ из справ.-правовой системы «Гарант».
13. Эвакуация и поведение людей при пожарах: учеб. пособие / В.В. Холщевников [и др.]. М.: Акад. ГПС МЧС России, 2015. 262 с.
14. Таранцев А.А. Методы расчёта времени эвакуации людей из зданий и сооружений: учеб. пособие / под ред. проф. В.С. Артамонова. СПб.: СПбУ ГПС МЧС России, 2009. 42 с.
15. Pathfinder User Manual. Version: 2021-3. Last Modified: 2021-09-14/ 403 Poyntz Ave., Suite B. Manhattan, KS 66502, USA: Thunderhead Engineering.
16. Снегирев А.Ю. Моделирование тепломассообмена и горения при пожаре: дис. ... д-ра техн. наук. СПб.: С.-Петерб. гос. политех. ун-т, 2004. 270 с.
17. Babuska, I., Oden, J.T. Verification and validation in computational engineering and science: basic concepts // Computer methods in applied mechanics and engineering. 2004. 193. P. 4057–4066.

18. Применение полевого метода математического моделирования пожаров в помещениях: метод. рекомендации / А.М. Рыжов. М.: ВНИИПО, 2002. 35 с.
19. McGrattan K., McDermott R., Hostikka S., Floyd J., Vanella M. Fire Dynamics Simulator. Users Guide. NIST Special Publication 1019, Sixth ed. 2020. 410 p.
20. ГОСТ 12.1.004–91. Пожарная безопасность. Общие требования. Доступ из справ.-правовой системы «Гарант».

### References

1. Statisticheskie dannye perevozki passazhirov. URL: <https://favt.gov.ru/deyatelnost-vozdushnye-perevozki-stat-pokazately/> (data obrashcheniya: 15.11.2021).
2. Mezhdunarodnyy aviacionnyy komitet. «Aviacionnye pravila. Ch. 25. Normy letnoj godnosti samoletov transportnoj kategorii» (utv. Postanovleniem 28-j sessii Soveta po aviatsii i ispol'zovaniyu vozdušnogo prostranstva ot 11 dek. 2008 g.). Dostup iz sprav.-pravovoj sistemy «Garant».
3. Baza po rassledovaniyam aviacionnyh proisshestvij. URL: <https://mak-iac.org/rassledovaniya/> (data obrashcheniya: 15.11.2021).
4. Ivanov A.Yu., Malygin I.G., Komashinskij V.I. Informacionnaya sistema nazemnoj registracii sostoyaniya bezopasnosti vozdušnogo sudna // Pozharovzryvobezopasnost'. 2017. T. 26. № 2. S. 54–61.
5. Malygin I.G., Tarancev A.A., Chugunov V.I. Korpus zashchishchennogo bortovogo nakopitelya informacii: pat. № 2620984 Ros. Federaciya; zayavka № 2016106414; zayavl. 24.02.16; opubl. 30.05.17. URL: [https://yandex.ru/patents/doc/RU2620984C1\\_20170530](https://yandex.ru/patents/doc/RU2620984C1_20170530) (data obrashcheniya: 24.11.2021).
6. Lewis R.H. Aircraft cabin water fire suppression – where to now? // Fire Prev.1994. № 270. pp. 16–24.
7. Full scale study of a cabin fire in an A300 fuselage section / K. Dussa, R. Fiala, R. Wagner, B. Zenses // Aircraft Fire Safety: Pap. Propul. and Energ. Panel 73rd Symp., Sintra, 22–26 May, 1989 / NATO Advis. Group Aerosp Res. and Dev. Seattle (Wash.). 1989. pp. 12/1–12/16.
8. Gordon R. Cabin fires // Flying safety. 1986. 42. № 1. pp. 6–17.
9. Characteristics of transport aircraft fires measured by full – scale tests / C.P. Sarkos, R.G. Hill // Aircraft Fire Safety: Pap. Propul. and Energ. Panel 73rd Symp., Sintra, 22–26 May, 1989 / NATO Advis. Group Aerosp Res. and Dev.–Seattle (Wash.), 1989. pp. 11/1–11/17.
10. Draždej D. Vvedenie v dinamiku požarov: per. s angl. K.G. Bomshtejna / pod red. Yu.A. Koshmarova, V.E. Makarova. M.: Strojizdat, 1990. 424 s.
11. Tekhnicheskoe zaklyuchenie po faktu požara, proizoshedshego 5 maya 2019 goda v samolete Sukhoi Superjet 100-95V pri posadke na vzletno-posadochnuyu polosu 24L Mezhdunarodnogo aeroporta SHeremet'evu. SPb.: ICEP SPb un-ta GPS MCHS Rossii, 2020. 101 s.
12. Metodika opredeleniya raschetnyh velichin požarnogo riska v zdaniyah, sooruzheniyah i požarnyh otsekah razlichnyh klassov funkcional'noj požarnoj opasnosti: prilozhenie k prikazu MCHS Rossii ot 30.06.2009 g. № 382 (v red. ot 2 dek. 2015 g.). Dostup iz sprav.-pravovoj sistemy «Garant».
13. Evakuaciya i povedenie lyudej pri požarah: ucheb. posobie / V.V. Holshchevnikov [i dr.]. M.: Akad. GPS MCHS Rossii, 2015. 262 s.
14. Tarancev A.A. Metody raschyota vremeni evakuacii lyudej iz zdaniy i sooruzhenij: ucheb. posobie / pod red. prof. V.S. Artamonova. SPb.: SPbU GPS MCHS Rossii, 2009. 42 s.
15. Pathfinder User Manual. Version: 2021-3. Last Modified: 2021-09-14/ 403 Poyntz Ave., Suite B. Manhattan, KS 66502, USA: Thunderhead Engineering.
16. Snegirev A.Yu. Modelirovanie teplomassoobmena i gorenija pri požare: dis. ... d-ra tekhn. nauk. SPb.: S.-Peterb. gos. politekh. un-t, 2004. 270 s.

17. Babuska, I., Oden, J.T. Verification and validation in computational engineering and science: basic concepts // Computer methods in applied mechanics and engineering. 2004. 193. R. 4057–4066.

18. Primenenie polevogo metoda matematicheskogo modelirovaniya pozharov v pomeshcheniyah: metod. rekomendacii / A.M. Ryzhov. M.: VNIPO, 2002. 35 s.

19. McGrattan K., McDermott R., Hostikka S., Floyd J., Vanella M. Fire Dynamics Simulator. Users Guide. NIST Special Publication 1019, Sixth ed. 2020. 410 p.

20. GOST 12.1.004–91. Pozharnaya bezopasnost'. Obshchie trebovaniya. Dostup iz sprav.-pravovoj sistemy «Garant».

---

---

# БЕЗОПАСНОСТЬ КРИТИЧЕСКИ ВАЖНЫХ И ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ

---

---

УДК 678.026

## ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ

**А.Ю. Андриюшкин, кандидат технических наук, доцент;  
Д.И. Моисеев.**

**Балтийский государственный технический университет  
«ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова.**

**Е.Н. Кадочникова, кандидат технических наук, доцент.  
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Применение теплогидроизолированных труб существенно повышает энергетическую эффективность тепловых сетей. Развитие дефектов пенополиуретановой теплоизоляции при эксплуатации трубопровода приводит к ее повреждениям и отказу. Аварии на трубопроводе являются следствием разгерметизации из-за увлажнения пенополиуретана и интенсивной коррозии стальной трубы. Совершенствование конструкции и технологии теплогидроизоляции стыка труб направлено на снижение дефектности теплоизоляции и улучшение герметичности. Предложены повышающие качество и безопасность тепловых сетей конструкторско-технологические решения теплогидроизоляции стыков труб. Применена технология напыления пенополиуретана и использована технологическая оснастка для улучшения качества пенополиуретановой теплоизоляции стыка труб. При послойном напылении формируется монолитный пенополиуретан с высокими показателями прочности и теплостойкости. Технологическая оснастка создает благоприятные условия вспенивания и отверждения заливаемой реакционной смеси. Предложенные технологии допускают контроль качества пенополиуретана и устранение обнаруженных дефектов.

*Ключевые слова:* теплоизоляция, гидроизоляция, пенополиуретан, напыление, технологическая оснастка

## IMPROVING ENERGY EFFICIENCY AND SAFETY OF HEATING NETWORKS

A.Yu. Andryushkin, D.I. Moiseev.

Baltic state technical university «VOENMEH» of D.F. Ystinov.

E.N. Kadochnikova. Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

The use of heat-insulated pipes significantly increases the energy efficiency of heating networks. The development of defects in polyurethane foam insulation during the operation of the pipeline leads to its damage and failure. Pipeline accidents are the result of depressurization due to humidification of polyurethane foam and intense corrosion of steel pipe. The improvement of the design and technology of thermal waterproofing of the pipe joint is aimed at reducing the defect of thermal insulation and improving tightness. Design and technological solutions for thermal waterproofing of pipe joints that improve the quality and safety of heating networks are proposed. The technology of polyurethane foam spraying was applied and technological equipment was used to improve the quality of polyurethane foam insulation of the pipe joint.

With layer-by-layer spraying, a monolithic polyurethane foam with high strength and heat resistance is formed. Technological equipment creates favorable conditions for foaming and curing of the poured reaction mixture. The proposed technologies allow quality control of polyurethane foam and elimination of detected defects.

*Keywords:* thermal insulation, waterproofing, polyurethane foam, spraying, technological equipment

Федеральный закон от 23 ноября 2009 г. № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» требует повышения качества и безопасности объектов энергетики, в том числе тепловых сетей. Высокое качество теплоизоляции трубопроводов обеспечивает существенное энергосбережение.

Высокой эффективностью энергосбережения и значительной долговечностью (до 30 лет) отличаются теплогидроизолированные трубы в пенополиуретановой изоляции с защитной полиэтиленовой оболочкой по ГОСТ 30732–2006 (рис. 1). Теплогидроизолированная труба представляет собой трехслойную конструкцию «труба в трубе». На стальную трубу нанесен промежуточный слой пенополиуретана (ППУ), выполняющий функцию тепловой изоляции, а наружная полиэтиленовая оболочка является гидроизоляцией. ППУ характеризуется низкой плотностью 60–80 кг/м<sup>3</sup> и малым коэффициентом теплопроводности 0,025–0,033 Вт/(м·К). Для снижения вероятности возникновения аварии теплогидроизолированные трубы снабжены системой оперативно-дистанционного контроля (СОДК), которая позволяет обнаруживать участки трубопровода с повышенной влажностью. Производственная дефектность теплогидроизолированных труб минимальна, так как технологические операции ее изготовления проводятся при оптимальных технологических параметрах, а также осуществляется строгий контроль показателей их качества. Таким образом, применение теплогидроизолированных труб в тепловых сетях повышает безопасность и существенно снижает потери тепла [1–20].

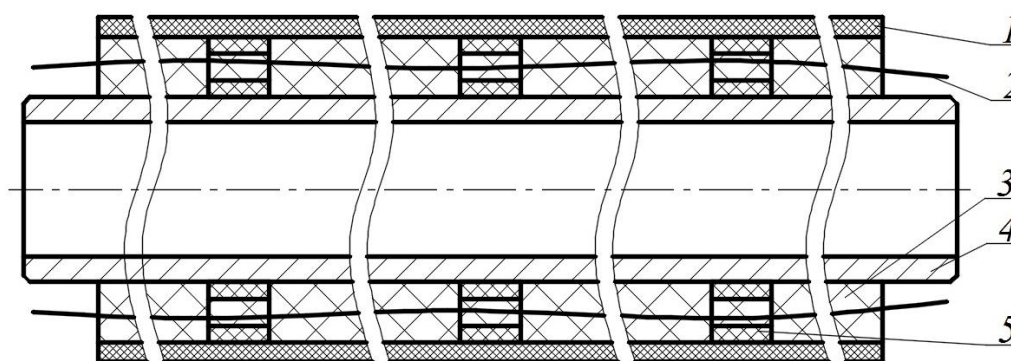


Рис. 1. Теплогидроизолированная труба: 1 – оболочка полиэтиленовая; 2 – провод СОДК; 3 – ППУ трубы; 4 – труба стальная; 5 – опора центрирующая

При трассовой прокладке теплогидроизолированных трубопроводов из-за технологических отклонений возникают опасные дефекты в пенополиуретановой теплоизоляции, а также часто наблюдаются нарушения герметичности полиэтиленовой оболочки в местах стыковки труб. Дефекты теплоизоляции обусловлены сложностью и несовершенством технологии ее формирования и монтажа элементов тепловых сетей. Развитие дефектов ППУ во время эксплуатации приводит к возникновению опасных повреждений, существенным потерям тепла и интенсивной коррозии стальных труб, при разгерметизации которых возникает аварийная ситуация. Увлажнение ППУ снижает его прочностные и теплоизоляционные характеристики, срок службы уменьшается до нескольких лет. Таким образом, актуальна проблема повышения качества теплогидроизоляции стыков труб тепловых сетей.



### Конструктивно-технологические решения теплогидроизоляции стыков труб, повышающие их качество

Повышение качества теплогидроизолированного стыка труб связано с повышением качества ППУ, что требует внесения существенных изменений в технологию стыковки труб. При формировании слоя ППУ необходимо обеспечить благоприятные условия для вспенивания реакционной смеси, а также контроль качества ППУ. В предлагаемых конструктивно-технологических решениях сначала должен быть нанесен ППУ, проведен его контроль, а затем обеспечена герметичность защитной оболочки трубопровода. При такой последовательности формирования теплогидроизоляции отсутствуют технологические факторы, вызывающие разгерметизацию нахлесточных соединений полиэтиленовой оболочки, значительно сокращается число операций технологического процесса.

В предлагаемом конструктивно-технологическом решении ППУ послойно напыляется на место стыка труб (рис. 2). Технология напыления ППУ хорошо отработана и успешно используется для формирования теплоизоляции трубопроводов. Перед напылением ППУ защитные оболочки труб, прилегающие к стыку, предохраняют от попадания капель реакционной смеси, закрывая их пленкой. Напыление ППУ производится с помощью специализированных напылительных установок, что обеспечивает высокую однородность реакционной смеси и устойчивость технологичности процесса. Напыление позволяет наносить теплоизоляцию послойно вокруг стальной трубы на стыки любых габаритов и конфигурации. Диаметр ППУ постепенно увеличивается на толщину напыленного слоя  $h_{\text{сл}}=d_{i+1}-d_i$  ( $d_i, d_{i+1}$  – диаметр напыленного слоя и диаметр напыляемого слоя), достигая необходимого значения  $D_{\text{ППУ}}$ . В итоге формируется монолитная теплоизоляция с высокими показателями прочности и теплостойкости. Монолитность напыленного ППУ обеспечивает антикоррозийную защиту стальной трубы. Обнаруженные при контроле теплоизоляции дефекты могут быть легко устранены, так как имеется свободный доступ к наружной поверхности ППУ. После подтверждения качества теплоизоляции формируют гидроизоляцию стыка, которая включает нанесение адгезивной ленты по всей длине стыка, термоусадку муфты по всей длине, а также установку термоусаживаемых манжет по краям муфты. Такая гидроизоляция существенно повышает герметичность и жесткость конструкции.

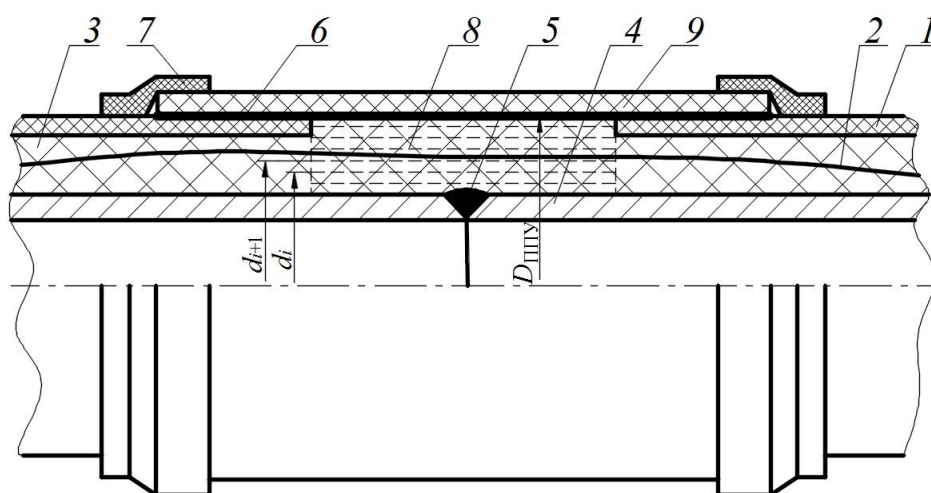


Рис. 2. Альтернативная теплогидроизоляция стыка: 1 – оболочка полиэтиленовая; 2 – провод СОДК; 3 – ППУ трубы; 4 – труба стальная; 5 – шов сварной; 6 – адгезивная лента; 7 – манжета термоусаживаемая; 8 – напыленный послойно ППУ стыка; 9 – муфта термоусаживаемая;  $d_i, d_{i+1}$  – диаметр напыленного слоя и диаметр напыляемого слоя;  $D_{\text{ППУ}}$  – диаметр наружной поверхности ППУ стыка

Недостатком напыленного ППУ стыка является низкая геометрическая точность наружной поверхности, то есть размер  $D_{\text{ППУ}}$  имеет очень большой допуск и обычно выполняется по 18 квалитету точности. Это затрудняет последующую герметизацию стыка с помощью термоусаживаемой муфты. Для обеспечения приемлемой точности наружной поверхности ППУ стыка может потребоваться ее грубая механическая обработка, что повышает трудоемкость. Этот недостаток может быть устранен при намотке адгезивной ленты, которая выступает в качестве размерного компенсатора. Толщина намотанной адгезивной ленты определяется из размеров внутреннего диаметра муфты до термоусадки и диаметра напыленного ППУ стыка  $D_{\text{ППУ}}$ . Отметим, что существенное влияние на качество напыленного ППУ оказывает температура окружающей среды, которая при проведении напыления должна быть больше  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Для повышения качества теплогидроизоляции стыка труб применяют конструктивно-технологическое решение, основанное на использовании технологической оснастки, обеспечивающей благоприятные условия вспенивания и отверждения заливаемой в нее реакционной смеси (рис. 3). В качестве такой технологической оснастки можно рекомендовать обогреваемую съемную опалубку, устанавливаемую на место стыка. Съемная опалубка задает высокую размерную точность наружной поверхности ППУ, то есть размер  $D_{\text{ППУ}}$  выполняется по 12–14 квалитету точности. Применение съемной опалубки рационально на трубах диаметром от 57 мм и более.

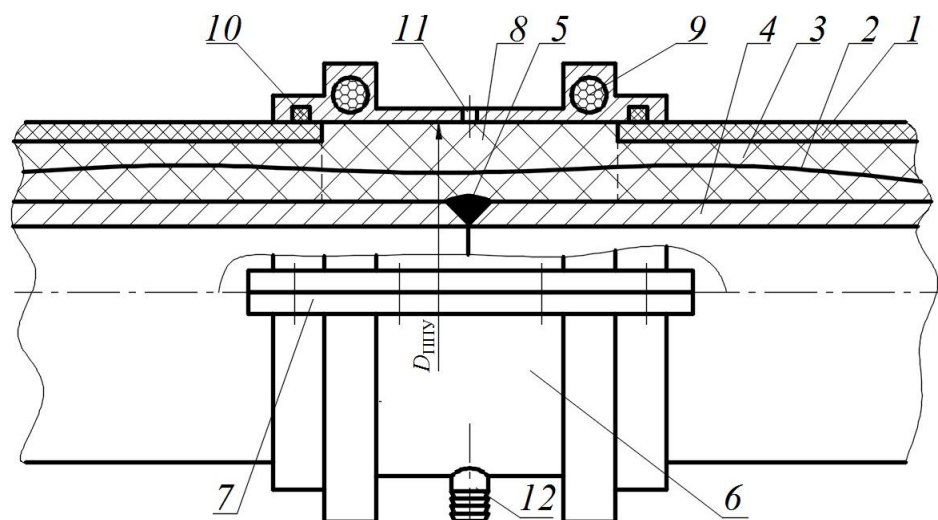


Рис. 3. Обогреваемая съемная опалубка для формирования пенополиуретановой теплоизоляции: 1 – оболочка полиэтиленовая; 2 – провод СОДК; 3 – ППУ трубы; 4 – труба стальная; 5 – шов сварной; 6 – обогреваемая съемная опалубка; 7 – фланцевый разъем; 8 – ППУ стыка; 9 – нагреватель; 10 – уплотнение; 11 – дренажное отверстие; 12 – патрубок подачи реакционной смеси

Обогреваемая съемная опалубка представляет собой разъемную металлическую форму с нагревателями. Она устанавливается на место стыка труб и герметично охватывает защитные оболочки стыкуемых труб. Затем нагревают с помощью опалубки элементы конструкции в месте стыка до температуры  $25\text{--}35\text{ }^{\circ}\text{C}$ , что создает оптимальные условия для вспенивания и отверждения реакционной смеси. Порцию реакционной смеси заливают через патрубок, выполненный внизу опалубки, что гарантирует компактное расположение реакционной смеси во внутренней полости опалубки, а, следовательно, полноту прохождения химических реакций. Реакционная смесь вспенивается и отверждается, заполняя внутреннюю полость опалубки снизу вверх. О заполнении внутренней полости опалубки свидетельствует пена, которая выходит из дренажного отверстия, расположенного сверху опалубки. Через 30 мин, после отверждения ППУ, опалубку с места стыка снимают,

осуществляют контроль качества теплоизоляции, а затем проводят гидроизоляцию стыка с помощью адгезивной ленты, термоусаживаемой муфты и термоусаживаемых манжет [21–23].

Предложенные конструктивно-технологические решения по теплогидроизоляции стыков труб, благодаря применению технологии напыления или применению технологической оснастки, обеспечивают оптимальный технологический режим формирования ППУ, гарантируют качество теплоизоляции. Гидроизоляцию стыка наносят после контроля качества теплоизоляции и устранения дефектов, что повышает качество теплогидроизоляции стыка труб.

### **Выводы**

1. Применение теплогидроизолированных труб в тепловых сетях эффективно и существенно повышает энергосбережение. Значительная долговечность теплогидроизолированных трубопроводов возможна только при обеспечении герметичности изоляции.

2. Традиционные конструктивно-технологические решения теплогидроизоляции стыков труб характеризуются возникновением опасных дефектов. Причиной появления дефектов является несовершенство технологии теплогидроизоляции стыков труб.

3. Предложены конструктивно-технологические решения, повышающие качество теплогидроизоляции стыков труб, обеспечивающие благоприятные условия формирования пенополиуретановой теплоизоляции за счет применения технологии напыления ППУ или применения технологической оснастки при заливке ППУ.

Таким образом, предложенные конструктивно-технологические решения теплогидроизоляции стыков труб повышают ее качество, а, следовательно, безопасность трубопровода.

### **Литература**

1. Амосов А.П. Обзор методов антикоррозионной защиты элементов ТЭЖ // Трубопроводный транспорт (теория и практика). 2014. № 3. С. 24–28.

2. Аушев А.В., Синавчиан С.Н. Оперативно-дистанционный контроль трубопроводов в ППУ-изоляции // Энергосбережение. 2015. № 5. С. 52–57.

3. Анализ аварийных отказов длительно эксплуатируемых магистральных газопроводов / И.Р. Байков [и др.] // Нефтегазовое дело. 2018. Т. 16. № 3. С. 114–119.

4. Булатова А.З., Захаров М.Н. Оценка опасности начальных производственно-технологических дефектов эксплуатируемого оборудования // Актуальные проблемы развития нефтегазового комплекса России: тезисы докладов IX Всерос. науч.-техн. конф. М., 2012. С. 33–34.

5. Голофаст С.Л. Проблемы оценки надежности линейной части магистральных трубопроводов // Безопасность труда в промышленности. 2018. № 4. С. 36–40.

6. Дудников Ю.В., Азметов Х.А. Оценка безопасности магистральных нефте- и нефтепродуктопроводов на сложных участках трассы // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2012. № 5. С. 39–42.

7. Зябилов Р.М., Веретин С.В., Афонин М.А. Анализ отказов и повышение надежности полевых магистральных трубопроводов // Технология нефти и газа. 2019. № 2 (121). С. 45–48.

8. Карнаевский Е.Л., Никулин С.А. Определение остаточного ресурса оборудования и материалов системы противокоррозионной защиты // Коррозия. Территория нефтегаз. 2016. № 3 (35). С. 40–45.

9. Комарицина В.Н., Сухорукова Н.Н. Исследования механики деформаций и разрушений и некоторые вопросы обеспечения безопасности и надежности трубопроводов с учетом особенностей технологического процесса // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. 2017. Т. 7. № 4. С. 116–119.

10. Математическое моделирование в задаче оценки эффективности прогнозирования аварий в трубопроводных системах / М.С. Кононова [и др.] // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2017. Т. 5. № 10 (36). С. 275–278.

11. Кучерявый В.И., Мильков С.Н. Статистическое моделирование ресурса антикоррозионных покрытий магистрального газопровода // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2013. № 1. С. 93–98.

12. Обеспечение защищенности магистральных нефтепродуктопроводов по критериям риска / Ю.В. Лисин [и др.] // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. 2012. № 3. С. 10–16.

13. Максимов Е.А., Шаталов Р.Л., Степанов П.П. Современные технологии антикоррозионных покрытий металлопроката, трубопроводов и профилей: монография. Челябинск: Изд. центр ЮУрГУ, 2015. 332 с.

14. Мухаметрахимов Р.Х., Панченко А.А. Особенности технологии изготовления, монтажа и контроля качества трубопроводов в ППУ ПЭ изоляции // Известия КГАСУ. 2018. № 2 (44). С. 246–254.

15. Вероятностный анализ допустимых уровней дефектности участков линейной части магистральных газопроводов / С.В. Нефёдов [и др.] // Научно-технический сборник «Вести газовой науки». 2014. № 1 (17). С. 35–40.

16. Павлова Д.В. Анализ и проблемы исследований труб централизованного теплоснабжения с предварительной изоляцией из ППУ и ППМ // Современные научные исследования и инновации. 2016. № 5. С. 70–76.

17. Развитие подходов к оценке показателей конструктивной надежности участков магистральных газопроводов / В.М. Силкин [и др.] // Научно-технический сборник «Вести газовой науки». 2014. № 1 (17). С. 49–54.

18. Шойхет Б.М. Правила расчета и проектирования тепловой изоляции оборудования и трубопроводов // Энергосбережение. 2013. № 2. С. 44–51.

19. Шойхет Б.М. Проектирование тепловой изоляции трубопроводов тепловых сетей // Энергосбережение. 2015. № 1. С. 50–57.

20. Шойхет Б.М., Ставрицкая Л.В. Тепловая изоляция промышленного оборудования // Энергосбережение. 2003. № 2. С. 1–5.

21. Андрюшкин А.Ю., Кадочникова Е.Н., Афанасьев Е.О. Снижение опасности возникновения разрушения стыков труб тепловых сетей // Проблемы управления рисками в техносфере. 2019. № 4 (52). С. 107–112.

22. Андрюшкин А.Ю., Кадочникова Е.Н., Афанасьев Е.О. Обеспечение безопасности эксплуатации тепловых сетей // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2019. № 4. С. 37–42.

23. Андрюшкин А.Ю. Применение сверхзвукового газодинамического напыления при многоструйной подаче газа для снижения вероятности отказа многослойных функциональных покрытий: монография. СПб.: БГТУ «ВОЕНМЕХ», 2021. 258 с.

## References

1. Amosov A.P. Obzor metodov antikorrozionnoj zashchity elementov TEK // Truboprovodnyj transport (teoriya i praktika). 2014. № 3. S. 24–28.

2. Aushev A.V., Sinavchian S.N. Operativno-distancionnyj kontrol' truboprovodov v PPU-izolyacii // Energoberezhenie. 2015. № 5. S. 52–57.

3. Analiz avarijnyh otkazov dlitel'no ekspluatiruemyh magistral'nyh gazoprovodov / I.R. Bajkov [i dr.] // Neftegazovoe delo. 2018. T. 16. № 3. S. 114–119.

4. Bulatova A.Z., Zaharov M.N. Ocenka opasnosti nachal'nyh proizvodstvenno-tekhnologicheskikh defektov ekspluatiruемого oborudovaniya // Aktual'nye problemy razvitiya neftegazovogo kompleksa Rossii: tezisy dokladov IX Vseross. nauch.-tekhn. konf. M., 2012. S. 33–34.

5. Golofast S.L. Problemy ocenki nadezhnosti linejnoj chasti magistral'nyh truboprovodov // Bezopasnost' truda v promyshlennosti. 2018. № 4. S. 36–40.

6. Dudnikov Yu.V., Azmetov H.A. Ocenka bezopasnosti magistral'nyh nefte- i nefteproduktoprovodov na slozhnyh uchastkah trassy // Zashchita okruzhayushchej sredy v neftegazovom komplekse. 2012. № 5. S. 39–42.

7. Zyabirov R.M., Veretin S.V., Afonin M.A. Analiz otkazov i povyshenie nadezhnosti polevyh magistral'nyh truboprovodov // Tekhnologiya nefti i gaza. 2019. № 2 (121). S. 45–48.

8. Karnavskij E.L., Nikulin S.A. Opredelenie ostatochnogo resursa oborudovaniya i materialov sistemy protivokorroziionnoj zashchity // Korroziya. Territoriya neftegaz. 2016. № 3 (35). S. 40–45.

9. Komaricina V.N., Suhorukova N.N. Issledovaniya mekhaniki deformacij i razrushenij i nektorye voprosy obespecheniya bezopasnosti i nadezhnosti truboprovodov s uchetom osobennostej tekhnologicheskogo processa // Nauka i tekhnologii truboprovodnogo transporta nefti i nefteproduktov. 2017. T. 7. № 4. S. 116–119.

10. Matematicheskoe modelirovanie v zadache ocenki effektivnosti prognozirovaniya avarij v truboprovodnyh sistemah / M.S. Kononova [i dr.] // Aktual'nye napravleniya nauchnyh issledovanij XXI veka: teoriya i praktika. 2017. T. 5. № 10 (36). S. 275–278.

11. Kucheryavij V.I., Mil'kov S.N. Statisticheskoe modelirovanie resursa antikorrozionnyh pokrytij magistral'nogo gazoprovoda // Problemy mashinostroeniya i nadezhnosti mashin. 2013. № 1. S. 93–98.

12. Obespechenie zashchishchennosti magistral'nyh nefteproduktoprovodov po kriteriyam riska / Yu.V. Lisin [i dr.] // Nauka i tekhnologii truboprovodnogo transporta nefti i nefteproduktov. 2012. № 3. S. 10–16.

13. Maksimov E.A., Shatalov R.L., Stepanov P.P. Sovremennye tekhnologii antikorrozionnyh pokrytij metalloprokata, truboprovodov i profilej: monografiya. Chelyabinsk: Izd. centr YUUrGU, 2015. 332 s.

14. Muhametrahimov R.H., Panchenko A.A. Osobennosti tekhnologii izgotovleniya, montazha i kontrolya kachestva truboprovodov v PPU PE izolyacii // Izvestiya KGASU. 2018. № 2 (44). S. 246–254.

15. Veroyatnostnyj analiz dopustimyh urovnej defektnosti uchastkov linejnoj chasti magistral'nyh gazoprovodov / S.V. Nefyodov [i dr.] // Nauchno-tekhnicheskij sbornik «Vesti gazovoj nauki». 2014. № 1 (17). S. 35–40.

16. Pavlova D.V. Analiz i problemy issledovanij trub centralizovannogo teplosnabzheniya s predvaritel'noj izolyaciej iz PPU i PPM // Sovremennye nauchnye issledovaniya i innovacii. 2016. № 5. S. 70–76.

17. Razvitie podhodov k ocenke pokazatelej konstruktivnoj nadezhnosti uchastkov magistral'nyh gazoprovodov / V.M. Silkin [i dr.] // Nauchno-tekhnicheskij sbornik «Vesti gazovoj nauki». 2014. № 1 (17). S. 49–54.

18. Shojhet B.M. Pravila rascheta i proektirovaniya teplovoj izolyacii oborudovaniya i truboprovodov // Energoberezhenie. 2013. № 2. S. 44–51.

19. Shojhet B.M. Proektirovanie teplovoj izolyacii truboprovodov teplovyh setej // Energoberezhenie. 2015. № 1. S. 50–57.

20. Shojhet B.M., Stavrickaya L.V. Teplovaya izolyaciya promyshlennogo oborudovaniya // Energoberezhenie. 2003. № 2. S. 1–5.

21. Andryushkin A.Yu., Kadochnikova E.N., Afanas'ev E.O. Snizhenie opasnosti vznikoveniya razrusheniya stykov trub teplovyh setej // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2019. № 4 (52). S. 107–112.

22. Andryushkin A.Yu., Kadochnikova E.N., Afanas'ev E.O. Obespechenie bezopasnosti ekspluatatsii teplovyh setej // Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MCHS Rossii». 2019. № 4. S. 37–42.

23. Andryushkin A.Yu. Primenenie sverhsvukovogo gazodinamicheskogo napyleniya pri mnogostrujnoj podache gaza dlya snizheniya veroyatnosti otказа mnogoslojnyh funkcional'nyh pokrytij: monografiya. SPb.: BGTU «VOENMEKH», 2021. 258 s.

---

---

# ПОЖАРНАЯ ТАКТИКА, ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЦЕССОВ ГОРЕНИЯ И ТУШЕНИЯ

---

---

УДК 614.846.6

## МЕТОДИКА ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ НА ТРАНСПОРТЕ УНИВЕРСАЛЬНОЙ УСТАНОВКОЙ ПОЖАРОТУШЕНИЯ С ВЫТЕСНЕНИЕМ ОГNETУШАЩЕГО ВЕЩЕСТВА ГАЗОПОРШНЕВЫМ СПОСОБОМ

**А.Г. Шилов;**

**М.Р. Сытдыков, кандидат технических наук, доцент.**

**Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Представлена методика тушения пожаров на транспорте универсальной установкой пожаротушения с вытеснением огнетушащего вещества газопоршневым способом, сформулированная на основе теоретического анализа отдельных методик [1] и подкрепленных данными, полученными в ходе практических испытаний макета экспериментальной универсальной установки пожаротушения. Представлена схема концепции универсальной установки пожаротушения для дальнейшего проектирования и конструирования.

*Ключевые слова:* универсальная установка пожаротушения, макет, методика тушения, огнетушащее вещество, транспорт

## THE METHOD OF EXTINGUISHING FIRES IN TRANSPORT BY A UNIVERSAL FIRE EXTINGUISHING SYSTEM WITH THE DISPLACEMENT OF THE EXTINGUISHING AGENT BY A GAS-PISTON METHOD

A.G. Shilov; M.R. Sytdykov.

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

The article presents a method of extinguishing fires in transport with a universal fire extinguishing system with the displacement of a fire extinguishing agent by a gas-piston method, formulated on the basis of a theoretical analysis of individual methods [1] and supported by data obtained during practical tests of an experimental universal fire extinguishing system layout. The scheme of the concept of a universal fire extinguishing system for further design and construction is presented.

*Keyword:* universal fire extinguishing system, layout, extinguishing method, efficiency assessment, fire extinguishing agent, transport

## Введение

С улучшением качества жизни населения наблюдается рост эксплуатации автомобильного, железнодорожного, водного, а также воздушного транспорта [2]. Вследствие чего количество транспортных средств (ТС) с каждым годом увеличивается, что влечет за собой и увеличение чрезвычайных ситуаций (ЧС) с их участием, в том числе и пожаров.

ТС, предназначенные в первую очередь для передвижения человека или группы лиц из одной точки в другую, а также для транспортировки грузов различного происхождения, являются объектом повышенной пожарной опасности [3]. Возникновение пожаров при эксплуатации ТС происходит по различным причинам как в населенных пунктах, так и в отдаленных от развитой инфраструктуры местах, порой, добраться до которых, в кратчайшие сроки не представляется возможным.

Самым опасным ТС на сегодняшний день по количеству пожаров, погибших и травмированных считается автомобиль [3]. Данный вид ТС предназначен для транспортировки людей и грузов. Грузы, как и само ТС, могут стать причиной возгорания и распространения огня [4].

Сохранение жизни людей и материальных ценностей является основной задачей, возложенной на федеральную противопожарную службу МЧС России. Для успешного решения данной задачи применение только одного вида огнетушащих веществ (ОТВ) (например, воды) при тушении пожаров не всегда является эффективным [5–7], в большинстве случаев необходим комплексный подход использования ОТВ. В связи с этим стоит необходимость разработки методики тушения пожаров на транспорте различного вида универсальной установкой пожаротушения (УУПТ) с вытеснением ОТВ газопоршневым способом.

При таком подходе необходимо учитывать множество факторов:

- вид транспортного средства, его конструкцию и используемые материалы при создании;
- наличие людей, не способных самостоятельно покинуть место возникновения ЧС;
- наличие легковоспламеняющихся и горючих жидкостей, сжиженного углеводородного газа;
- перспективы быстрого распространения огня на ближайшие объекты и т.д.

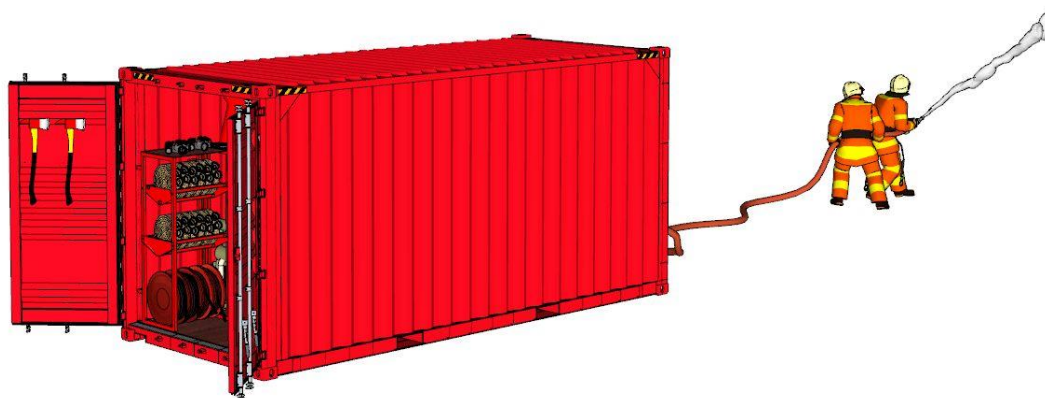
Существуют различные методики тушения пожаров [8] пожарной техникой с применением отдельных видов ОТВ определенных объектов инфраструктуры или транспорта. Однако существенное сокращение количества пожаров, времени на их тушение, погибших и пострадавших не наблюдается [3]. Для этого необходимо объединить существующие методики тушения пожаров и применить их использование при помощи УУПТ с вытеснением ОТВ газопоршневым способом [9].

Конструктивная схема и принцип действия УУПТ с вытеснением ОТВ газопоршневым способом представлена в патенте 195837 Российская Федерация [10]. В работе [11] определены гидродинамические характеристики экспериментальной универсальной установки для тушения пожаров на транспорте, которые реализованы в макете УУПТ с вытеснением ОТВ газопоршневым способом, представленном на рис. 1.

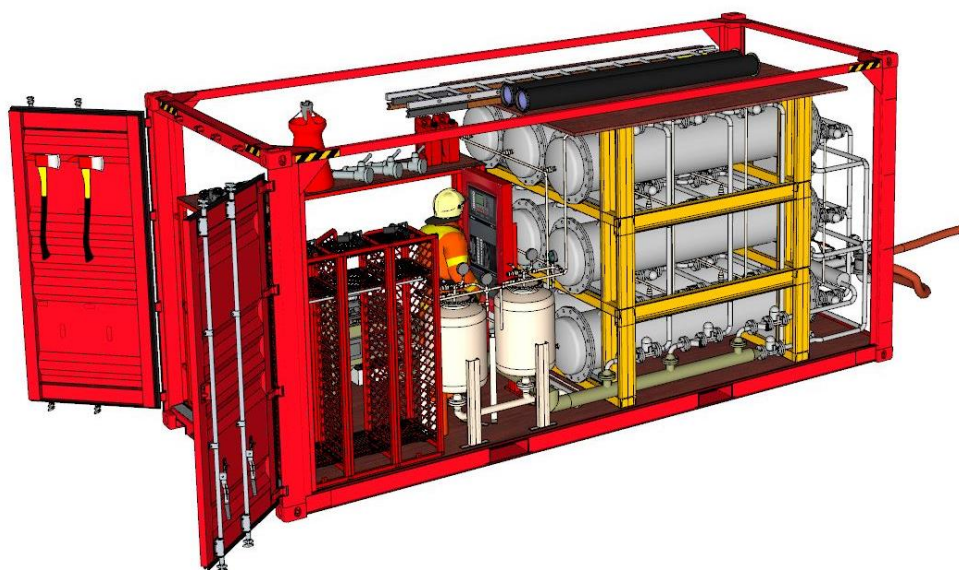
На основании данных работ [9–11] смоделированы внешний облик и способ размещения оборудования УУПТ с вытеснением ОТВ газопоршневым способом (рис. 2, 3).



**Рис. 1. Внешний вид макета экспериментальной УУПТ с вытеснением ОТВ газопоршневым способом**



**Рис. 2. Вариант внешнего облика УУПТ с вытеснением ОТВ газопоршневым способом, помещенной в контейнер типа 1СС**



**Рис. 3. Вариант размещения УУПТ с вытеснением ОТВ газопоршневым способом внутри контейнера типа 1СС**



Эффективность представленной УУПТ с вытеснением ОТВ газопоршневым способом по профилю своего применения была рассмотрена и обоснована в работах [8, 9]. Благодаря системному подходу к проведению исследования и теории систем [12–15] УУПТ была отнесена к большим техническим системам с множеством отдельных сложных технических элементов, работающих для выполнения возложенной на УУПТ задач. Благодаря этому УУПТ может быть представлена в виде иерархической структуры подсистем различной сложности (рис. 4).

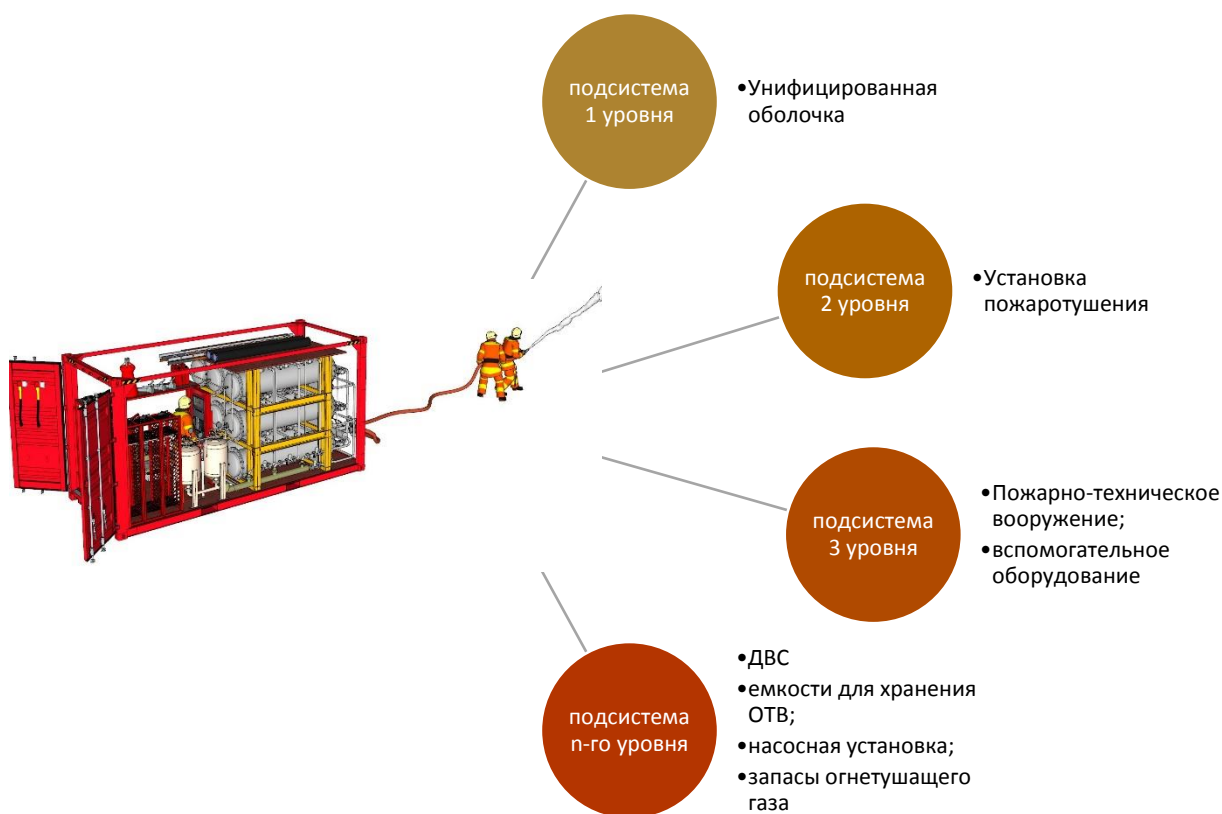


Рис. 4. Схема концепции УУПТ с вытеснением ОТВ газопоршневым способом (ДВС – двигатель внутреннего сгорания)

Эти данные позволили разработать методику тушения пожара на транспорте УУПТ с вытеснением ОТВ газопоршневым способом, в основу которой входит алгоритм тушения пожаров УУПТ, представленный в работе [9].

### Методика тушения пожара на транспорте УУПТ с вытеснением ОТВ

1. После поступления информации о пожаре на транспорте и его характеристиках определяются необходимые виды ОТВ для его тушения. Оператор (водитель) настраивает УУПТ для выдачи необходимого вида ОТВ. В каждом отдельном случае работают те или иные механизмы УУПТ, подключенные к специальному блоку управления (рис. 5).



Рис. 5. Блок управления УУПТ с вытеснением ОТВ газопоршневым способом

2. Определив и выбрав необходимые виды ОТВ, с блока управления УУПТ поступает сигнал на задвижки с электроприводом и огнетушащий газ из баллонов, установленных внутри контейнера, подается в полость сосуда, не содержащую ОТВ и отделяемую от них поршнем (разделителем сред), и приводит его в движение. В случае необходимости огнетушащий газ может поступать и в полость с ОТВ, например, для аэрации огнетушащего порошка. С началом движения поршня ОТВ из сосуда поступает в трубопровод выдачи и через рукавную линию в ручной ствол.

3. В случае недостаточного количества ОТВ оператор в режиме реального времени подключает на выдачу следующий сосуд с идентичным или при необходимости с другим видом ОТВ.

Поскольку УУПТ предполагает наличие нескольких сосудов с ОТВ различного вида, выбор возможных комбинаций ОТВ, подаваемых для тушения пожаров, ограничен лишь разнообразием и количеством их наполнения.

4. Опустошенные сосуды следует заполнять тем же видом ОТВ, которым он был ранее наполнен. Для загрузки в сосуд другого вида ОТВ необходимо предварительно выполнить процедуру продувки и просушки систем для удаления остатков предыдущего вида ОТВ.

### Выводы

1. Предлагаемая методика тушения пожаров на транспорте УУПТ с вытеснением ОТВ газопоршневым способом, заключенной в универсальную транспортную оболочку, на взгляд авторов позволит сократить время тушения пожаров за счет возможности одновременного применения различных видов ОТВ (вода, пена, порошок, газ).

2. Создание полноразмерных УУПТ с вытеснением ОТВ газопоршневым способом и оснащение ими объектов защиты позволит снизить уровень их пожарной опасности.

### Литература

1. Об утверждении Боевого устава подразделений пожарной охраны, определяющего порядок организации тушения пожаров и проведения аварийно-спасательных работ: приказ МЧС России от 19 окт. 2017 г. № 444. URL: <https://docs.cntd.ru/document/542610435> (дата обращения: 08.07.2021).

2. Об утверждении Транспортной стратегии Российской Федерации на период до 2030 года: распоряжение Правительства Рос. Федерации от 22 нояб. 2008 г. № 1734-р.

URL: <https://docs.cntd.ru/document/902132678> (дата обращения: 08.07.2021).

3. Пожары и пожарная безопасность в 2020 году: стат. сборник / П.В. Полехин [и др.]; под общ. ред. Д.М. Гордиенко. М.: ВНИИПО, 2021. 112 с.

4. Пожаротушение на транспорте: учеб. пособие / В.В. Теребнев [и др.]; под общ. ред. М.М. Верзилина. М.: Акад. ГПС МЧС России, 2014. 340 с.

5. Абдурагимов И.М. О механизмах огнетушащего действия средств пожаротушения // Пожаровзрывобезопасность. 2012. Т. 21. № 2. С. 59–64.

6. Абдурагимов И.М. О механизмах огнетушащего действия средств пожаротушения // Пожаровзрывобезопасность. 2012. Т. 21. № 4. С. 60–82.

7. Маркова Н.Б., Сытдыков М.Р., Поляков А.С. Оценка технической эффективности модулей порошкового тушения применительно к объектам нефтегазового комплекса // Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты). 2015. № 1 (13). С. 52–60.

8. Сытдыков М.Р., Шилов А.Г., Поляков А.С. О показателях результативности мобильных установок пожаротушения // Проблемы управления рисками в техносфере. 2020. № 1 (53). С. 37–43.

9. Сытдыков М.Р., Шилов А.Г., Рыбин А.О. Методика тушения пожаров на транспорте универсальной установкой пожаротушения // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петербур. ун-та ГПС МЧС России». 2020. № 4. С. 18–25.

10. Универсальная установка пожаротушения: пат. 195837 Рос. Федерация, МПК А62С 13/00 (2006.01) / Д.Ф. Кожевин, А.С. Поляков, М.Р. Сытдыков, А.Г. Шилов; заяв. и патентообл. Кожевин Д.Ф., Поляков А.С., Сытдыков М.Р., Шилов А.Г. № 2019130908; заявл. 30.09.2019; опубл. 06.02.2020, Бюл. № 4-2020, 06.02.2020.

11. Сытдыков М.Р., Шилов А.Г., Копкин Е.В. Определение гидродинамических характеристик экспериментальной универсальной установки для тушения пожаров на транспорте // Проблемы управления рисками в техносфере. 2020. № 4 (56). С. 145–152.

12. Антонов А.В. Системный анализ: учеб. для вузов. М.: Высш. шк., 2004. 454 с.

13. Брушлинский Н.Н., Соколов С.В. Математические методы и модели управления в Государственной противопожарной службе. М.: Акад. ГПС МЧС России, 2011.

14. Брушлинский Н.Н., Соколов С.В. Об одной математической модели анализа и управления сложными процессами // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. 2013. № 3. С. 45–47.

15. Белов П.Г. Системный анализ и моделирование опасных процессов в техносфере: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений. М.: Изд. центр «Академия», 2011. 512 с.

## References

1. Ob utverzhdenii Bоеvogo ustava podrazdelenij pozharnoj ohrany, opredelyayushchego poryadok organizacii tusheniya pozharov i provedeniya avarijno-spasatel'nyh работ: приказ МСНС России от 19 окт. 2017 г. № 444. URL: <https://docs.cntd.ru/document/542610435> (data obrashcheniya: 08.07.2021).

2. Ob utverzhdenii Transportnoj strategii Rossijskoj Federacii na period do 2030 goda: rasporyazhenie Pravitel'stva Ros. Federacii ot 22 noyab. 2008 g. № 1734-r. URL: <https://docs.cntd.ru/document/902132678> (data obrashcheniya: 08.07.2021).

3. Pozhary i pozharная bezopasnost' v 2020 godu: stat. sbornik / P.V. Polekhin [i dr.]; pod obshch. red. D.M. Gordienko. M.: VNIPO, 2021. 112 s.

4. Pozharotushenie na transporte: ucheb. posobie / V.V. Terebnev [i dr.]; pod obshch. red. M.M. Verzilina. M.: Akad. GPS MCHS Rossii, 2014. 340 s.

5. Abduragimov I.M. O mekhanizmah ognetushashchego dejstviya sredstv pozharotusheniya // Pozharovzryvobezopasnost'. 2012. T. 21. № 2. S. 59–64.

6. Abduragimov I.M. O mekhanizmah ognetushashchego dejstviya sredstv pozharotusheniya // Pozharovzryvobezopasnost'. 2012. T. 21. № 4. S. 60–82.

7. Markova N.B., Sytdykov M.R., Polyakov A.S. Ocenka tekhnicheskoy effektivnosti

modulej poroshkovogo tusheniya primenitel'no k ob"ektam neftegazovogo kompleksa // Prirodnye i tekhnogennye riski (fiziko-matematicheskie i prikladnye aspekty). 2015. № 1 (13). S. 52–60.

8. Sytdykov M.R., Shilov A.G., Polyakov A.S. O pokazatelyah rezul'tativnosti mobil'nyh ustanovok pozharotusheniya // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2020. № 1 (53). S. 37–43.

9. Sytdykov M.R., Shilov A.G., Rybin A.O. Metodika tusheniya pozharov na transporte universal'noj ustanovkoj pozharotusheniya // Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MCHS Rossii». 2020. № 4. S. 18–25.

10. Universal'naya ustanovka pozharotusheniya: pat. 195837 Ros. Federaciya, MPK A62C 13/00 (2006.01) / D.F. Kozhevnikov, A.S. Polyakov, M.R. Sytdykov, A.G. Shilov; zayav. i patentoobl. Kozhevnikov D.F., Polyakov A.S., Sytdykov M.R., Shilov A.G. № 2019130908; zayavl. 30.09.2019; opubl. 06.02.2020, Byul. № 4-2020, 06.02.2020.

11. Sytdykov M.R., Shilov A.G., Kopkin E.V. Opredelenie gidrodinamicheskikh harakteristik eksperimental'noj universal'noj ustanovki dlya tusheniya pozharov na transporte // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2020. № 4 (56). S. 145–152.

12. Antonov A.V. Sistemnyj analiz: ucheb. dlya vuzov. M.: Vyssh. shk., 2004. 454 s.

13. Brushlinskij N.N., Sokolov S.V. Matematicheskie metody i modeli upravleniya v Gosudarstvennoj protivopozharnoj sluzhbe. M.: Akad. GPS MCHS Rossii, 2011.

14. Brushlinskij N.N., Sokolov S.V. Ob odnoj matematicheskoj modeli analiza i upravleniya slozhnymi processami // Pozhary i chrezvychajnye situacii: predotvrashchenie, likvidaciya. 2013. № 3. S. 45–47.

15. Belov P.G. Sistemnyj analiz i modelirovanie opasnyh processov v tekhnosfere: ucheb. posobie dlya stud. vyssh. ucheb. zavedenij. M.: Izd. centr «Akademiya», 2011. 512 s.

---

---

# МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ТЕОРИИ УПРАВЛЕНИЯ СЛОЖНЫХ ПРОЦЕССОВ

---

---

УДК 004.056.5

## ПОДХОД К ПОСТРОЕНИЮ ЗАЩИЩЕННОГО ПРОТОКОЛА ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЯХ

**В.А. Десницкий, кандидат технических наук, доцент.  
Санкт-Петербургский федеральный исследовательский центр  
Российской академии наук**

Предложен подход к разработке протокола децентрализованного взаимодействия узлов беспроводной сенсорной сети с применением принципов децентрализации и модели управления на основе ролевого механизма. Описаны основные роли узлов сети, дана характеристика стадий функционирования беспроводной сенсорной сети и приведена обобщенная схема протокола децентрализованного взаимодействия. Проанализированы некоторые виды актуальных атакующих воздействий, направленных на компрометацию данного протокола, и предложены способы повышения защищенности протокола против указанных видов атак.

*Ключевые слова:* беспроводная сенсорная сеть, децентрализация, протокол, атакующее воздействие

## AN APPROACH TO CONSTRUCTION OF A SECURE PROTOCOL FOR DECENTRALIZED INTERACTION IN WIRELESS SENSOR NETWORKS

V.A. Desnitsky. Saint-Petersburg federal research center of the Russian academy of sciences

The article proposes an approach to the development of a protocol for decentralized interaction of nodes in a wireless sensor network by using principles of decentralization and a management model constructed on a role-based mechanism. The main roles of the network nodes are described and the characteristics of the stages of the wireless sensor network functioning are given. A generalized scheme of the protocol of decentralized interaction is presented. Some important types of attacks aimed at compromising this protocol are analyzed and methods of increasing the security of the protocol against these types of attacks are proposed.

*Keywords:* wireless sensor network, decentralization, protocol, attack

В настоящее время все большее распространение получают беспроводные сенсорные сети (БСС), нацеленные на выполнение функций мониторинга критически важных характеристик окружающей среды, технических объектов, сооружений, людей. Распределенный динамический характер таких систем определяет необходимость децентрализованного взаимодействия узлов БСС с осуществлением каждым из узлов специфичных прикладных функций. Необходимость безопасного децентрализованного

управления в таких сетях обуславливает потребность в построении сетевых протоколов, способных обеспечить: во-первых, корректное и согласованное взаимодействие разнородных устройств – узлов сети, во-вторых, должный уровень защищенности против атак, направленных на нарушение работы протокола.

В настоящее время представление беспроводных сетей в большинстве случаев сводится к двухуровневым структурам, где на нижнем уровне производится сбор первичных данных, которые напрямую или опосредованно через другие узлы отправляются на расположенные на верхнем уровне базовые станции для их дальнейшей обработки и анализа в рамках централизованных подходов к организации вычислительных систем [1]. Отсутствие и сложность разворачивания средств защиты, таких как средства аутентификации и доверительные механизмы [2], широко используемые в традиционных программно-аппаратных комплексах, сетях и кластерах, состоящих из компьютеров общего назначения, является также сдерживающим фактором для формирования БСС с более сложными структурами и сетевыми топологиями. Тем не менее наблюдается тенденция к тому, что современные сетевые протоколы БСС реализуют определенную степень защиты на уровне протоколов маршрутизации [3], с использованием политик безопасности [4] или на уровне преобразования данных, генерируемых узлами [5]. При этом уязвимость протокола на прикладном уровне остается задачей специфичной конкретному сценарию и программно-аппаратному оборудованию. И, как правило, такие вопросы решаются ситуативно и централизованно с учетом имеющихся исходных данных и ограничений сети.

В настоящей работе предложен подход к разработке протокола децентрализованного взаимодействия узлов БСС для решения задач мониторинга критически важных параметров окружения. К новым особенностям подхода, отличающим его от альтернативных решений в предметной области, можно отнести применение принципов децентрализации на уровне прикладного протокола и вычислений на основе ролевого механизма с учетом актуальных видов атакующих воздействий, эксплуатирующих свойства децентрализации сети.

Разрабатываемый протокол децентрализованного взаимодействия узлов БСС соответствует прикладному уровню сетевой модели представления. Протокол предоставляет функции формирования перечня свободных узлов сети, их связывания на основе ролей и согласования заданий для них в зависимости от прикладных целей такой сети. При этом предполагается, что функции самоорганизации сети в контексте адресации и установления физических беспроводных каналов связи целиком ложатся на протоколы более низкого уровня [6]. Кроме того, несмотря на то, что функции контроля и обеспечения низкого энергопотребления в БСС главным образом обеспечиваются в рамках лежащих ниже уровней сетевой модели, функции управления, расположенные на уровне прикладного протокола, также могут непосредственно оказывать влияние на энергопотребление. Отметим, что рассматриваемый прикладной протокол ориентирован на конкретное сетевое применение и ожидаемые виды сценариев работы узлов сети. Изменения в планируемом характере функционирования сети должны учитываться на уровне данного протокола, и при необходимости такой протокол должен проходить стадию корректировки.

Предлагаемая и закладываемая внутри протокола система ролей узлов сети включает следующие основные роли: сборщик данных, коллектор данных, обработчик данных, анализатор данных и контроллер сети. Каждый из узлов сети может принимать одну или несколько ролей одновременно, выполняя функции каждой роли параллельно или последовательно. В случае если узел не имеет ни одной роли, он, тем не менее, не покидает сеть, а находится в резерве. В табл. 1 приведены основные роли узлов БСС и их характеристики.

По сути дела, узел-коллектор представляет собой элемент централизации хоть и не полностью, но частично децентрализованной сети. Он необходим для бесперебойной и согласованной работы узлов сети. Вместе с тем возможно его динамическое замещение некоторым другим узлом – как запланировано, так и ситуационно – в случае невозможности текущего контроллера продолжать корректное исполнение своих функций.

Таблица 1. Роли узлов БСС

Роль	Характеристика
Сборщик данных	Осуществляет сбор данных от сенсоров, подключенных к узлу, различного периферийного оборудования, связанного с узлом, элементов пользовательского интерфейса. На узлы сбора данных накладываются также следующие функции – узловая предобработка данных, фильтрация, нормализация, позволяющие уменьшить объемы исходных данных, убрать ненужные и дублирующиеся, привести их к некоторому унифицированному виду
Коллектор данных	Узел, включающий модуль хранения данных сети; данные пересылаются сюда со всех узлов-сборщиков и хранятся; кроме того, доступ к данному хранилищу получают также узлы с ролями обработчика и анализатора данных, которые способны запрашивать данные из этого хранилища и добавлять в него новые данные – результаты своей собственной работы. Помимо предоставления интерфейса для хранения данных узлов сети, узел-коллектор также может сохранять в единое хранилище свои собственные данные. Помимо этого коллектор осуществляет непрерывный контроль целостности структур данных, а также контроль заполнения объемов хранения
Обработчик данных	Обработка и, в частности, агрегация данных, проводимые с учетом наличия данных от множеств узлов сети, а также исторических данных за определенные промежутки времени. Обработчик данных получает данные от коллектора и после завершения процесса выполнения или в процессе его инициирует отправку обработанных данных на коллектор
Анализатор данных	Узел, осуществляющий анализ данных, получаемых из коллектора, и проводящий интеллектуальную обработку данных на основе правил, статистического анализа, анализа на основе эвристик, анализа с использованием методов машинного обучения и искусственных нейронных сетей. В частности, проводится анализ инцидентов безопасности и мониторинг защищенности сети. Результаты такого анализа отправляются узлу-коллектору
Контроллер сети	Управляющий узел, ответственный за принятие решений о реорганизации сети, изменении распределения ролей на основе собственной модели управления сетью и служебных сообщений от других узлов. В частности, решение о замене узла с некоторой ролью или выделении дополнительных узлов может быть принято в результате переполнения постоянной памяти коллектора или необходимости задействовать дополнительные узлы для кооперативного анализа инцидентов. Кроме того, коллектор ответственен за оценку и отслеживание текущих показателей ресурсопотребления узлов каждой роли (в том числе, вычислительной нагрузки узла и использованной величины его исходящей и входящей сетевой пропускной способности). В отличие от других ролей узел-контроллер в сети всегда один. Его первоначальный выбор производится путем «коллективного рукопожатия» всех узлов, располагающихся в рамках имеющегося сетевого контекста, имеющих одинаковый уникальный сетевой идентификатор (PAN ID) и настроенных на формирование прикладной сети

Указанный перечень ролей не является исчерпывающим и может расширяться, отдельные роли могут уточняться в зависимости от специфики конкретной сети и задач, возложенных на нее.

Отметим, что возможна бесшовная, хотя и, вероятно, с некоторыми временными задержками, реконфигурация сети с заменой ролей одного или нескольких узлов. Под бесшовной понимается такая реконфигурация БСС, при которой не происходит потери текущих или накопленных ранее данных, а также отсутствуют прерывания прикладных или служебных функций сети.

В простейшем случае БСС может включать несколько узлов-сборщиков данных и по одному узлу с ролями коллектора, обработчика, анализатора и контроллера. Невозможность одного из узлов с некоторой ролью полностью обеспечить все потребности

данной роли, в том числе ограниченность программно-аппаратных функций одного узла сети обуславливает возможность увеличения числа узлов с определенной ролью для повышения целевых показателей достижимости поставленных целей, относящихся к данной роли. В табл. 2 приведены результаты анализа возможностей по распределению функций каждой роли между двумя или более узлами.

Предлагаемый протокол децентрализованного взаимодействия узлов БСС включает следующие стадии:

– стадия формирования децентрализованной сети – на данной стадии на основе физически сформированной беспроводной сети производится конструирование децентрализованной сети на логическом уровне с выбором узла-контроллера и назначением ролей другим узлам сети;

– стадия функционирования сети – данная стадия включает выполнение прикладных функций сети, а также ее перестроение, включающее, в том числе увеличение или снижение числа узлов сети;

– реконфигурации сети – данная стадия инициирует процесс перераспределения ролей между узлами сети в зависимости от текущего программно-сетевого контекста и доступности узлов сети.

Таблица 2. **Возможность распределения функций**

Роль	Возможность распределения функций
Сборщик данных	Наиболее естественным сценарием представляется делегирование роли сборщика всем или почти все узлам БСС, имеющим какие-либо сенсоры. В общем случае сбор данных с максимально возможного числа узлов сети способствует повышению полноты собираемых данных о физической и программно-аппаратной среде узла и объектах в ней
Коллектор данных	Распределение хранилища данных позволяет, во-первых, повысить объемы хранимых данных и, во-вторых, увеличить скорости доступа к данным с различных узлов сети, а также повысить надежность и бесперебойность хранения данных и обеспечить их резервное копирование
Обработчик данных	Возможно увеличение числа устройств с ролью обработчика для организации децентрализованной обработки. Распараллеливание процесса вычислений позволит повысить скорость выполнения. В частности, оказывается возможным повышение скорости обработки за счет групповой обработки данных и различных оптимизаций процессов вычисления за счет многопроцессорных вычислительных моделей
Анализатор данных	Возможны коллаборативные вычисления, в том числе применение методов федеративного обучения для работы сложных составных моделей анализа данных на узлах сети, а также функций мониторинга информационной безопасности и анализа защищенности
Контроллер сети	Предполагается существование единственного узла с данной ролью, осуществляющего назначение, распределение ролей в сети и обеспечивающего функции настройки и контроля сети. Вместе с тем на контроллер опосредованно ложится обеспечение децентрализации всей сети в виде назначения и перераспределения ролей, а также обеспечения синхронности в работе множества узлов с некоторой определенной ролью. В случае достижения совокупностью устройств с некоторой ролью некоторого порогового значения ресурсопотребления контроллер сети может объявить о необходимости расширения числа устройств с данной ролью

На рисунке приведена обобщенная схема простой версии протокола децентрализованного взаимодействия узлов БСС в виде диаграммы последовательностей UML. Вдоль вертикальной оси отмечены участники информационного обмена (узлы А–D), с течением времени осуществляющие пересылку сообщений друг другу. Основные коммуникации обобщенно показаны стрелками между участниками информационного обмена. На фазе (I) узел А производит инициацию обмена сообщениями посредством



генерации и отправки широковещательного запроса, содержащего произвольное натуральное число  $n$  и метку времени. По умолчанию узел А получает роль контроллера сети. В течение установленного промежутка времени  $\Delta t$  узел А ожидает ответы от узлов, которые готовы подключиться к формируемой децентрализованной сети. В случае если в пределах промежутка  $\Delta t$  какой-либо другой узел также инициирует создание сети, всеми остальными участниками по его метке времени будет фиксироваться более поздний момент времени инициации. В результате такие запросы будут игнорироваться до тех пор, пока не получено сообщение с подтверждением `confirm` от узла А либо не пройдет контрольный промежуток времени, после окончания которого запрос на первоначальную инициацию со стороны узла А считается устаревшим. Установление сессии завершается распределением ролей на основе прямого их назначения узлом-контроллером – путем отправки серий команд вида `est(session_id1)`.

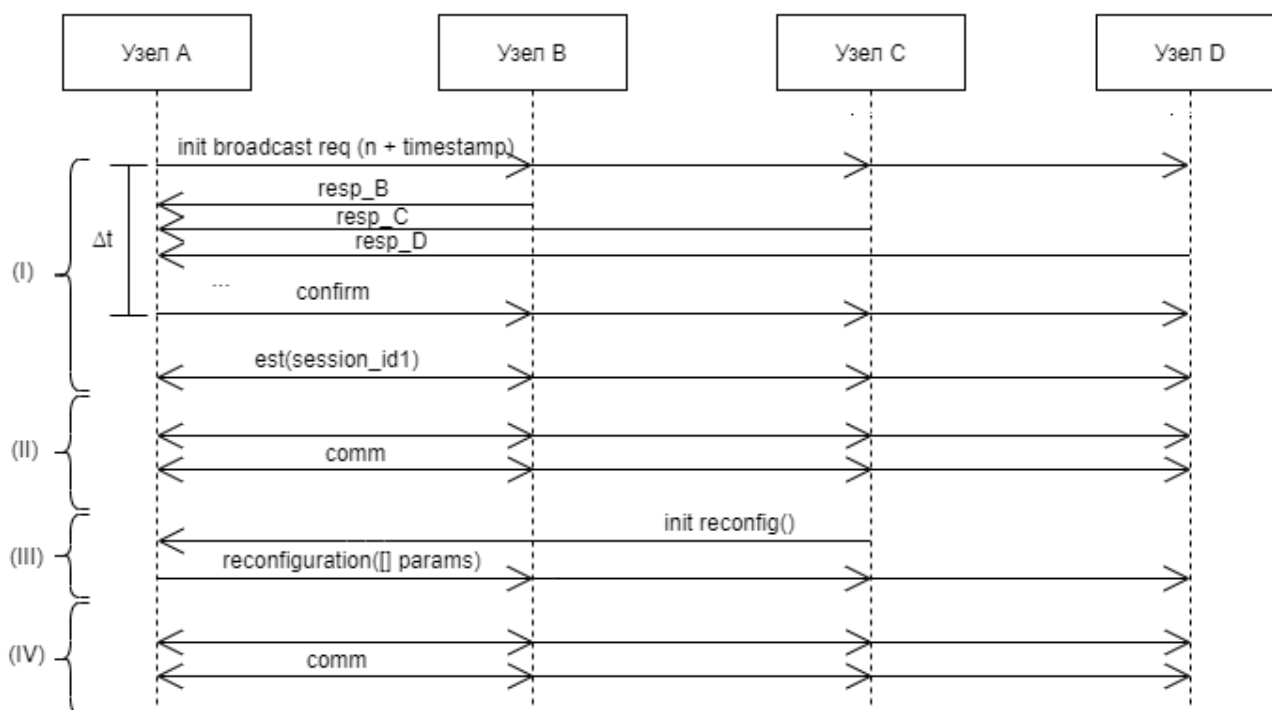


Рис. Схема протокола децентрализованного взаимодействия

По своей сути формируемая сессия является многосторонней – осуществляется многоадресная коммуникация между всеми участниками информационного обмена. Являясь ключевым элементом децентрализованной сети, и обеспечивая заранее не фиксированное распределение прикладных ролей по узлам сети, узел-контроллер – инициатор сети, тем не менее, представляет собой некоторый элемент централизации данной сетевой архитектуры. В рамках простой версии протокола выход контроллера из сети разрушает функционирующую децентрализованную сеть, переводя ее узлы в состояние физической связанности беспроводными каналами данных – но без какой бы то ни было логической надстройки с использованием ролевой модели. При этом в случае отключения узла-контроллера или его перехода в неработоспособное состояние как в результате намеренных атак, так и каких-либо программно-аппаратных сбоев, множество узлов БСС, по сути, возвращается в состояние, предшествующее установлению многосторонней сессии.

При нормальном функционировании после завершения установления сессии, на фазе (II) осуществляется, собственно, обмен прикладными данными между узлами сети. Пакеты текущей сессии характеризуются наличием общего идентификатора, разделяемого всеми участниками. Фаза (III) является опциональной и возникает в случае, если появляется

необходимость изменения распределения ролей между узлами сети. Такое изменение может быть связано с уведомлением узла-контроллера о том, что некоторый узел со специфицированной ролью сигнализирует о намерении завершить свое функционирование в рамках децентрализованной сети. При штатном перераспределении роли существующий программный контекст и необходимые данные пересылаются с завершающего свою работу узла на некоторый новый узел.

Отметим, что реконфигурация сети может быть обусловлена также и спонтанным прекращением функционирования некоторого узла с заданной ролью. В этом случае при отсутствии в сети актуальной копии программного контекста выбывшего узла на новом узле такой контекст вынужденно формируется с нуля, что может сказаться на прикладных сервисах, представляемых сетью, привести к потере части или всех исторических данных, которые могли быть использованы впоследствии в процессе анализа защищенности сети. Кроме того, это также может привести к временному снижению точности или полноты данных мониторинга среды окружения БСС. Как и фаза (II), фаза (IV) включает обмен прикладными и служебными данными в рамках нормального функционирования сети.

В качестве элементов анализа защищенности предлагаемого протокола рассмотрим некоторые возможные действия нарушителя, направленные на нарушение корректности функционирования и компрометацию данного протокола. Атака вида 1 представляет собой атаку типа DoS (Denial-of-Service), выполняемую нарушителем на фазе (I) и препятствующую узлу-контроллеру завершить инициирование многосторонней сессии. Путем подмены метки времени на более раннюю узел атакующий способен при каждой такой инициации генерировать собственный запрос на создание сессии, но без последующего подтверждения conf. Альтернативным вариантом со стороны нарушителя будет осуществление replay-атаки, воспроизводящей запись некоторого предыдущего запроса сессии от некоторого легитимного узла. В качестве средства повышения защищенности против данного вида атак можно применять контроль времени с использованием аппаратных средств сертификации, таких как TPM, внедрить механизмы репутации узлов для выявления участников с большим числом неудачно установленных сессий.

Для повышения защищенности против атак вида 1 возможно также введение принудительных задержек перед повторной попыткой инициации многосторонней сессии со стороны некоторого узла. Это обстоятельство может учитываться нарушителем для последовательной имитации некорректных инициаций сессии со стороны всех легитимных узлов. Это возможно путем подмены исходящих адресов узлов сети в трафике, что, в свою очередь, обусловит задержки для всех участников информационного обмена. Для предотвращения такой ситуации понадобится усиление средств аутентификации узлов на основе анализа их структурных и поведенческих характеристик.

В качестве атаки вида 2 рассмотрим атаку несанкционированного изменения роли узла. Атака может осуществляться на фазе (II) или (IV). Атака включает, во-первых, перехват идентификатора роли чужого узла, во-вторых, переопределение роли на себя и установку контекста, в-третьих, блокировку узла-жертвы, например, путем удаленного задания неправильных параметров его адресации, и, в-четвертых, функционирование под новой ролью. Целью такой атаки может стать модификация прикладных функций данной роли, например, искажение данных, хранимых в рамках узла-коллектора или же подмена результатов обработки и анализа данных. Для повышения защищенности против данного вида атак целесообразно применять средства контроля неизменности узла-носителя роли в рамках фазы реконфигурации и последующей фазы функционирования, включающие методы удаленной аттестации.

В качестве дальнейших исследований планируется проработка средств формальной верификации разрабатываемого протокола в качестве средств проверки его корректности и защищенности.

**Литература**

1. Kodali R.K., Narasimha Sarma N. V. S. Experimental WSN setup using XMesh networking protocol // International Conference on Advanced Electronic Systems (ICAES). 2013. P. 267–271.
2. Moinet A., Darties B., Baril J.-L. Blockchain based trust & authentication for decentralized sensor networks // arXiv: 1706.01730v1 [cs.CR]. 2017.6 Jun.
3. Senthilkumar A., Chandrasekar C. Secure routing in wireless sensor networks: routing protocols // International Journal on Computer Science and Engineering. 2010. Vol. 2. № 4. P. 1266–1270.
4. Ndia J. A Survey of WSN Security protocols // International Journal of Applied computer Science (IJACS). 2017. Vol. 1. Iss. II. P. 1–11.
5. Olakanmi O., Dada A. Wireless Sensor Networks (WSNs): Security and Privacy Issues and Solutions. 2020. P. 1–17.
6. Desnitsky V.A., Kotenko I.V. Security event analysis in XBee-based wireless mesh networks // Proceedings of the 2018 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (ElConRus). 2018. P. 42–44.

**References**

1. Kodali R.K., Narasimha Sarma N. V. S. Experimental WSN setup using XMesh networking protocol // International Conference on Advanced Electronic Systems (ICAES). 2013. P. 267–271.
2. Moinet A., Darties B., Baril J.-L. Blockchain based trust & authentication for decentralized sensor networks // arXiv: 1706.01730v1 [cs.CR]. 2017. 6 Jun.
3. Senthilkumar A., Chandrasekar C. Secure routing in wireless sensor networks: routing protocols // International Journal on Computer Science and Engineering. 2010. Vol. 2. № 4. P. 1266–1270.
4. Ndia J. A Survey of WSN Security protocols // International Journal of Applied computer Science (IJACS). 2017. Vol. 1. Iss. II. P. 1–11.
5. Olakanmi O., Dada A. Wireless Sensor Networks (WSNs): Security and Privacy Issues and Solutions. 2020. P. 1–17.
6. Desnitsky V.A., Kotenko I.V. Security event analysis in XBee-based wireless mesh networks // Proceedings of the 2018 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (ElConRus). 2018. P. 42–44.

УДК 681.3

## ОСОБЕННОСТИ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ, ИСПОЛЬЗУЮЩИХ МЕТОДЫ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ

**А.Ю. Лабинский, кандидат технических наук, доцент.  
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Рассмотрены особенности нейронных сетей, использующих методы глубокого обучения. Приведены этапы решения задачи аппроксимации функции с аддитивным шумом. Искусственная глубинная нейронная сеть реализована в виде программы для ЭВМ.

*Ключевые слова:* искусственная нейронная сеть, метод глубокого обучения, компьютерная программа, математическая модель

### THE SPECIAL FEATURE OF NEURAL NETWORK WITH DEEP LEARNING

A. Yu. Labinskiy. Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

This article presents the special feature of the synthetic neural network with deep learning. The synthetic neural network to realize in form the mathematical model and computing program.

*Keywords:* synthetic neural network, deep learning, computing program, mathematical model

#### Введение

Особенностям нейронных сетей посвящены книги многих отечественных [1–3] и иностранных [4–7] авторов. Не обошел вниманием нейронные сети и автор данной статьи [8, 9]. «Нейронная сеть представляет собой математическую модель, представленную в виде системы взаимодействующих между собой искусственных нейронов» [1]. Основным отличием такой математической модели является возможность обучения, которая заключается в нахождении значений коэффициентов связи между искусственными нейронами сети. «Процесс обучения нейронной сети позволяет определять зависимости между входными и выходными данными, то есть производить моделирование числовых характеристик исследуемого объекта, в том числе выполнять аппроксимацию» [1].

Схема нейронной сети с блоками обучения и вычисления ошибки представлена на рис. 1 [2].

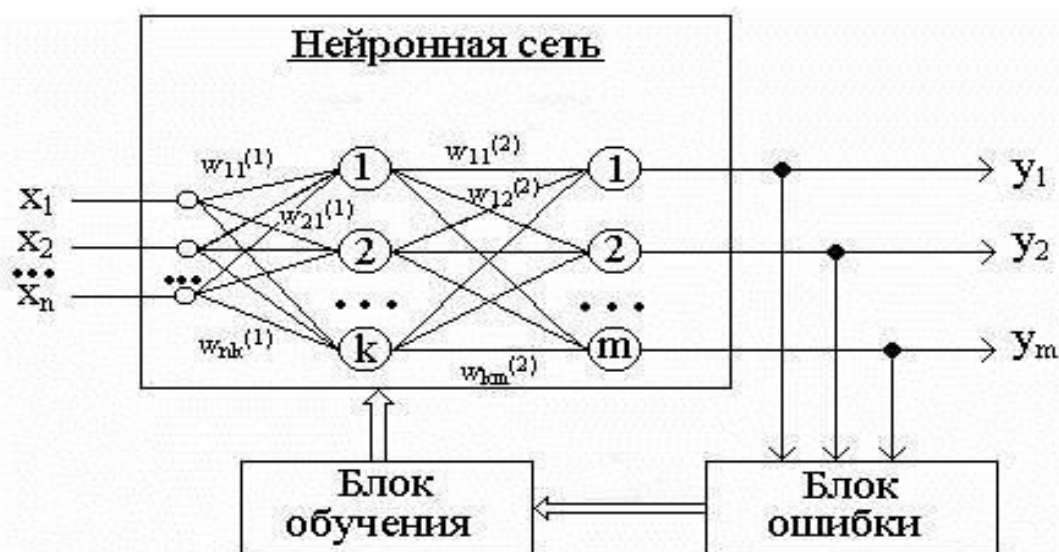


Рис. 1. Нейронная сеть с блоками обучения и вычисления ошибки

«Глубокое обучение (Deep learning) нейронных сетей – совокупность методов машинного обучения (с учителем, без учителя, с подкреплением), основанных на обучении представлениям (feature/representation learning), а не специализированным алгоритмам под конкретные задачи» [2].

«Глубинная нейронная сеть (ГНС или DNN – Deep neural network) – это искусственная нейронная сеть (ИНС) с несколькими слоями между входным и выходным слоями. ГНС находит корректный метод математических преобразований, чтобы превратить входящие данные в выходящие, независимо от линейной или нелинейной корреляции. Каждое математическое преобразование считается слоем, а сложные ГНС имеют много слоев, отсюда и название «глубинные» или «глубокие» сети. ГНС, как правило, представляют собой сети с прямой связью, в которых данные передаются от входного уровня к выходному уровню без обратной связи» [2].

«Нейронные сети, применяющие методы глубокого обучения, используются для поиска сложных закономерностей в исходных данных. Такие методы обучения, как обучение с подкреплением (reinforcement learning), заключается в том, что каждое математическое преобразование получает определенную оценку. Целью обучения является выбор математического преобразования с максимальной оценкой» [3].

Часто такое обучение подкрепляется вероятностным подходом, основанным на теореме Байеса: если события  $H_1, H_2, \dots, H_n$  образуют полную группу, то условная вероятность события  $H_k$  при условии, что событие  $A$  произошло, равна:

$$P(H_k|A) = P(H_k) * P(A|H_k) / P(A),$$

где  $P(A) = P(H_1) * P(A|H_1) + \dots + P(H_n) * P(A|H_n)$  – формула полной вероятности Байеса.

Сформулируем постановку задачи. Нужно аппроксимировать функцию одного аргумента с аддитивным шумом. Тема статьи актуальна, так как использование нейронных сетей для аппроксимации функций позволяет решать задачи определения закономерностей возникновения чрезвычайных ситуаций путем создания математических моделей сложных технологических объектов и систем.

Объект исследования – ИНС, использующая метод глубокого обучения. Метод исследования – вычислительные эксперименты на разработанной компьютерной модели ИНС, реализованной в виде программы для ЭВМ.

### Компьютерная модель нейронной сети

В целях аппроксимации функции  $Y=f(X)$  была создана трехслойная ИНС прямого распространения (однонаправленная сеть без обратных связей), содержащая 20 нейронов во входном слое (распределительный слой), 20 нейронов в скрытом слое и один нейрон в выходном слое. Аппроксимация функций нейронной сетью часто осуществляется с обучением сети по методу обратного распространения ошибки. На рис. 2 представлена схема расчетной модели нейронной сети [8].

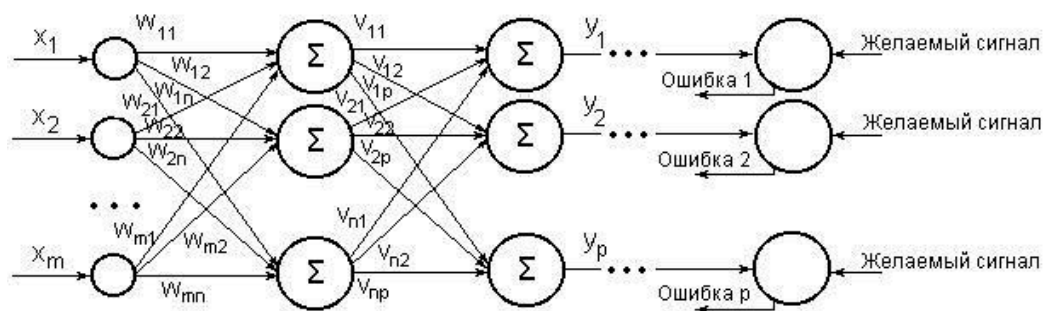


Рис. 2. Схема расчетной модели нейронной сети

На каждом цикле обучения на вход сети последовательно подаются все компоненты входного вектора  $X$ . Получаемые выходные значения (вектор  $Y$ ) сравниваются со значениями выходного вектора обучающей выборки. Далее вычисляется значение средней квадратичной ошибки, которое используется для корректировки коэффициентов связи (синаптических весов).

В данной статье демонстрация возможностей нейронной сети, использующей метод глубокого обучения, производится на примере аппроксимации функции одного аргумента с аддитивным шумом. В качестве обучающих зависимостей были использованы следующие функциональные зависимости:  $Y=\text{Sin}(X)$ ,  $Y=\text{Sin}(X)*\text{Cos}(X)$  и  $\text{Cos}^3(X)$ .

Графики обучающих зависимостей представлены на рис. 3.

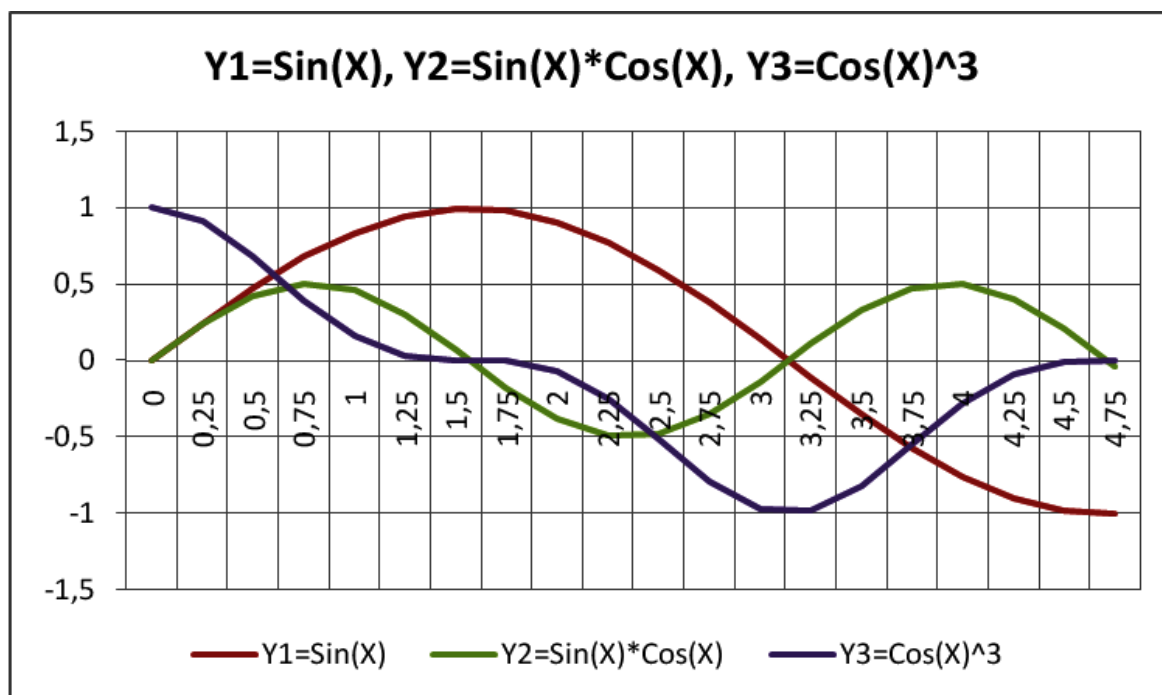


Рис. 3. Графики обучающих зависимостей

В процессе аппроксимации было выполнено 20 циклов обучения нейронной сети на зашумленных данных. Интенсивность шума менялась в зависимости от коэффициента зашумления  $K_{ш}$  и вида функции. Интенсивность шума вычислялась по следующей формуле:

$$I_{ш}=100*\sqrt{(\sum \varepsilon_i^2/\sum Y_i^2)}[\%],$$

где  $\varepsilon_i$  – случайное возмущение (зашумление:  $Y_i=Y_i+\varepsilon_i$ ). Значения интенсивности шума указаны в таблице.

Таблица

Коэффициент зашумления	Вид функции		
	$Y=\text{Sin}(X)$	$Y=\text{Sin}(X)*\text{Cos}(X)$	$Y=\text{Cos}^3(X)$
$K_{ш}=0,03$	3,5 %	8,5 %	5,5 %
$K_{ш}=0,05$	5,25 %	13,5 %	8 %
$K_{ш}=0,08$	12 %	25 %	13,5 %
$K_{ш}=0,10$	13 %	26 %	17 %

В каждом цикле обучения производилась обработка массива размерностью  $20*20$  значений общим объемом 400 значений. Таким образом, за 20 циклов обучения было обработано  $400*20=8\ 000$  значений.

Термин «глубокое обучение» подразумевает в процессе обучения нейронной сети использование больших массивов исходных данных, причем, чем больше исходных данных, тем успешнее решается поставленная задача. Поэтому при решении таких сложных задач, для решения которых используются ГНС, как компьютерное зрение, машинный перевод, распознавание речи, для обучения сети используются массивы, содержащие тысячи и десятки тысяч исходных данных.

Задача аппроксимации функции с аддитивным шумом решалась в несколько этапов:

1. Аппроксимация зависимости  $Y=f(X)$  с заданной точностью, в результате которой была получена матрица  $20 \times 20$  значений синаптических весов.

2. Зашумление данных зависимости  $Y=f(X)$  с различными коэффициентами зашумления:  $0,03 < K_{ш} < 0,10$ .

3. Аппроксимация зашумленной зависимости с использованием матрицы синаптических весов, полученных на этапе 1. При этом погрешность аппроксимации была велика и составляла  $25 \div 35\%$  и более.

4. Обучение нейронной сети в процессе 20 циклов зашумления данных и аппроксимации зашумленной зависимости  $Y=f(X)$  с заданной точностью с получением 20 матриц  $20 \times 20$  значений синаптических весов.

5. Тестирование ГНС, в процессе которого производилось тестовое зашумление данных зависимости  $Y=f(X)$ .

6. Оптимизация конфигурации нейронной сети, для чего производились 20 циклов аппроксимации зависимости  $Y=f(X)$  с использованием матриц синаптических весов, полученных на этапе 4, и нахождение оптимальной матрицы синаптических весов.

7. Задача аппроксимации функции с аддитивным шумом решалась путем использования нейронной сети с оптимальной для данной задачи конфигурацией. В результате погрешность аппроксимации существенно уменьшалась и составляла не более  $1 \div 2\%$ .

Результаты расчетов представлены на графиках (рис. 4–14).

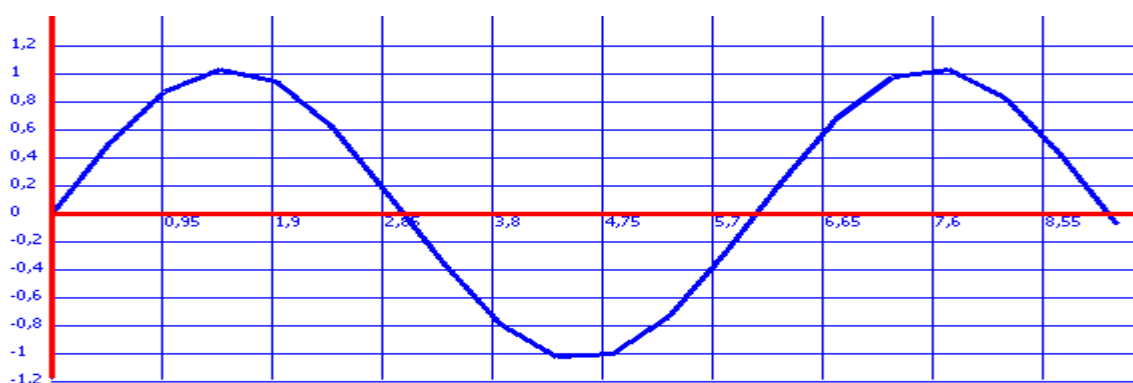


Рис. 4. Исходная зависимость  $Y = \sin(X)$

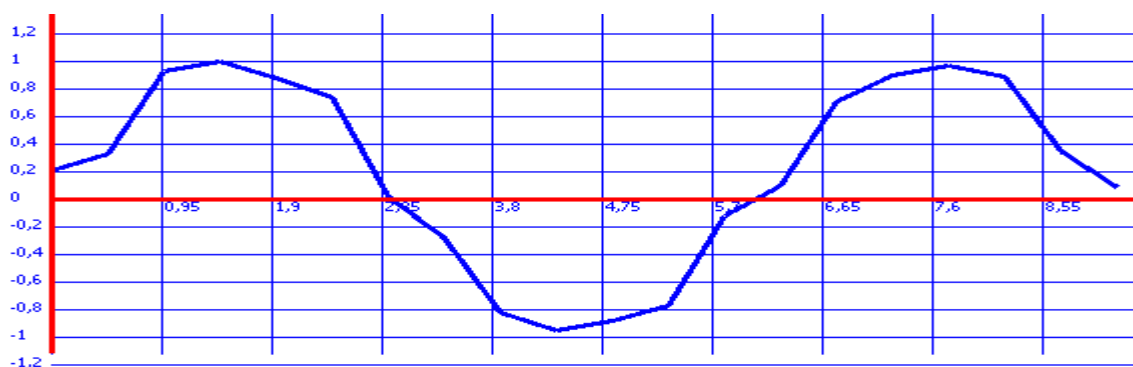


Рис. 5. Зашумленная зависимость  $Y = \sin(X)$ , коэффициент шума  $K_{ш} = 0,05$

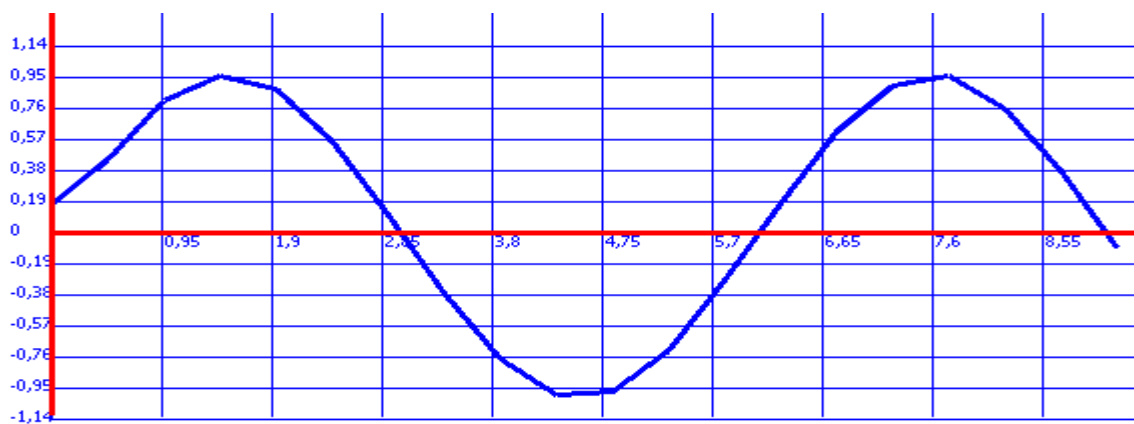


Рис. 6. Восстановленная зависимость  $Y=\text{Sin}(X)$ ,  $K_{ш}=0,05$ , после 20 циклов обучения нейронной сети

С увеличением уровня шума ошибка аппроксимации несколько увеличивалась, что видно на рис. 8. Окно программы, реализующей ИНС, использующую метод глубокого обучения, представлено на рис. 15.

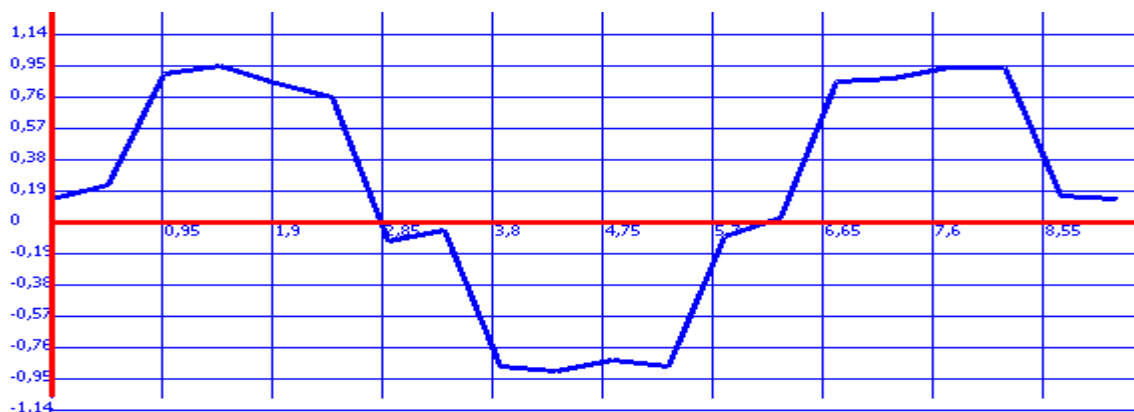


Рис. 7. Зашумленная зависимость  $Y=\text{Sin}(X)$ , коэффициент шума  $K_{ш}=0,08$

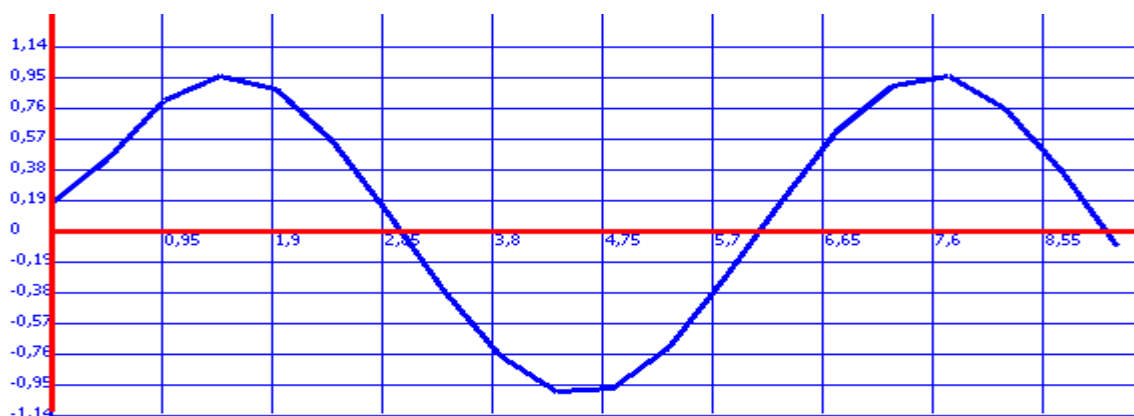


Рис. 8. Восстановленная зависимость  $Y=\text{Sin}(X)$ ,  $K_{ш}=0,08$ , после 20 циклов обучения нейронной сети



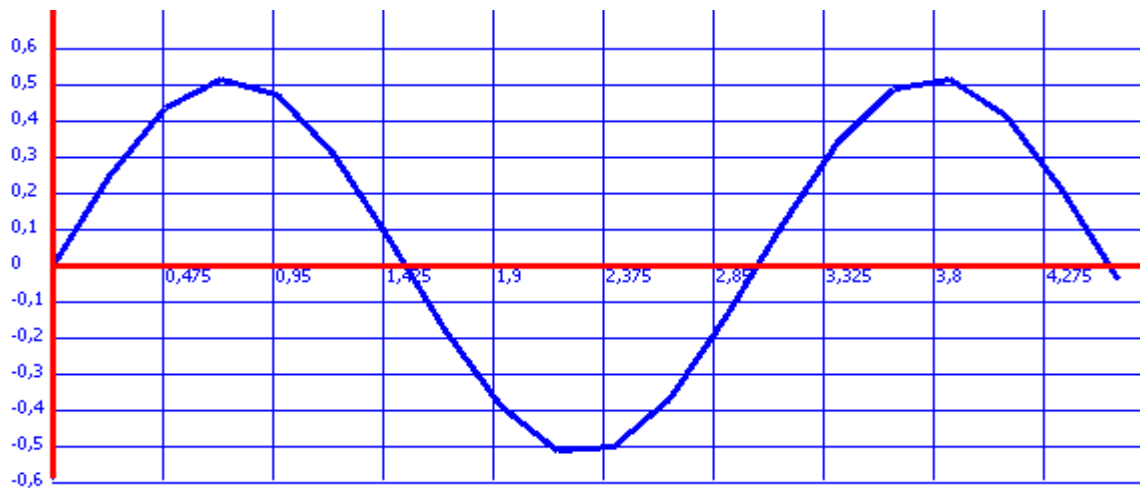


Рис. 9. Исходная зависимость  $Y = \sin(X) \cdot \cos(X)$

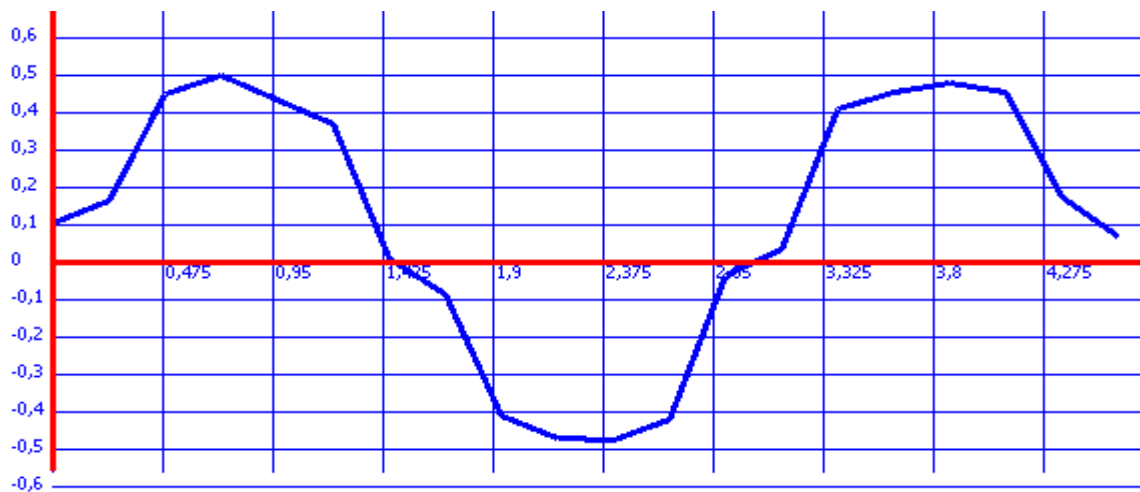


Рис. 10. Зашумленная зависимость  $Y = \sin(X) \cdot \cos(X)$ , коэффициент шума  $K_{ш} = 0,05$

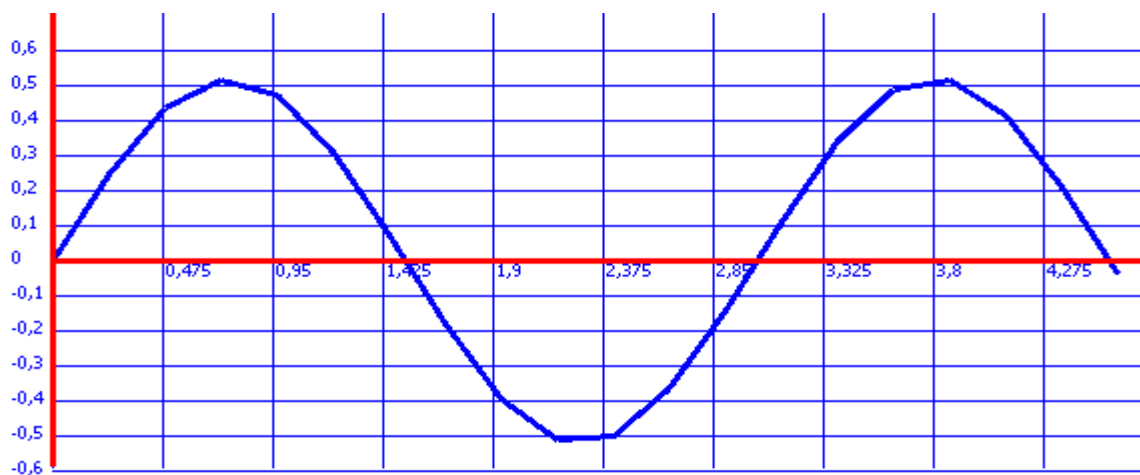


Рис. 11. Восстановленная зависимость  $Y = \sin(X) \cdot \cos(X)$ ,  $K_{ш} = 0,05$ , после 20 циклов обучения нейронной сети

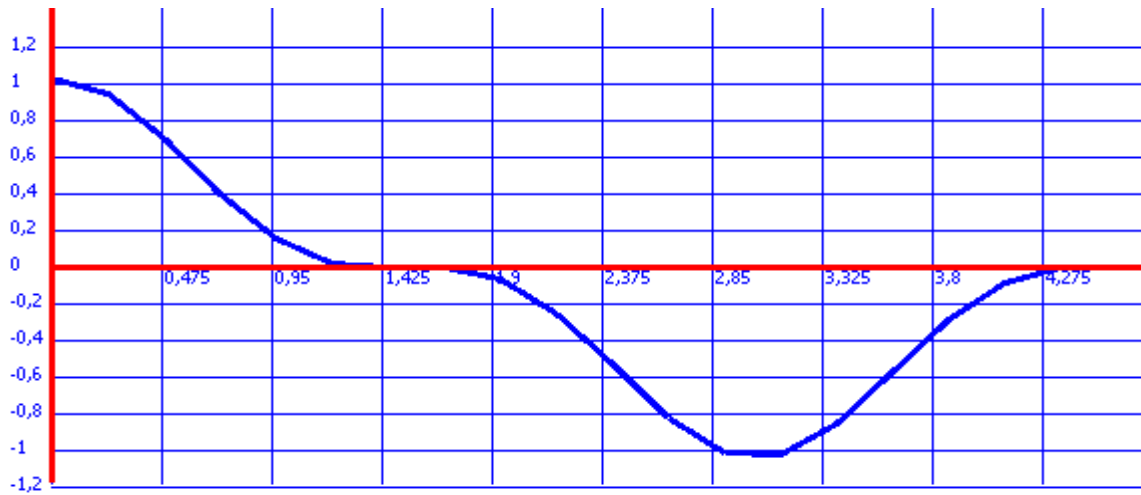


Рис. 12. Исходная зависимость  $Y = \text{Cos}^3(X)$

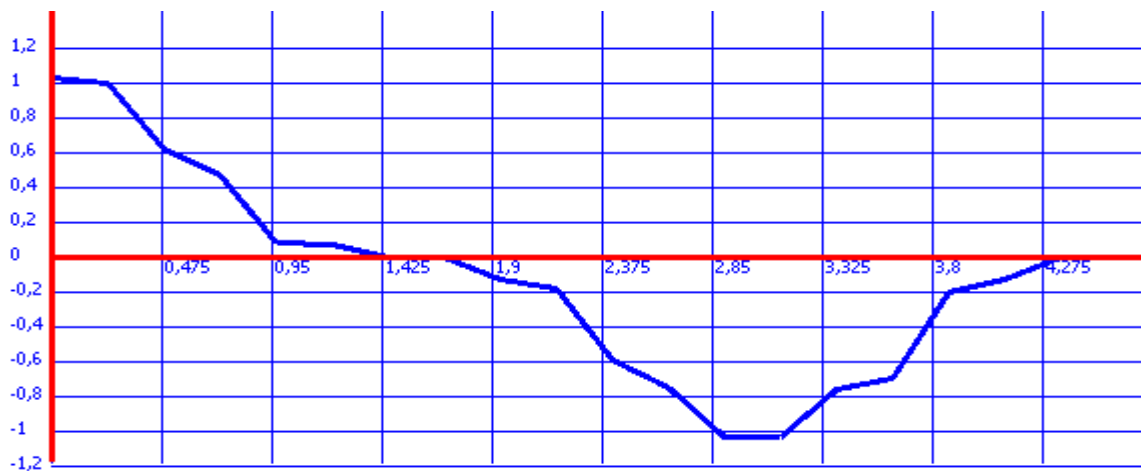


Рис. 13. Зашумленная зависимость  $Y = \text{Cos}^3(X)$ , коэффициент шума  $Kш = 0,08$

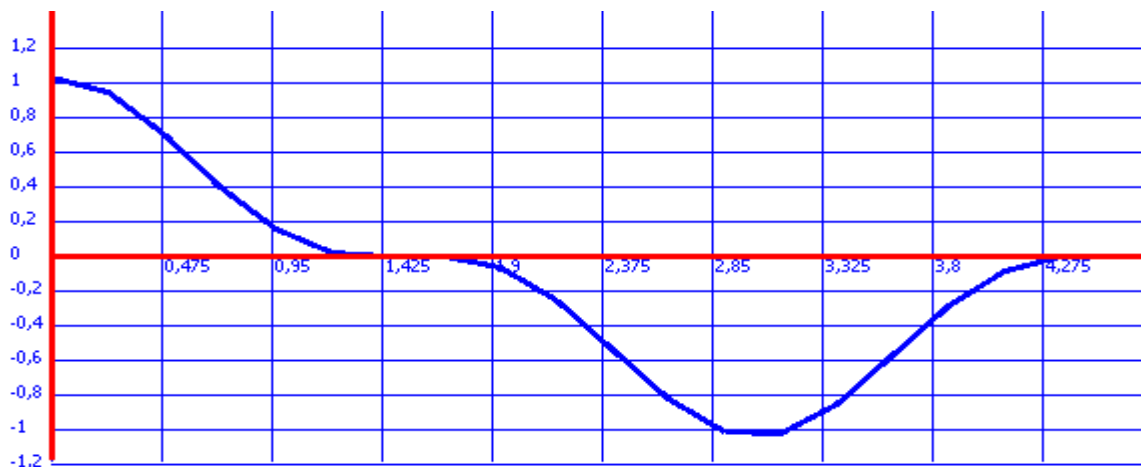


Рис. 14. Восстановленная зависимость  $Y = \text{Cos}^3(X)$ ,  $Kш = 0,08$ , после 20 циклов обучения нейронной сети

```

file:///E:/Program Files/VCsharp_PROJECT/ConAppDL/ConsoleApplicatio...
ГЛУБИНАЯ ИСКУССТВЕННАЯ НЕЙРОННАЯ СЕТЬ.
Используется метод глубокого обучения.
Аппроксимация синусоидальной функции
 $Y = \sin(X)$  или  $Y = \sin(X) * \cos(X)$  по
зашумленным данным. Зашумление данных
по формуле:  $Y = Y + Y * Ksh * \text{Random}(0, 1)$ ,
где Ksh можно менять от 0,03 до 0,05.
Аргумент меняется от 0 до 10 с шагом 0,5.
Заданная точность аппроксимации E=0,001
Введите 1-> $Y = \sin(x)$  или 2-> $Y = \sin(x) * \cos(x)$ : 1
Введите коэффициент шума от 0,03 до 0,1.
Ksh = 0,03
Массив заданных входных значений ip[i]
Вывод в файл NN_DL0.dat
0,00;0,50;1,00;1,50;2,00;2,50;3,00;3,50;4,00;4,50;
5,00;5,50;6,00;6,50;7,00;7,50;8,00;8,50;9,00;9,50;
Массив заданных выходных значений op[i]
0,00;0,48;0,84;1,00;0,91;0,60;0,14;-0,35;-0,76;-0,98;
-0,96;-0,71;-0,28;0,22;0,66;0,94;0,99;0,80;0,41;-0,08;
Итерационный процесс:
Итерационный процесс закончен !
Общее количество итераций NS=182;
Массив op[i]-заданные значения выхода
0,00;0,48;0,84;1,00;0,91;0,60;0,14;-0,35;-0,76;-0,98;
-0,96;-0,71;-0,28;0,22;0,66;0,94;0,99;0,80;0,41;-0,08;
Массив por[i]-полученные значения выхода
0,00;0,48;0,84;1,00;0,91;0,60;0,14;-0,35;-0,76;-0,98;
-0,96;-0,70;-0,28;0,22;0,66;0,94;0,99;0,80;0,41;-0,07;
Средняя ошибка аппроксимации: E=100*(Sum |y1-y2|/y2)/N= 0,20 %
Незашумленный вход
0,00;0,50;1,00;1,50;2,00;2,50;3,00;3,50;4,00;4,50;
5,00;5,50;6,00;6,50;7,00;7,50;8,00;8,50;9,00;9,50;

```

Рис. 15. Окно консольной программы, реализующей ИНС, использующую метод глубокого обучения

## Вывод

Средствами языка программирования C# в среде Microsoft Visual Studio создана консольная программа, реализующая ИНС, использующую метод глубокого обучения. Результаты компьютерных экспериментов показали, что созданная компьютерная модель ИНС, использующая метод глубокого обучения, способна при зашумлении входного вектора данных обеспечить аппроксимацию функций одного аргумента, а именно функций  $Y = \sin(X)$ ,  $Y = \sin(X) * \cos(X)$  и  $Y = \cos^3(X)$  с приемлемой точностью. С увеличением уровня шума, как и следовало ожидать, ошибка аппроксимации возрастает.

Научная новизна исследования, отражающая личный вклад автора, заключается в создании автором компьютерной модели ИНС, использующей метод глубокого обучения и реализованной в виде программы для ЭВМ.

## Литература

1. Хайкин С. Нейронные сети. Полный курс. М.: Изд-во Вильямс, 2006.
2. Николенко С., Кадури А., Архангельская Е. Глубокое обучение. СПб.: Питер, 2018.
3. Гудфеллоу Я., Бенджио И., Курвилль А. Глубокое обучение. М.: ДМК Пресс, 2018.
4. Vapnik V.N. A fuzzy neural network model // IEEE Transactions on Neural Networks. 2017. Vol. 3. nr. 5.
5. Anderson C.H. The self-organizing map // Neural Computation. 2012. Vol. 5.
6. Cover T.M. Introduction to neural network system // IEEE Transactions on Neural Networks. 2015. Vol. 5. nr. 1.
7. Baldi P. A recurrent neural network // Neural Computation. 2018. Vol. 2.
8. Лабинский А.Ю., Уткин О.В. К вопросу аппроксимации функции нейронной сетью // Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты). 2016. № 1 (17). С. 5–11.
9. Лабинский А.Ю. Особенности моделирования функций принадлежности нейронной сетью // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2017. № 3. С. 88–92.

10. Бурман Я., Бобковский Г. *Англо-русский научно-технический словарь*. М.: Русский язык, 2015.

### References

1. Hajkin S. *Нейронные сети. Полный курс*. М.: Изд-во Vil'yams, 2006.
2. Nikolenko S., Kadurin A., Arhangel'skaya E. *Глубокое обучение*. СПб.: Piter, 2018.
3. Gudfellou Ya., Bendzhio I., Kurvill' A. *Глубокое обучение*. М.: DMK Press, 2018.
4. Vapnik V.N. A fuzzy neural network model // *IEEE Transactions on Neural Networks*. 2017. Vol. 3. nr. 5.
5. Anderson C.H. The self-organizing map // *Neural Computation*. 2012. Vol. 5.
6. Cover T.M. Introduction to neural network system // *IEEE Transactions on Neural Networks*. 2015. Vol. 5. nr. 1.
7. Baldi P. A recurrent neural network // *Neural Computation*. 2018. Vol. 2.
8. Labinskij A.Yu., Utkin O.V. К вопросу аппроксимации функции нейронной сетью // *Природные и технологические риски (физико-математические и прикладные аспекты)*. 2016. № 1 (17). С. 5–11.
9. Labinskij A.Yu. Особенности моделирования функций принадлежности нейронной сетью // *Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России»*. 2017. № 3. С. 88–92.
10. Burman Ya., Bobkovskij G. *Англо-русский научно-технический словарь*. М.: Русский язык, 2015.

УДК 629.7.08

## **МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ФОРМИРОВАНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ НАБОРОВ СРЕДСТВ И МЕТОДОВ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ СТАРТОВОГО КОМПЛЕКСА**

**А.М. Астанков;****О.В. Мироненков, кандидат химических наук.****Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского.****А.В. Вагин, кандидат технических наук, доцент.****Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Показаны принципиальные подходы к процессу формирования начального состава (набора) средств и методов неразрушающего контроля для проведения диагностических мероприятий на технологическом оборудовании стартового комплекса с определением вероятностных и стоимостных характеристик, планируемых к использованию средств измерения диагностических параметров. На основе оптимизационных алгоритмов методов дискретного программирования, симплекс-метода линейного целочисленного программирования и метода обобщенного понижающего градиента разработаны математические модели для решения задач по формированию оптимальных наборов средств и методов неразрушающего контроля в соответствии с заданной целевой функцией.

*Ключевые слова:* математические модели, методы неразрушающего контроля, комплексирование, оптимизационные алгоритмы, безопасная эксплуатация технологического оборудования

## **MATHEMATICAL MODELS FOR FORMATION OF OPTIMAL SETS OF MEANS AND METHODS OF NONDESTRUCTIVE CONTROL OF TECHNOLOGICAL EQUIPMENT OF THE STARTING COMPLEX**

A.M. Astankov; O.V. Mironenkov.

Mozhaisky military space academy named after A.F. Mozhaisky.

A.V. Vagin. Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

The principal approaches to the process of forming the initial composition (set) of means and methods of non-destructive testing for carrying out diagnostic measures on the technological equipment of the launch complex are shown with the determination of the probabilistic and cost characteristics, planned to use the means of measuring the diagnostic parameters. Based on the optimization algorithms of discrete programming methods, the simplex method of linear integer programming and the generalized decreasing gradient method, mathematical models have been developed for solving problems on the formation of optimal sets of tools and methods for non-destructive testing in accordance with a given objective function.

*Keywords:* mathematical models, non-destructive testing methods, integration, optimization algorithms, safe operation of technological equipment

## Введение

Комплексирование средств и методов неразрушающего контроля (МНК) при определении технического состояния (ТС) объектов наземной космической инфраструктуры позволяет значительно повысить достоверность контроля их диагностических параметров [1–3], что, в свою очередь, способствует повышению безопасности эксплуатации технологического оборудования (ТО) стартовых комплексов (СК) ракетно-космических комплексов (РКК): снижению рисков возникновения опасных последствий при эксплуатации сложных технических систем наземной космической инфраструктуры.

На рис. 1 представлена зависимость надежности обнаружения аномалии или дефекта ( $\gamma$ ) у объекта контроля (ОК) от числа ( $n$ ) используемых МНК (при условии принципиальной возможности их применения для контроля параметров объекта) [1].

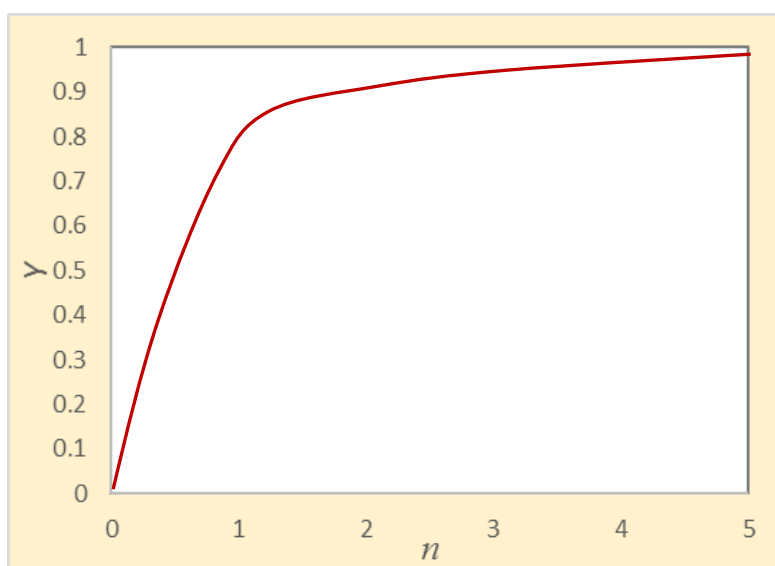


Рис. 1. Зависимость надежности обнаружения аномалии или дефекта ( $\gamma$ ) у ОК от числа ( $n$ ) используемых МНК

С другой стороны, при планировании диагностических мероприятий на ТО СК РКК с использованием средств и методов неразрушающего контроля (НК) важно учитывать экономическую составляющую.

На рис. 2 изображена зависимость материальных затрат от числа используемых МНК для выявления дефекта и снижение вероятности «пропуска» дефекта в зависимости от количества МНК [4].

Поэтому, принимая во внимание зависимости, приведенные на рис. 1, 2, при составлении плана проведения диагностических работ следует руководствоваться принципом разумной достаточности, когда количество задействованных для контроля параметров объекта средств и МНК обеспечивает требуемую достоверность определения его ТС в целом, но при этом затраты на проведение работ минимальны.

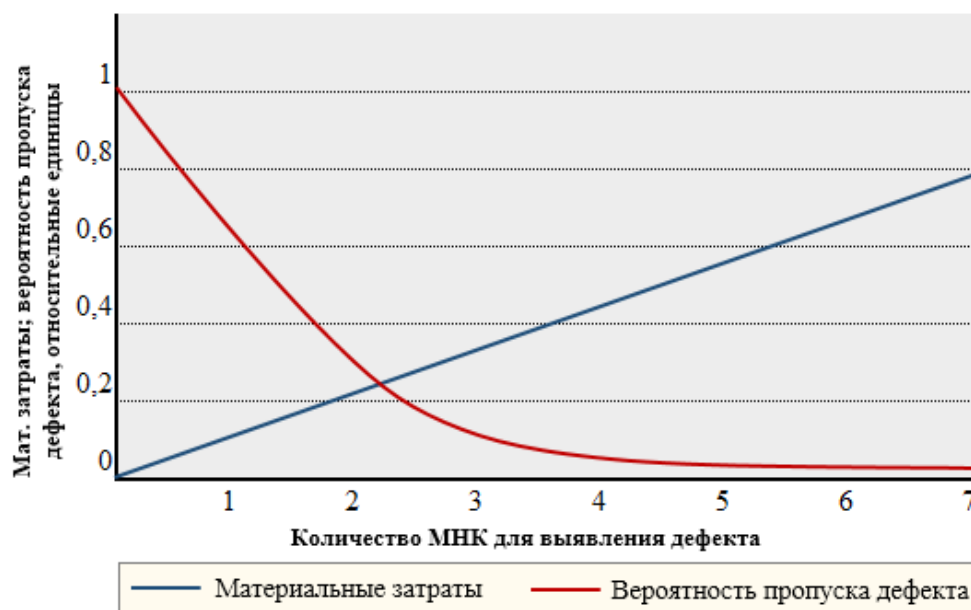


Рис. 2. Соотношение материальных затрат на проведение диагностических работ и вероятности пропустить дефект

Таким образом, задача комплексирования МНК для выявления фактического ТС ОК является оптимизационной задачей при минимизации целевой функции (стоимости проведения диагностических работ) и ограничениях по достоверности контроля параметров объекта.

### Принципиальные подходы к оптимальному комплексированию МНК. Термины и обозначения

Поскольку результатом оценки достоверности НК является график зависимости вероятности обнаружения дефекта от его размера [4], то под достоверностью контроля параметров ТО следует понимать вероятность выявления (обнаружения) дефекта, которая зависит от технических характеристик прибора НК и условий его применения.

Введем обозначения. Пусть  $X = \{x_1, \dots, x_n\}$  – множество размером  $n$  всех доступных МНК, которые могут использоваться для определения ТС исследуемого объекта;  $m$  – количество контролируемых параметров объекта;  $p_{ij}$  – вероятность выявления (обнаружения) дефекта при контроле  $i$ -го параметра объекта  $j$ -м МНК из множества  $X$ ;  $C_{ij}$  – стоимость использования  $j$ -го МНК из множества  $X$  для контроля  $i$ -го параметра объекта;  $C$  – общая стоимость проведения диагностических мероприятий на ОК;  $P$  – вероятность выявления дефектов при контроле всех критически значимых параметров элементов объекта (при условии независимости контроля данных параметров).

По формуле определяются вероятности выявления дефектов у  $i$ -х элементов объекта при совместном применении нескольких МНК:

$$p_i = 1 - \prod_{j=1}^n (1 - p_{ij}). \quad (1)$$

При этом значения  $p_i$  являются основными показателями при определении ТС объекта средствами и методами НК, так как по ним можно объективно и адекватно судить о качестве контроля всех критически значимых параметров, а, следовательно, и о качестве выявления ТС всего объекта в целом.

В работах [5, 6] основным показателем определения фактического ТС объекта является значение  $P$ , определяемое по формуле:

$$P = \prod_{i=1}^m \left[ 1 - \prod_{j=1}^n (1 - p_{ij}) \right]. \quad (2)$$

Однако значение  $P$  малоинформативно, чтобы использовать его при оптимальном комплексировании МНК в качестве условия ограничения ( $P_{тр}$ ), так как оно в ряде случаев может ввести в заблуждение. Например, пусть имеются два агрегата (объекта) с одинаковым набором МНК (рис. 3). Первый агрегат – с небольшим количеством элементов контроля (3 параметра), а второй – со значительным количеством элементов контроля (9 параметров).

Первые три параметра в обоих агрегатах имеют одинаковые значения  $p_i$ . Параметры с 4 по 5 во втором агрегате имеют значения  $p_i$  не меньше максимального значения  $p_i$  для первого агрегата, то есть каждый параметр во втором агрегате контролируется не хуже, чем в первом.

Агрегат (объект) 1							Агрегат (объект) 2						
Элемент контроля	МНК 1	МНК 2	МНК 3	МНК 4	МНК 5	$p_i$	Элемент контроля	МНК 1	МНК 2	МНК 3	МНК 4	МНК 5	$p_i$
Параметр 1	0,94	0,9	0	0	0	0,994	Параметр 1	0,94	0,9	0	0	0	0,994
Параметр 2	0,94	0	0	0	0	0,940	Параметр 2	0,94	0	0	0	0	0,940
Параметр 3	0,94	0,5	0,9	0	0	0,997	Параметр 3	0,94	0,5	0,9	0	0	0,997
$P_1 = 0,932$							Параметр 4	0,5	0,9	0,9	0	0,7	0,998
$P_1 > P_2$							Параметр 5	0,5	0,7	0,9	0	0,8	0,997
							Параметр 6	0,94	0,2	0,9	0,16	0,16	0,997
							Параметр 7	0,94	0,5	0,9	0,16	0,16	0,998
							Параметр 8	0,5	0,9	0,9	0,7	0	0,998
							Параметр 9	0,5	0,5	0,9	0,6	0,7	0,997
							$P_2 = 0,918$						

Рис. 3. Вероятностные характеристики для агрегата 1 и агрегата 2

Однако неравенство  $P_1 > P_2$  создает обратное впечатление. Это связано с тем, что с увеличением количества контролируемых параметров значение общей вероятности выявления дефектов ( $P$ ) уменьшается (свойство умножения чисел меньше нуля). С точки зрения теории вероятностей здесь все верно: чем больше элементов контроля у объекта, тем меньше вероятность выявления дефектов ( $P$ ) у данного объекта. С другой стороны, если разбить второй агрегат на три группы (по три параметра в каждой группе), то ситуация изменится: в любой из полученных групп значения вероятностей выявления дефекта ( $P_2, P_3, P_4$ ) будут не меньше значения вероятности ( $P_1$ ) для первого агрегата. Такой подход справедлив, поскольку контролю подлежат критически значимые элементы объекта (их физические параметры), то отказ (или пороговый дефект, ведущий к скорому отказу) любого из них грозит срывом плановых пусконаладочных работ, поэтому знание значения  $p_i$  для каждого контролируемого параметра важнее знания истинного значения  $P$  для всего агрегата. При этом определить приемлемые (требуемые) значения вероятности выявления дефекта ( $P_{тр}$ ) для ОК довольно затруднительно (в общем случае у объектов с неодинаковым количеством критически значимых элементов контроля эти значения будут отличаться и, при определенных обстоятельствах, отличаться значительно).

Кроме того, ОК (разной сложности) на СК РКК довольно много. Чтобы оценить вероятность выявления дефектов всего комплекса ( $P_{общ}$ ) следует перемножить все  $P_k$  ОК, входящих в его состав. При этом значения  $P_{общ}$  для разных СК могут сильно варьироваться



в зависимости от количества и вида ОК, что создает определенные трудности в адекватном оценивании качества определения ТС всего комплекса.

Формула (2) справедлива для расчета значения вероятности выявления дефектов ОК только при условии независимости контроля параметров его элементов. Однако на практике это требование выполняется не всегда. Например, при использовании метода виброакустической диагностики часто получают спектральный отклик не от одного элемента контроля, а от совокупности (системы) элементов. При этом эффективно провести декомпозицию сигналов и достоверно локализовать причину неисправности не всегда представляется возможным. Поэтому даже установив факт наличия неисправности в системе контролируемых элементов с высокой достоверностью, но не определив ее причину, нельзя говорить о высоком значении вероятности выявления дефекта для каждого элемента данной системы.

Таким образом, наиболее корректно строить математическую модель оптимального комплексирования исходного набора МНК при проведении диагностических мероприятий на объектах СК РКК, задавая в качестве ограничений значения  $p_{i\text{тр}}$  вместо значения  $P_{\text{тр}}$ , что позволит повысить надёжность принимаемых решений по ТС ОК.

### Формирование начального набора МНК

Процесс подготовки данных (начального набора МНК) для оптимального комплексирования МНК при оценке ТС ОК (агрегатов) СК РКК можно разделить на ряд основных этапов.

Этап 1. На данном этапе определяются критически значимые узлы ( типовые элементы) ОК и возможные дефекты, которые могут послужить причиной отказа данного оборудования.

Этап 2. На втором этапе проводится анализ возможности использования всех доступных методов и средств НК для проведения диагностических мероприятий на ОК. При этом по технической документации на объект определяются допустимые значения (размеры трещин, уровень вибрации и пр.) дефектов по каждому узлу агрегата для его дальнейшей безопасной эксплуатации, а по технической документации на приборы НК оценивают выявляемость данных дефектов и, учитывая условия использования каждого прибора, принимают решение о целесообразности его задействования для контроля того или иного узла агрегата.

В итоге на данном этапе формируется начальная (исходная) матрица вероятностей выявления дефектов агрегата ( $\|p_{ij}\|$ ), один из вариантов которой, составленный для насосного агрегата (НА) 3-го класса стартового комплекса (ГОСТ 10816-1-97) представлен на рис. 4. Нулевые значения в ячейках таблицы на рис. 4 указывают на то, что данный МНК принципиально не может использоваться для контроля соответствующего параметра типового элемента ОК.

Следует отметить, что при формировании исходного набора МНК для измерения критически значимых диагностируемых параметров выбранного ОК крайне желательно включать в его состав все доступные средства НК, которые так или иначе могут быть полезны при проведении диагностических мероприятий. Это заметно повысит эффективность оптимального комплексирования МНК. Кроме того, чтобы соблюсти принцип комплексирования, необходимо формировать начальный набор МНК таким образом, чтобы для контроля типовых элементов агрегата для выявления возможных дефектов, где это возможно, было задействовано максимальное количество МНК: два, три и более.

Начальная матрица вероятностей выявления дефектов							
Узлы и дефекты объекта контроля		МНК					$P_i$
Типовой элемент	Дефект	УЗК	ВИК	АЭ	ТВ	ВД	
Фундамент	Несплошности, трещины наружные	0,94	0,9	0	0	0	<b>0,994</b>
	Несплошности, трещины в объеме	0,94	0,9	0	0	0	<b>0,994</b>
Корпус НА	Хрупкое растрескивание	0,94	0,5	0,9	0	0	<b>0,997</b>
	Коррозия (внешняя)	0,5	0,9	0,9	0	0	<b>0,995</b>
	Межкристаллитная коррозия	0,5	0,5	0,9	0	0	<b>0,975</b>
Подшипники (4 шт.)	Износ	0	0	0,9	0,16	0,16	<b>0,929</b>
Вал (ропор)	Износ	0,94	0,2	0,9	0,16	0,16	<b>0,997</b>
	Износ	0,94	0,5	0,9	0,16	0,16	<b>0,998</b>
Муфта	Коррозия (внешняя)	0,5	0,9	0,9	0	0	<b>0,995</b>
	Межкристаллитная коррозия	0,5	0,5	0,9	0	0	<b>0,975</b>
	<b><math>P = 0,857</math></b>						

Рис. 4. Начальная матрица вероятностей выявления дефектов агрегата (УЗК – ультразвуковой контроль; ВИК – визуальный и измерительный контроль; АЭ – акустико-эмиссионный контроль; ТВ – тепловизионный контроль; ВД – вибродиагностический контроль)

Этап 3. На третьем этапе формируется матрица стоимостей выявления дефектов в узлах агрегата ( $\|C_{ij}\|$ ), которая может быть представлена также, как на рис. 4, где вместо значений вероятностей выявления дефектов агрегата проставляются значения стоимостей использования МНК.

Этап 4. На последнем четвертом этапе в соответствии с формулой (1) производится подсчет значений  $p_i$  по каждому возможному дефекту агрегата. При этом необходимо соблюдать условие:  $p_i \geq p_{\text{итр}}$ .

В результате проведения мероприятий по формированию начального набора МНК получают начальную матрицу решений  $G_{nm}$ .

Пусть  $g_{ij}$  – булева переменная, которая принимает следующие значения:

$$g_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } j \text{ МНК используется для контроля } i \text{-го параметра объекта;} \\ 0, & \text{если } j \text{ МНК не используется для контроля } i \text{-го параметра объекта.} \end{cases}$$

Тогда начальная матрица решений (использования МНК) при контроле агрегата будет иметь вид:

$$G_{nm} = \|g_{ij}\|.$$

Решением задачи оптимального комплексирования МНК будет являться новая матрица использования МНК, полученная после моделирования (применения одного из методов оптимизации).

$$G'_{nm} = \|g'_{ij}\|.$$

Весь процесс подготовки данных (начального набора МНК) можно представить схемой, приведенной на рис. 5.

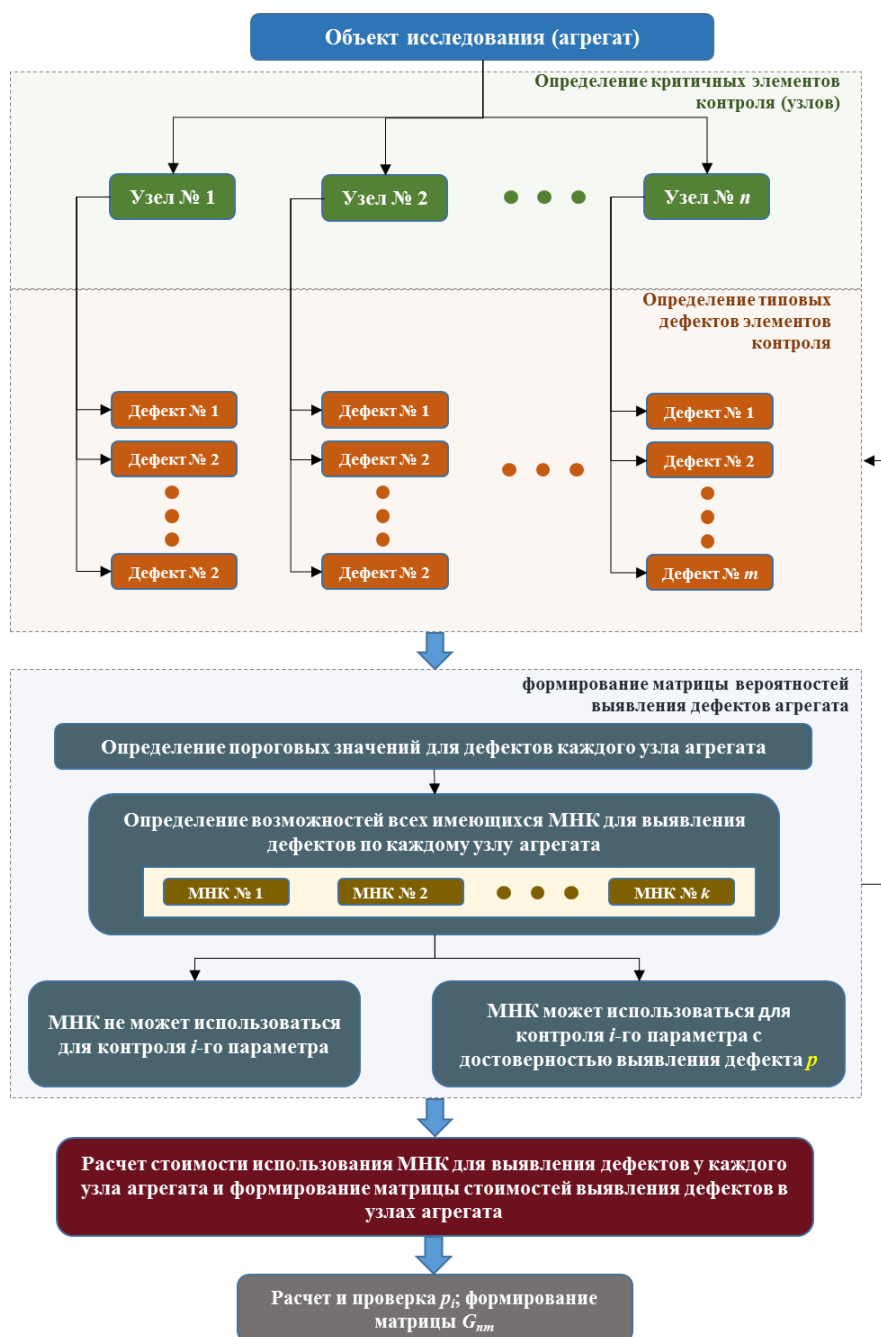


Рис. 5. Схема формирования начального набора МНК

### Определение значений вероятностей выявления дефектов

Любой МНК может считаться актуальным только в том случае, если для него установлен ряд параметров, позволяющих оценить возможности контроля с вероятностной точки зрения. Важнейшим среди этих параметров является достоверность контроля – вероятность принятия безошибочных решений по результатам НК. Именно достоверность контроля (или вероятность выявления (безошибочного обнаружения) дефекта является основным показателем эффективности контроля. Использование показателей достоверности позволяет оценить выгодность применения нескольких МНК для повышения достоверности выявления дефектов. При определении показателей достоверности контроля оценивают частоту появления ошибок первого и второго рода. Ошибка первого рода означает, что объект признают не годным к дальнейшей эксплуатации в случае, когда параметры

найденных дефектов не выходят за рамки допустимых. Ошибка второго рода возникает в том случае, если дефект признается допустимым, при том, что его параметры превышают установленные нормы.

Задачу оценки возможности выявления дефектов обычно решают методом направленного моделирования вероятностных характеристик, основанных на алгоритме, использующем регрессионный анализ данных зависимости сигнальных откликов детектора прибора НК от площадей дефектов с последующим транслированием данных анализа в вероятностную плоскость [7]. К одной из таких характеристик относится кривая выявляемости дефекта (Probability Of Detection (POD)), представленная на рис. 6.

Кривые POD ориентированы на оценку выявляемости дефектов различного размера и должны быть построены для всех МЕК, которые обладают возможностью выполнять измерение размеров дефектов. Современная система НК должна обеспечивать вероятность выявления дефектов не менее 90 %. При этом доверительная вероятность не должна быть менее 95 % (90/95 POD) [4, 8].

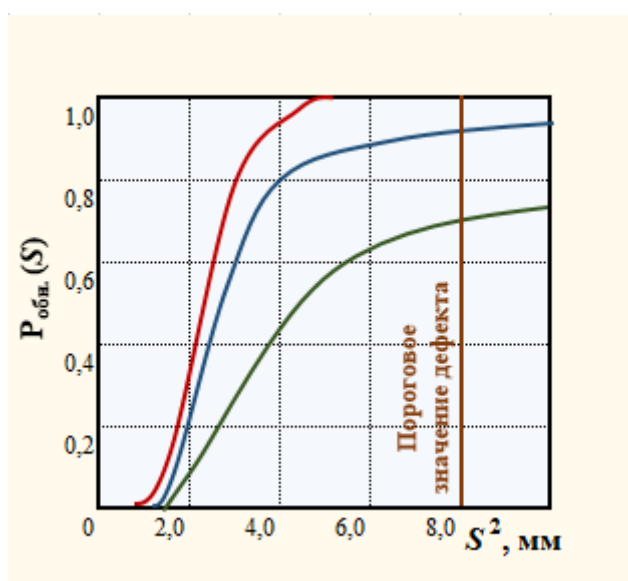


Рис. 6. Пример POD диаграмм, построенных для различных методов НК

На практике при формировании начальной матрицы вероятностей выявления дефектов агрегата значения  $p_{ij}$  следует определять по POD диаграммам или другим паспортным данным на прибор, полученным в результате аттестационных испытаний систем НК, например, по ГОСТ Р 50.04.07–2018. При этом необходимо учитывать условия применения прибора НК: доступность элемента контроля для измерений, погодные условия, чистоту поверхностей, условия зависимости или независимости контроля одинаковых параметров различных элементов агрегата, возможность точно локализовать дефект и проч. Перечисленные факторы способствуют уменьшению вероятности достоверного выявления дефектов. Поэтому рекомендуется занижать (на основании экспертной оценки) номинальные (паспортные) значения вероятностей и максимально использовать принцип комплексирования при планировании диагностических мероприятий средствами и МНК.

Основное условие при формировании начальной матрицы вероятностей выявления дефектов – чтобы значение  $p_i$ , при выявлении дефектов у каждого элемента контроля агрегата, рассчитанное по формуле (1), было не меньше  $p_{itr}$ , где  $p_{itr}=0,9$ .

### Определение значений стоимостей использования МНК

Формирование матрицы стоимостей выявления дефектов в узлах агрегата предполагает расчет затрат ( $C_{ij}$ ) на использование МНК, которые могут быть определены как:

$$C_{ij} = C_{ij}^m + E_{Hi} \cdot K_i \cdot \tau_i,$$

где  $C_{ij}^m$  – текущие затраты на осуществление НК;  $K_i$  – капитальные затраты на осуществление НК;  $E_{Hi}$  – ставка дисконирования;  $\tau_i$  – время осуществления НК.

Текущие затраты на осуществление НК включают в себя расходы на вспомогательные материалы, необходимые для реализации данного МНК; расходы на заработную плату специалистам, осуществляющим контроль данным методом; командировочные расходы. Капитальные затраты на осуществление МНК состоят из стоимости средств контроля, затрат на модернизацию и затрат на адаптацию средства НК.

Следует отметить, что затраты на модернизацию и на адаптацию средства контроля условиям контроля в большинстве случаев не требуются (или требуются в незначительных объемах), поэтому на практике капитальные затраты могут полагаться равными стоимости средства контроля.

Ставка дисконирования может быть определена по формуле:

$$E_{Hi} = \frac{1}{t_{cci}},$$

где  $t_{cci}$  – срок службы рассматриваемого средства НК.

### Формулировка задачи оптимального комплексирования начального набора МНК

С учетом положений, приведенных выше, задачу оптимального комплексирования начального набора МНК при проведении диагностических мероприятий на ОК в общем виде можно сформулировать следующим образом: провести оптимизацию начального набора МНК таким образом, чтобы, стоимость ( $C$ ) проведения работ на ОК (агрегате) была минимальна, а вероятность выявления дефектов по каждому контролируемому параметру при этом была не ниже заданной ( $p_{i\text{тр}} = \text{const} = 0,9$ ).

На данную задачу можно наложить дополнительные условия (или требования) по количеству ( $s_i$ ) используемых МНК для контроля каждого параметра агрегата:

1. Условие «обязательного комплексирования», когда в итоговом наборе средств НК для выявления дефектов требуется использовать не менее двух МНК для контроля каждого параметра агрегата ( $s_i \geq 2$  и  $\forall p_i \geq p_{i\text{тр}}$ ). Чтобы провести процедуру оптимизации в соответствии с данным условием, в результате которой каждая строка матрицы решений  $G'_{nm}$  содержала бы не менее двух единиц, необходимо, чтобы хотя бы в одной строке исходной матрицы  $G_{nm}$  было не менее трех единиц ( $s_i \geq 3$ ), при этом в остальных строках матрицы  $G_{nm}$  единиц было не менее двух ( $s_i \geq 2$ ).

2. Условие «комплексирования по необходимости», когда в итоговом наборе средств НК для выявления дефектов требуется использовать столько МНК, чтобы достоверность контроля каждого параметра агрегата была не ниже заданной ( $s_i \geq 1$  и  $\forall p_i \geq p_{i\text{тр}}$ ). В данном случае для контроля любого параметра агрегата может использоваться один МНК, если у него вероятность выявления дефекта не ниже  $p_{i\text{тр}} = 0,9$ .

### Формализованное описание решаемых задач

Для решения обозначенных задач по оптимальному комплексованию первоначального набора средств и методов НК для оценивания ТС ТО СК РКК предлагается использовать математические модели, построенные на основе следующих оптимизационных алгоритмов: метода дискретного программирования, симплекс-метода линейного целочисленного программирования и метода обобщенного понижающего градиента (ОПГ).

#### Метод дискретного программирования

В формализованном виде задачу по формированию оптимального набора МНК для контроля параметров ТС агрегата методом дискретного программирования при минимизации целевой функции  $W(C)$  можно представить следующим образом:

$$W(C) = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m C_{ij} g_{ij} \rightarrow \min$$

при ограничениях

$$\left\{ \begin{array}{l} \forall i \in [1, m], \sum_{j=1}^n g_{ij} p_{ij} \geq p_{i\text{тр}}; \\ p_{i\text{тр}} = \text{const} = 0,9; \\ g_{ij} \in \{0,1\}, \quad j \in [1, n], \quad i \in [1, m]. \end{array} \right. \quad (3)$$

Оптимизация начального набора МНК в данном случае проводится посредством выполнения ряда итераций по следующему алгоритму:

1. По формуле (1) для каждого контролируемого параметра агрегата рассчитывается значение  $p_i$ .
2. Через частные производные рассчитывается коэффициент влияния  $i$ -го параметра агрегата при контроле  $j$ -м МНК:

$$k_{ij} = \frac{\partial p_i}{\partial p_{ij}} p_{ij}.$$

3. Рассчитывается относительная стоимость контроля  $i$ -го параметра агрегата  $j$ -м МНК:

$$\overline{C}_{ij} = \frac{C_{ij}}{\sum_{i=1}^m C_{ij}}.$$

4. Рассчитывается относительный коэффициент влияния  $i$ -го параметра агрегата при контроле  $j$ -м МНК:

$$\overline{k}_{ij} = \frac{k_{ij}}{C_{ij}}.$$

5. Для каждого контролируемого параметра агрегата находится средство НК с наименьшим относительным коэффициентом влияния, которое исключается из состава МНК, задействованных для контроля данного параметра (соответствующим показателям  $p_{ij}$  и  $C_{ij}$  в матрицах  $\|p_{ij}\|$  и  $\|C_{ij}\|$  присваиваются нулевые значения), и осуществляется пересчет значений  $p_i$  при новом составе МНК. При этом, если  $p_i > p_{i\text{тр}}$  ( $p_i > 0,9$ ), то представленная выше

итерация (пункты с 1 по 5) повторяется. Отметим, что в случае решения задачи оптимизации с условием «обязательного комплексирования», при выполнении данного пункта дополнительно проверяется соответствующее требование по количеству МНК для контроля каждого параметра агрегата ( $s_i \geq 2$ ). Поэтому, в случае, когда  $p_i > p_{\text{тр}}$ , но  $s_i = 2$ , для  $i$ -го контролируемого параметра агрегата оптимизация заканчивается.

6. Чтобы выполнить ограничение (3), поступают следующим образом: если после очередной итерации алгоритма значение  $p_i$  по какому-либо контролируемому параметру становится ниже  $p_{\text{тр}}$ , то в качестве решения по данному параметру оставляют набор МНК, полученный на предыдущей итерации.

### Симплекс-метод линейного целочисленного программирования

Для решения задач по оптимальному комплексированию начального набора средств и методов НК для оценивания ТС ТО СК РКК можно эффективно использовать симплекс-метод линейного целочисленного программирования, алгоритм которого ищет решение оптимизационной задачи (глобальный экстремум) путём перебора вершин выпуклого многогранника в многомерном пространстве, заданным системой  $n$  линейных равенств и неравенств. При этом строятся базисные решения, на которых монотонно убывает линейный функционал до ситуации, когда выполняются необходимые условия локальной оптимальности.

Для использования симплекс-метода целевую функцию  $W(C)$  представляют в виде линейного отображения в  $n$ -мерном пространстве как сумму произведений:

$$W(C) = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m C_{ij} g_{ij}. \text{ При этом управляемые параметры } g_{ij} \text{ будут принадлежать множеству,}$$

которое задается системой линейных неравенств.

Математическая модель задачи оптимального комплексирования начального набора МНК симплекс-методом с условием «обязательного комплексирования» ( $s_i \geq 2$ ) может быть представлена следующим образом:

$$W(C) = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m C_{ij} g_{ij} \rightarrow \min$$

при ограничениях

$$\left\{ \begin{array}{l} \forall i \in [1, m], \sum_{j=1}^n g_{ij} p_{ij} \geq p_{\text{тр}} + \min(p_{ij}), \quad p_{ij} \neq 0; \\ p_{\text{тр}} = \text{const} = 0,9; \\ g_{ij} \in \{0,1\}, \quad j \in [1, n], \quad i \in [1, m]. \end{array} \right.$$

При решении задачи оптимального комплексирования МНК симплекс-методом с условием «комплексирования по необходимости» ( $s_i \geq 1$ ) сначала необходимо преобразовать исходные матрицы  $\|p_{ij}\|$  и  $\|C_{ij}\|$  следующим образом: если  $i$ -й параметр агрегата контролируется каким-либо средством НК с вероятностью выявления дефекта не меньше 0,9 ( $p_{ij} \geq 0,9$ ), то другие средства, у которых  $p_{ij} < 0,9$  исключаются из состава МНК, задействованных для контроля данного параметра (соответствующим показателям  $p_{ij}$

и  $C_{ij}$  в матрицах  $\|p_{ij}\|$  и  $\|C_{ij}\|$  присваиваются нулевые значения). На рис. 7 приведен пример преобразования матрицы  $\|p_{ij}\|$ .

Начальная матрица вероятностей выявления дефектов							
Узлы и дефекты объекта контроля		МНК					$P_i$
Типовой элемент	Дефект	УЗК	ВИК	АЭ	ТВ	ВД	
Фундамент	Несплошности, трещины наружные	0,94	0,9	0	0	0	0,994
	Несплошности, трещины в объеме	0,94	0,9	0	0	0	0,994
Корпус НА	Хрупкое растрескивание	0,94	0,5	0,9	0	0	0,997
	Коррозия (внешняя)	0,5	0,9	0,9	0	0	0,995
	Межкристаллитная коррозия	0,5	0,5	0,9	0	0	0,975
Подшипники (4 шт.)	Износ	0	0	0,9	0,16	0,16	0,929
Вал (ротор)	Износ	0,94	0,2	0,9	0,16	0,16	0,997
	Износ	0,94	0,5	0,9	0,16	0,16	0,998
Муфта	Коррозия (внешняя)	0,5	0,9	0,9	0	0	0,995
	Межкристаллитная коррозия	0,5	0,5	0,9	0	0	0,975
	$P = 0,857$						

Преобразованная начальная матрица вероятностей выявления дефектов							
Узлы и дефекты объекта контроля		МНК					$P_i$
Типовой элемент	Дефект	УЗК	ВИК	АЭ	ТВ	ВД	
Фундамент	Несплошности, трещины наружные	0,94	0,9	0	0	0	0,994
	Несплошности, трещины в объеме	0,94	0,9	0	0	0	0,994
Корпус НА	Хрупкое растрескивание	0,94	0	0,9	0	0	0,994
	Коррозия (внешняя)	0	0,9	0,9	0	0	0,99
	Межкристаллитная коррозия	0	0	0,9	0	0	0,9
Подшипники (4 шт.)	Износ	0	0	0,9	0	0	0,9
Вал (ротор)	Износ	0,94	0	0,9	0	0	0,994
	Износ	0,94	0	0,9	0	0	0,994
Муфта	Коррозия (внешняя)	0	0,9	0,9	0	0	0,99
	Межкристаллитная коррозия	0	0	0,9	0	0	0,9
	$P = 0,693$						

Рис. 7. Пример преобразования матрицы  $\|p_{ij}\|$

Дальнейшая оптимизация преобразованного набора МНК с использованием симплекс-метода может быть проведена по следующей математической модели:

$$W(C) = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m C_{ij} g_{ij} \rightarrow \min$$

при ограничениях

$$\left\{ \begin{array}{l} \forall i \in [1, m], \sum_{j=1}^n g_{ij} p_{ij} \geq \begin{cases} p_{i\text{тр}}, & \text{if } \max(p_{ij}) \geq p_{i\text{тр}}, \\ p_{i\text{тр}} + \min(p_{ij}), & \text{if } \max(p_{ij}) < p_{i\text{тр}}, \end{cases} \quad p_{ij} \neq 0; \\ p_{i\text{тр}} = \text{const} = 0,9; \\ g_{ij} \in \{0,1\}, \quad j \in [1, n], \quad i \in [1, m]. \end{array} \right.$$

Алгоритм симплекс-метода (как и метода обобщенного понижающего градиента) реализован во многих программных продуктах, в том числе и в MS Excel, что делает его более доступным для использования.



На рис. 8, 9 показаны примеры решения задачи оптимального комплексования начального набора МНК симплекс-методом с условием «обязательного комплексования» ( $s_i \geq 2$ ) и с условием «комплексования по необходимости» ( $s_i \geq 1$ ) соответственно.

Оптимизация проводилась в среде MS Excel с применением надстройки «Solver» (поиск решения) по моделям, представленным выше. Для расчетов использовались данные из рис. 7.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	
1	Начальная матрица вероятностей																			=СУММПРОИЗВ(Н16:L25;A16:E25) ←		целевая функция	
2	УЭК	ВИК	АЭ	ТВ	ВД	$p_i$	ограничения																
3	0,94	0,9	0	0	0	0,994	=СУММПРОИЗВ(Н16:L16;A3:E3)						=0.9+МИН(A3:B3)										
4	0,94	0,9	0	0	0	0,994	=СУММПРОИЗВ(Н17:L17;A4:E4)						=0.9+МИН(A4:B4)										
5	0,94	0,5	0,9	0	0	0,997	=СУММПРОИЗВ(Н18:L18;A5:E5)						=0.9+МИН(A5:C5)										
6	0,5	0,9	0,9	0	0	0,995	=СУММПРОИЗВ(Н19:L19;A6:E6)						=0.9+МИН(A6:C6)										
7	0,5	0,5	0,9	0	0	0,975	=СУММПРОИЗВ(Н20:L20;A7:E7)						=0.9+МИН(A7:C7)										
8	0	0	0,9	0,16	0,16	0,929	=СУММПРОИЗВ(Н21:L21;A8:E8)						=0.9+МИН(C8:E8)										
9	0,94	0,2	0,9	0,16	0,16	0,997	=СУММПРОИЗВ(Н22:L22;A9:E9)						=0.9+МИН(A9:E9)										
10	0,94	0,5	0,9	0,16	0,16	0,998	=СУММПРОИЗВ(Н23:L23;A10:E10)						=0.9+МИН(A10:E10)										
11	0,5	0,9	0,9	0	0	0,995	=СУММПРОИЗВ(Н24:L24;A11:E11)						=0.9+МИН(A11:C11)										
12	0,5	0,5	0,9	0	0	0,975	=СУММПРОИЗВ(Н25:L25;A12:E12)						=0.9+МИН(A12:C12)										
13	$P = 0,857$																						
14	Начальная матрица стоимостей						Матрица решений						Оптимизированная матрица вероятностей										
15	УЭК	ВИК	АЭ	ТВ	ВД	$C_i$	УЭК	ВИК	АЭ	ТВ	ВД	кол-во МНК	УЭК	ВИК	АЭ	ТВ	ВД	$p_i$					
16	56	439	0	0	0	495	1	1	0	0	0	2	0,94	0,9	0	0	0	0,994					
17	56	439	0	0	0	495	1	1	0	0	0	2	0,94	0,9	0	0	0	0,994					
18	37,3	13,3	333,3	0	0	383,9	1	1	0	0	0	2	0,94	0,5	0	0	0	0,97					
19	37,3	13,3	333,3	0	0	383,9	1	1	0	0	0	2	0,5	0,9	0	0	0	0,95					
20	37,3	13,3	333,3	0	0	383,9	0	1	1	0	0	2	0	0,5	0,9	0	0	0,95					
21	0	0	1000	260	298,3	1558,3	0	0	1	1	0	2	0	0	0,9	0,16	0	0,916					
22	112	40	1000	260	298,3	1710,3	1	1	0	0	0	2	0,94	0,2	0	0	0	0,952					
23	37,3	13,3	333,3	260	298,3	942,2	1	1	0	0	0	2	0,94	0,5	0	0	0	0,97					
24	37,3	13,3	333,3	0	0	383,9	1	1	0	0	0	2	0,5	0,9	0	0	0	0,95					
25	37,3	13,3	333,3	0	0	383,9	0	1	1	0	0	2	0	0,5	0,9	0	0	0,95					
26	$C = 7120,3$												$P = 0,660$										

Оптимизировать целевую функцию: \$M\$S1

До:  Максимум  Минимум  Значения:

Изменяя ячейки переменных: \$M\$H16:\$M\$S25

В соответствии с ограничениями: \$M\$G\$3:\$M\$G\$12 >= \$M\$M\$3:\$M\$M\$12  
 \$M\$H16:\$M\$S25 <= 1  
 \$M\$H16:\$M\$S25 = целое  
 \$M\$H16:\$M\$S25 >= 0

Рис. 8. Пример решения задачи оптимального комплексования начального набора МНК симплекс-методом с условием «обязательного комплексования» ( $s_i \geq 2$ ) в среде MS Excel

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X
1	Преобразованная начальная матрица вероятностей																			=СУММПРОИЗВ(Н16:L25;A16:E25) ←		целевая функция		
2	УЭК	ВИК	АЭ	ТВ	ВД	$p_i$	ограничения																	
3	0,94	0,9	0	0	0	0,994	=СУММПРОИЗВ(Н16:L16;A3:E3)						=ЕС.ЛИ(МАКС(A3:E3)>=0.9;0.9;0.9+МИН(A3:B3))											
4	0,94	0,9	0	0	0	0,994	=СУММПРОИЗВ(Н17:L17;A4:E4)						=ЕС.ЛИ(МАКС(A4:E4)>=0.9;0.9;0.9+МИН(A4:B4))											
5	0,94	0	0,9	0	0	0,994	=СУММПРОИЗВ(Н18:L18;A5:E5)						=ЕС.ЛИ(МАКС(A5:E5)>=0.9;0.9;0.9+МИН(A5:C5))											
6	0	0,9	0,9	0	0	0,99	=СУММПРОИЗВ(Н19:L19;A6:E6)						=ЕС.ЛИ(МАКС(A6:E6)>=0.9;0.9;0.9+МИН(A6:C6))											
7	0	0	0,9	0	0	0,9	=СУММПРОИЗВ(Н20:L20;A7:E7)						=ЕС.ЛИ(МАКС(A7:E7)>=0.9;0.9;0.9+МИН(A7:C7))											
8	0	0	0,9	0	0	0,9	=СУММПРОИЗВ(Н21:L21;A8:E8)						=ЕС.ЛИ(МАКС(A8:E8)>=0.9;0.9;0.9+МИН(C8:E8))											
9	0,94	0	0,9	0	0	0,994	=СУММПРОИЗВ(Н22:L22;A9:E9)						=ЕС.ЛИ(МАКС(A9:E9)>=0.9;0.9;0.9+МИН(A9:E9))											
10	0,94	0	0,9	0	0	0,994	=СУММПРОИЗВ(Н23:L23;A10:E10)						=ЕС.ЛИ(МАКС(A10:E10)>=0.9;0.9;0.9+МИН(A10:E10))											
11	0	0,9	0,9	0	0	0,99	=СУММПРОИЗВ(Н24:L24;A11:E11)						=ЕС.ЛИ(МАКС(A11:E11)>=0.9;0.9;0.9+МИН(A11:C11))											
12	0	0	0,9	0	0	0,9	=СУММПРОИЗВ(Н25:L25;A12:E12)						=ЕС.ЛИ(МАКС(A12:E12)>=0.9;0.9;0.9+МИН(A12:C12))											
13	$P = 0,693$																							
14	Преобразованная начальная матрица стоимостей						Матрица решений						Оптимизированная матрица вероятностей											
15	УЭК	ВИК	АЭ	ТВ	ВД	$C_i$	УЭК	ВИК	АЭ	ТВ	ВД	кол-во МНК	УЭК	ВИК	АЭ	ТВ	ВД	$p_i$						
16	56	439	0	0	0	495	1	0	0	0	0	1	0,94	0	0	0	0	0,94						
17	56	439	0	0	0	495	1	0	0	0	0	1	0,94	0	0	0	0	0,94						
18	37,3	0	333,3	0	0	370,6	1	0	0	0	0	1	0,94	0	0	0	0	0,94						
19	0	13,3	333,3	0	0	346,6	0	1	0	0	0	1	0	0,9	0	0	0	0,9						
20	0	0	333,3	0	0	333,3	0	0	1	0	0	1	0	0	0,9	0	0	0,9						
21	0	0	1000	0	0	1000	0	0	1	0	0	1	0	0	0,9	0	0	0,9						
22	112	0	1000	0	0	1112	1	0	0	0	0	1	0,94	0	0	0	0	0,94						
23	37,3	0	333,3	0	0	370,6	1	0	0	0	0	1	0,94	0	0	0	0	0,94						
24	0	13,3	333,3	0	0	346,6	0	1	0	0	0	1	0	0,9	0	0	0	0,9						
25	0	0	333,3	0	0	333,3	0	0	1	0	0	1	0	0	0,9	0	0	0,9						
26	$C = 5203,0$												$P = 0,433$											

Рис. 9. Пример решения задачи оптимального комплексования начального набора МНК симплекс-методом с условием «комплексования по необходимости» ( $s_i \geq 1$ ) в среде MS Excel

### Метод ОПГ

Метод ОПГ позволяет искать локальные экстремумы для нелинейных функций. Поэтому математическая модель задачи оптимального комплексования начального набора МНК методом ОПГ в формализованном виде может быть записана следующим образом:

– с условием «обязательного комплексования» ( $s_i \geq 2$ ):

$$W(C) = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m C_{ij} g_{ij} \rightarrow \min$$

при ограничениях

$$\left\{ \begin{array}{l} \forall i \in [1, m], p_i = 1 - \prod_{j=1}^n (1 - p_{ij} g_{ij}) \geq p_{\text{итр}}, \quad p_{\text{итр}} = \text{const} = 0,9; \\ \forall i \in [1, m], \sum_j p_{ij} g_{ij} \geq 1; \\ g_{ij} \in \{0, 1\}, \quad j \in [1, n], \quad i \in [1, m]. \end{array} \right.$$

– с условием «комплексования по необходимости» ( $s_i \geq 1$ ):

$$W(C) = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m C_{ij} g_{ij} \rightarrow \min$$

при ограничениях

$$\left\{ \begin{array}{l} \forall i \in [1, m], p_i = 1 - \prod_{j=1}^n (1 - p_{ij} g_{ij}) \geq p_{\text{итр}}, \quad p_{\text{итр}} = \text{const} = 0,9; \\ \forall i \in [1, m], \sum_j p_{ij} g_{ij} > 0; \\ g_{ij} \in \{0, 1\}, \quad j \in [1, n], \quad i \in [1, m]. \end{array} \right.$$

На рис. 10, 11 показаны примеры оптимизации начального набора МНК методом ОПГ в среде MS Excel с условием «обязательного комплексования» ( $s_i \geq 2$ ) и с условием комплексования по необходимости» ( $s_i \geq 1$ ) соответственно.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z			
1	Начальная матрица вероятностей													=СУММПРОИЗВ(Н16:L25;A16:E25) ←										целевая функция					
2	УЗК	ВИК	АЭ	ТВ	ВД	$P_i$	ограничение																						
3	0,94	0,9	0	0	0	0,994	=1-(1-A3*H16)*(1-B3*H16)*(1-C3*H16)*(1-D3*H16)*(1-E3*H16)																						
4	0,94	0,9	0	0	0	0,994	=1-(1-A4*H17)*(1-B4*H17)*(1-C4*H17)*(1-D4*H17)*(1-E4*H17)																						
5	0,94	0,5	0,9	0	0	0,997	=1-(1-A5*H18)*(1-B5*H18)*(1-C5*H18)*(1-D5*H18)*(1-E5*H18)																						
6	0,5	0,9	0,9	0	0	0,995	=1-(1-A6*H19)*(1-B6*H19)*(1-C6*H19)*(1-D6*H19)*(1-E6*H19)																						
7	0,5	0,5	0,9	0	0	0,975	=1-(1-A7*H20)*(1-B7*H20)*(1-C7*H20)*(1-D7*H20)*(1-E7*H20)																						
8	0	0	0,9	0,16	0,16	0,929	=1-(1-A8*H21)*(1-B8*H21)*(1-C8*H21)*(1-D8*H21)*(1-E8*H21)																						
9	0,94	0,2	0,9	0,16	0,16	0,997	=1-(1-A9*H22)*(1-B9*H22)*(1-C9*H22)*(1-D9*H22)*(1-E9*H22)																						
10	0,94	0,5	0,9	0,16	0,16	0,998	=1-(1-A10*H23)*(1-B10*H23)*(1-C10*H23)*(1-D10*H23)*(1-E10*H23)																						
11	0,5	0,9	0,9	0	0	0,995	=1-(1-A11*H24)*(1-B11*H24)*(1-C11*H24)*(1-D11*H24)*(1-E11*H24)																						
12	0,5	0,5	0,9	0	0	0,975	=1-(1-A12*H25)*(1-B12*H25)*(1-C12*H25)*(1-D12*H25)*(1-E12*H25)																						
13	$P = 0,857$																												
14	Начальная матрица стоимостей						Матрица решений						Оптимизированная матрица вероятностей																
15	УЗК	ВИК	АЭ	ТВ	ВД	$C_i$	УЗК	ВИК	АЭ	ТВ	ВД	кол-во МНК	ограничение										УЗК	ВИК	АЭ	ТВ	ВД	$P_i$	
16	56	439	0	0	0	495	1	1	0	0	0	2	=СУММПРОИЗВ(Н16:L16;A3:E3)										0,94	0,9	0	0	0	0,994	
17	56	439	0	0	0	495	1	1	0	0	0	2	=СУММПРОИЗВ(Н17:L17;A4:E4)										0,94	0,9	0	0	0	0,994	
18	37,3	13,3	333,3	0	0	383,9	1	1	0	0	0	2	=СУММПРОИЗВ(Н18:L18;A5:E5)										0,94	0,5	0	0	0	0,97	
19	37,3	13,3	333,3	0	0	383,9	1	1	0	0	0	2	=СУММПРОИЗВ(Н19:L19;A6:E6)										0,5	0,9	0	0	0	0,95	
20	37,3	13,3	333,3	0	0	383,9	0	1	1	0	0	2	=СУММПРОИЗВ(Н20:L20;A7:E7)										0	0,5	0,9	0	0	0,95	
21	0	0	1000	260	298,3	1558,3	0	0	1	0	1	2	=СУММПРОИЗВ(Н21:L21;A8:E8)										0	0	0,9	0	0,16	0,916	
22	112	40	1000	260	298,3	1710,3	1	1	0	0	0	2	=СУММПРОИЗВ(Н22:L22;A9:E9)										0,94	0,2	0	0	0	0,952	
23	37,3	13,3	333,3	260	298,3	942,2	1	1	0	0	0	2	=СУММПРОИЗВ(Н23:L23;A10:E10)										0,94	0,5	0	0	0	0,97	
24	37,3	13,3	333,3	0	0	383,9	1	1	0	0	0	2	=СУММПРОИЗВ(Н24:L24;A11:E11)										0,5	0,9	0	0	0	0,95	
25	37,3	13,3	333,3	0	0	383,9	0	1	1	0	0	2	=СУММПРОИЗВ(Н25:L25;A12:E12)										0	0,5	0,9	0	0	0,95	
26	$C = 7120,3$																							$P = 0,660$					

Рис. 10. Пример решения задачи оптимального комплексования начального набора МНК методом ОПГ с условием «обязательного комплексования» ( $s_i \geq 2$ ) в среде MS Excel

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A		
1	Начальная матрица вероятностей													=СУММПРОИЗВ(Н16:L25;A16:E25) ←										целевая функция					
2	УЗК	ВИК	АЭ	ТВ	ВД	$P_i$	ограничение																						
3	0,94	0,9	0	0	0	0,994	=1-(1-A3*H16)*(1-B3*H16)*(1-C3*H16)*(1-D3*H16)*(1-E3*H16)																						
4	0,94	0,9	0	0	0	0,994	=1-(1-A4*H17)*(1-B4*H17)*(1-C4*H17)*(1-D4*H17)*(1-E4*H17)																						
5	0,94	0,5	0,9	0	0	0,997	=1-(1-A5*H18)*(1-B5*H18)*(1-C5*H18)*(1-D5*H18)*(1-E5*H18)																						
6	0,5	0,9	0,9	0	0	0,995	=1-(1-A6*H19)*(1-B6*H19)*(1-C6*H19)*(1-D6*H19)*(1-E6*H19)																						
7	0,5	0,5	0,9	0	0	0,975	=1-(1-A7*H20)*(1-B7*H20)*(1-C7*H20)*(1-D7*H20)*(1-E7*H20)																						
8	0	0	0,9	0,16	0,16	0,929	=1-(1-A8*H21)*(1-B8*H21)*(1-C8*H21)*(1-D8*H21)*(1-E8*H21)																						
9	0,94	0,2	0,9	0,16	0,16	0,997	=1-(1-A9*H22)*(1-B9*H22)*(1-C9*H22)*(1-D9*H22)*(1-E9*H22)																						
10	0,94	0,5	0,9	0,16	0,16	0,998	=1-(1-A10*H23)*(1-B10*H23)*(1-C10*H23)*(1-D10*H23)*(1-E10*H23)																						
11	0,5	0,9	0,9	0	0	0,995	=1-(1-A11*H24)*(1-B11*H24)*(1-C11*H24)*(1-D11*H24)*(1-E11*H24)																						
12	0,5	0,5	0,9	0	0	0,975	=1-(1-A12*H25)*(1-B12*H25)*(1-C12*H25)*(1-D12*H25)*(1-E12*H25)																						
13	$P = 0,857$																												
14	Начальная матрица стоимостей						Матрица решений						Оптимизированная матрица вероятностей																
15	УЗК	ВИК	АЭ	ТВ	ВД	$C_i$	УЗК	ВИК	АЭ	ТВ	ВД	кол-во МНК	ограничение										УЗК	ВИК	АЭ	ТВ	ВД	$P_i$	
16	56	439	0	0	0	495	1	0	0	0	0	1	=СУММПРОИЗВ(Н16:L16;A3:E3)										0,94	0	0	0	0	0,94	
17	56	439	0	0	0	495	1	0	0	0	0	1	=СУММПРОИЗВ(Н17:L17;A4:E4)										0,94	0	0	0	0	0,94	
18	37,3	13,3	333,3	0	0	383,9	1	0	0	0	0	1	=СУММПРОИЗВ(Н18:L18;A5:E5)										0,94	0	0	0	0	0,94	
19	37,3	13,3	333,3	0	0	383,9	0	1	0	0	0	1	=СУММПРОИЗВ(Н19:L19;A6:E6)										0	0,9	0	0	0	0,9	
20	37,3	13,3	333,3	0	0	383,9	1	1	1	0	0	3	=СУММПРОИЗВ(Н20:L20;A7:E7)										0,5	0,5	0,9	0	0	0,975	
21	0	0	1000	260	298,3	1558,3	0	0	1	0	0	1	=СУММПРОИЗВ(Н21:L21;A8:E8)										0	0	0,9	0	0	0,9	
22	112	40	1000	260	298,3	1710,3	1	0	0	0	0	1	=СУММПРОИЗВ(Н22:L22;A9:E9)										0,94	0	0	0	0	0,94	
23	37,3	13,3	333,3	260	298,3	942,2	1	0	0	0	0	1	=СУММПРОИЗВ(Н23:L23;A10:E10)										0,94	0	0	0	0	0,94	
24	37,3	13,3	333,3	0	0	383,9	0	1	0	0	0	1	=СУММПРОИЗВ(Н24:L24;A11:E11)										0	0,9	0	0	0	0,9	
25	37,3	13,3	333,3	0	0	383,9	1	1	1	0	0	3	=СУММПРОИЗВ(Н25:L25;A12:E12)										0,5	0,5	0,9	0	0	0,975	
26	$C = 7120,3$																							$P = 0,508$					

Рис. 11. Пример решения задачи оптимального комплексования начального набора МНК методом ОПГ с условием «комплексования по необходимости» ( $s_i \geq 1$ ) в среде MS Excel

### Сравнительный анализ методов оптимизации

Проведем оптимизацию начального набора МНК (рис. 7) методом дискретного программирования, симплекс-методом, методом ОПГ и сравним полученные результаты.

На рис. 12 представлены результаты оптимизации начального набора МНК с условием «обязательного комплексования» ( $s_i \geq 2$ ).

Начальная матрица вероятностей						
УЗК	ВИК	АЭ	ТВ	ВД	$P_i$	
0,94	0,9	0	0	0	0,994	
0,94	0,9	0	0	0	0,994	
0,94	0,5	0,9	0	0	0,997	
0,5	0,9	0,9	0	0	0,995	
0,5	0,5	0,9	0	0	0,975	
0	0	0,9	0,16	0,16	0,929	
0,94	0,2	0,9	0,16	0,16	0,997	
0,94	0,5	0,9	0,16	0,16	0,998	
0,5	0,9	0,9	0	0	0,995	
0,5	0,5	0,9	0	0	0,975	
$P = 0,857$					$C = 7120,3$ руб.	

Дискр. программирование						Симплекс-метод						ОПГ								
Матрица решений					кол-во МНК	Матрица решений					кол-во МНК	Матрица решений					кол-во МНК			
1	1	0	0	0	2	1	1	0	0	0	2	1	1	0	0	0	2			
1	1	0	0	0	2	1	1	0	0	0	2	1	1	0	0	0	2			
1	1	0	0	0	2	1	1	0	0	0	2	1	1	0	0	0	2			
0	1	1	0	0	2	1	1	0	0	0	2	1	1	0	0	0	2			
0	1	1	0	0	2	0	1	1	0	0	2	0	1	1	0	0	2			
0	0	1	1	0	2	0	0	1	1	0	2	0	0	1	1	0	2			
1	0	1	0	0	2	1	1	0	0	0	2	1	1	0	0	0	2			
1	1	0	0	0	2	1	1	0	0	0	2	1	1	0	0	0	2			
0	1	1	0	0	2	1	1	0	0	0	2	1	1	0	0	0	2			
0	1	1	0	0	2	0	1	1	0	0	2	0	1	1	0	0	2			
Оптимизированная матрица вероятностей						Оптимизированная матрица вероятностей						Оптимизированная матрица вероятностей								
УЗК	ВИК	АЭ	ТВ	ВД	$P_i$	УЗК	ВИК	АЭ	ТВ	ВД	$P_i$	УЗК	ВИК	АЭ	ТВ	ВД	$P_i$			
0,94	0,9	0	0	0	0,994	0,94	0,9	0	0	0	0,994	0,94	0,9	0	0	0	0,994			
0,94	0,9	0	0	0	0,994	0,94	0,9	0	0	0	0,994	0,94	0,9	0	0	0	0,994			
0,94	0,5	0	0	0	0,97	0,94	0,5	0	0	0	0,97	0,94	0,5	0	0	0	0,97			
0	0,9	0,9	0	0	0,99	0,5	0,9	0	0	0	0,95	0,5	0,9	0	0	0	0,95			
0	0,5	0,9	0	0	0,95	0	0,5	0,9	0	0	0,95	0	0,5	0,9	0	0	0,95			
0	0	0,9	0,16	0	0,916	0	0	0,9	0,16	0	0,916	0	0	0,9	0	0,16	0,916			
0,94	0	0,9	0	0	0,994	0,94	0,2	0	0	0	0,952	0,94	0,2	0	0	0	0,952			
0,94	0,5	0	0	0	0,97	0,94	0,5	0	0	0	0,97	0,94	0,5	0	0	0	0,97			
0	0,9	0,9	0	0	0,99	0,5	0,9	0	0	0	0,95	0,5	0,9	0	0	0	0,95			
0	0,5	0,9	0	0	0,95	0	0,5	0,9	0	0	0,95	0	0,5	0,9	0	0	0,95			
$P = 0,749$					$C = 4849,6$ руб.		$P = 0,660$					$C = 3297,6$ руб.		$P = 0,660$					$C = 3297,6$ руб.	

Рис. 12. Результаты оптимизации начального набора МНК с условием  $s_i \geq 2$

Из рис. 12 видно, что абсолютный оптимум для начального набора МНК был найден посредством алгоритма симплекс-метода и алгоритма метода ОПГ.

Худший результат оптимизации в данном случае показал алгоритм метода дискретного программирования, но требуемые ограничения соблюдены (как и в двух других оптимизационных моделях).

Отметим, что для корректной оптимизации методом ОПГ необходимо задать исходные условия (точки) выполнения его алгоритма. Для этого следует заполнить матрицу решений нулями и единицами в соответствии с начальным планом использования МНК. Недостатком метода ОПГ является значительное время выполнения его алгоритма, особенно в случае применения его для оптимизации набора МНК при планировании диагностических мероприятий крупных объектов наземной космической инфраструктуры с большим количеством типовых элементов, подлежащих контролю. Кроме того, при выполнении оптимизации методом ОПГ существует вероятность пропуска глобального оптимума (так называемое «застывание» в локальном экстремуме).

Результаты оптимизации начального набора МНК с условием «комплексирования по необходимости» ( $s_i \geq 1$ ) представлены на рис. 13.

В данном случае, как и в первом, абсолютный оптимум для начального набора МНК был найден посредством алгоритмов симплекс-метода и ОПГ. Результаты оптимизации, полученные с использованием алгоритма метода дискретного программирования, сравнимы с результатами, полученными при выполнении двух других алгоритмов: значения стоимостей проведения диагностических мероприятий по полученным итоговым планам использования МНК различаются не сильно (на 26 руб.). Однако глобального минимума при оптимизации методом дискретного программирования достигнуть не удалось. Закрашенные ячейки в матрице решений для данного метода указывают на избыток МНК, привлеченных для контроля соответствующих параметров.

Начальная матрица вероятностей																
УЗК	ВИК	АЭ	ТВ	ВД	$P_i$											
0,94	0,9	0	0	0	0,994											
0,94	0,9	0	0	0	0,994											
0,94	0,5	0,9	0	0	0,997											
0,5	0,9	0,9	0	0	0,995											
0,5	0,5	0,9	0	0	0,975											
0	0	0,9	0,16	0,16	0,929											
0,94	0,2	0,9	0,16	0,16	0,997											
0,94	0,5	0,9	0,16	0,16	0,998											
0,5	0,9	0,9	0	0	0,995											
0,5	0,5	0,9	0	0	0,975											
$P = 0,857$					$C = 7120,3$ руб.											

Дискр. программирование						Симплекс-метод						ОПГ					
Матрица решений					кол-во МНК	Матрица решений					кол-во МНК	Матрица решений					кол-во МНК
1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1
1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1
1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1
0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1
0	1	1	0	0	2	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1
0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1
1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1
1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1
0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1
0	1	1	0	0	2	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1

Оптимизированная матрица вероятностей						Оптимизированная матрица вероятностей						Оптимизированная матрица вероятностей																			
УЗК	ВИК	АЭ	ТВ	ВД	$P_i$	УЗК	ВИК	АЭ	ТВ	ВД	$P_i$	УЗК	ВИК	АЭ	ТВ	ВД	$P_i$														
0,94	0	0	0	0	0,94	0,94	0	0	0	0	0,94	0,94	0	0	0	0	0,94														
0,94	0	0	0	0	0,94	0,94	0	0	0	0	0,94	0,94	0	0	0	0	0,94														
0,94	0	0	0	0	0,94	0,94	0	0	0	0	0,94	0,94	0	0	0	0	0,94														
0	0,9	0	0	0	0,9	0	0,9	0	0	0	0,9	0	0,9	0	0	0	0,9														
0	0,5	0,9	0	0	0,95	0	0	0,9	0	0	0,9	0	0	0,9	0	0	0,9														
0	0	0,9	0	0	0,9	0	0	0,9	0	0	0,9	0	0	0,9	0	0	0,9														
0,94	0	0	0	0	0,94	0,94	0	0	0	0	0,94	0,94	0	0	0	0	0,94														
0,94	0	0	0	0	0,94	0,94	0	0	0	0	0,94	0,94	0	0	0	0	0,94														
0	0,9	0	0	0	0,9	0	0,9	0	0	0	0,9	0	0,9	0	0	0	0,9														
0	0,5	0,9	0	0	0,95	0	0	0,9	0	0	0,9	0	0	0,9	0	0	0,9														
$P = 0,483$					$C = 2018,4$ руб.											$P = 0,433$					$C = 1991,8$ руб.										

Рис. 13. Результаты оптимизации начального набора МНК с условием  $s_i \geq 1$

В целом все три метода оптимизации достаточно эффективны для решения задач по оптимальному комплексированию МНК и могут успешно применяться при формировании итогового плана проведения мероприятий по контролю ТС ТО СК РКК.

### Заключение

В работе показаны принципиальные подходы к процессу формирования начального состава (набора) средств и методов НК для проведения диагностических мероприятий на ТО СК РКК с определением вероятностных и стоимостных характеристик, планируемых к использованию МНК.

На основе оптимизационных алгоритмов методов дискретного программирования, симплекс-метода линейного целочисленного программирования и метода ОПГ разработаны математические модели для решения задач по формированию оптимальных наборов средств и методов НК в соответствии с заданной целевой функцией  $W(C)$  (при выполнении требований по достоверности контроля текущего ТС ТО СК).

Предложенные в работе способы оптимального комплексирования МНК применимы, практически, для любых агрегатов из состава ТО СК и позволяют обеспечить разумный баланс между требуемой (достаточной) вероятностью достоверного контроля их ТС и стоимостью проведения соответствующих работ, что особенно важно для оценивания фактического остаточного показателя ресурса ТО СК РКК и, как следствие, повышения его безопасной эксплуатации: снижения рисков возникновения опасных последствий при эксплуатации сложных технических комплексов наземной космической инфраструктуры [9, 10].

### Литература

1. Крайний В.И. Разработка метода комплексирования информации многопараметрового неразрушающего контроля для обнаружения внутренних дефектов сложных конструкций // Научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана электронный научно-технический журнал «Наука и образование». 2018. № 10. С. 253–268. doi: 10.7463/1013.0615195.
2. Kot P., Muradov M., Gkantou M., Kamaris GS., Hashim K., Yeboah D. Recent Advancements in Non-Destructive Testing Techniques for Structural Health Monitoring // Applied Sciences. 2021. 11(6): 2750. <https://doi.org/10.3390/app11062750>.
3. Rens K.L., Wipf T.J., Klaiber F.W. Review of nondestructive evaluation techniques of civil infrastructure. J. Perform. Constr. Facil. 1997. 11. P. 152–160.
4. Иванов В.И., Коновалов Н.Н., Дергачев А.Н. Использование вероятностных методов для оценки эффективности неразрушающего контроля // Интернет-журнал «Технологии техносферной безопасности». 2014. Вып. № 6 (58).
5. Алгоритм оптимизации комплекса средств инструментального контроля для диагностики объектов наземной космической инфраструктуры / В.В. Букрин [и др.] // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. 2012. № 1 (21). С. 72–81.
6. Обоснование оптимального набора методов неразрушающего контроля для получения требуемой информации о техническом состоянии объектов / Н.Д. Аникейчик [и др.] // Труды научно-технического семинара. Неразрушающий контроль объектов наземной космической инфраструктуры. СПб.: Изд-во ВИКА им. А.Ф. Можайского, 2004. С. 79–85.
7. Чертищев В.Ю. Оценка вероятности обнаружения дефектов акустическими методами в зависимости от их размера в конструкциях из ПКМ для выходных данных контроля в виде бинарных величин // Авиационные материалы и технологии. 2018. № 3 (52). С. 65–79. DOI: 10.18577/2307-6046-2018-0-3-65-79.

8. Generazio E.R. Validating design of experiments for determining probability of detection capability for fracture critical applications // *Materials Evaluation*. 2011. Vol. 69. No 12. Pp. 1399–1407.

9. Астанков А.М., Спесивцев А.В., Вагин А.В. Снижение рисков возникновения опасных последствий при эксплуатации насосных агрегатов заправочного оборудования ракетно-космических комплексов // *Проблемы управления рисками в техносфере*. 2016. № 1 (37). С. 6–14.

10. Скориков Д.В., Спесивцев А.В., Вагин А.В. Исследование влияния метрологических характеристик средств измерения на оценку риска эксплуатации сложных технических комплексов // *Проблемы управления рисками в техносфере*. 2010. № 4 (16). С. 48–53.

### References

1. Krajniji V.I. Razrabotka metoda kompleksirovaniya informacii mnogoparametrovogo nerazrushayushchego kontrolya dlya obnaruzheniya vnutrennih defektov slozhnyh konstrukcij // *Nauchnoe izdanie MGTU im. N.E. Baumana elektronnyj nauchno-tehnicheskij zhurnal «Nauka i obrazovanie»*. 2018. № 10. S. 253–268. doi: 10.7463/1013.0615195.

2. Kot P., Muradov M., Gkantou M., Kamaris GS., Hashim K., Yeboah D. Recent Advancements in Non-Destructive Testing Techniques for Structural Health Monitoring // *Applied Sciences*. 2021. 11(6): 2750. <https://doi.org/10.3390/app11062750>.

3. Rens K.L., Wipf T.J., Klaiber F.W. Review of nondestructive evaluation techniques of civil infrastructure. *J. Perform. Constr. Facil.* 1997. 11. R. 152–160.

4. Ivanov V.I., Konovalov N.N., Dergachev A.N. Ispol'zovanie veroyatnostnyh metodov dlya ochenki effektivnosti nerazrushayushchego kontrolya // *Internet-zhurnal «Tekhnologii tekhnosfernoj bezopasnosti»*. 2014. Vyp. № 6 (58).

5. Algoritm optimizacii kompleksa sredstv instrumental'nogo kontrolya dlya diagnostiki ob"ektov nazemnoj kosmicheskoy infrastruktury / V.V. Bukrin [i dr.] // *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Povolzhskij region. Tekhnicheskie nauki*. 2012. № 1 (21). S. 72–81.

6. Obosnovanie optimal'nogo nabora metodov nerazrushayushchego kontrolya dlya polucheniya trebuemoj informacii o tekhnicheskoy sostoyanii ob"ektov / N.D. Anikejchik [i dr.] // *Trudy nauchno-tehnicheskogo seminar. Nerazrushayushchij kontrol' ob"ektov nazemnoj kosmicheskoy infrastruktury*. SPb.: Izd-vo VIKА im. A.F. Mozhajskogo, 2004. S. 79–85.

7. Chertishchev V.Yu. Ocenka veroyatnosti obnaruzheniya defektov akusticheskimi metodami v zavisimosti ot ih razmera v konstrukciyah iz PKM dlya vyhodnyh dannyh kontrolya v vide binarnykh velichin // *Aviacionnye materialy i tekhnologii*. 2018. № 3 (52). S. 65–79. DOI: 10.18577/2307-6046-2018-0-3-65-79.

8. Generazio E.R. Validating design of experiments for determining probability of detection capability for fracture critical applications // *Materials Evaluation*. 2011. Vol. 69. No 12. Pp. 1399–1407.

9. Astankov A.M., Spesivcev A.V., Vagin A.V. Snizhenie riskov vzniknoveniya opasnykh posledstvij pri ekspluatcii nasosnyh agregatov zapravochnogo oborudovaniya raketno-kosmicheskikh kompleksov // *Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere*. 2016. № 1 (37). S. 6–14.

10. Skorikov D.V., Spesivcev A.V., Vagin A.V. Issledovanie vliyaniya metrologicheskikh harakteristik sredstv izmereniya na ocenku riska ekspluatcii slozhnyh tekhnicheskikh kompleksov // *Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere*. 2010. № 4 (16). S. 48–53.

УДК 621.396.67

## СИНТЕЗ НИЗКОПРОФИЛЬНЫХ АНТЕНН МЕТОДОМ ФРАКТАЛЬНОГО АНАЛИЗА

**С.В. Дворников, доктор технических наук.**

**Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного;  
Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения.**

**В.И. Власенко, кандидат технических наук;**

**А.А. Русин, кандидат технических наук.**

**Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного**

Представлены результаты синтеза низкопрофильных антенн на основе учета самоподобия их элементов. Рассмотрены основные недостатки низкопрофильных антенн и перспективные пути их преодоления. Приведены результаты расчета их характеристик в среде моделирования MMANA-GAL и CST Microwave Studio. Исследованы возможности фрактальных типов низкопрофильных антенн. Определены перспективы их применения.

*Ключевые слова:* низкопрофильные антенны, фрактальные антенны, синфазные антенные системы

## SYNTHESIS OF LOW-PROFILE ANTENNAS USING FRACTAL ANALYSIS

S.V. Dvornikov. Military academy of communications of Marshal of the Soviet Union

S.M. Budyonny; Saint Petersburg state university of aerospace instrumentation.

V.I. Vlasenko; A.A. Rusin.

Military academy of communications of Marshal of the Soviet Union S.M. Budyonny

The results of the synthesis of low-profile antennas based on taking into account the very similarity of their elements are presented. The main disadvantages of low-profile antennas and promising ways to overcome them are considered. The results of calculating their characteristics in the MMANA-GAL and CST Microwave Studio modeling environment are presented. Possibilities of fractal types of low-profile antennas are investigated. The prospects for their application have been determined.

*Keywords:* low-profile antennas, fractal antennas, in-phase antenna systems

### Введение

Методы теории фракталов, разработанные Мандельбротом [1], находят самое широкое применение в различных практических приложениях радиотехники. В основе фрактального анализа лежат свойства самоподобия фракталов как простейших элементов, комбинации которых позволяют синтезировать сложные конструкции с прогнозируемыми желательными свойствами [2, 3]. Строгая иерархия, определяемая фракталами, открывает особенно широкие возможности при построении и разработке излучающих устройств на основе антенных решеток [4].

В частности, анализ работ [5–7] показал, что методы фрактального анализа позволяют получать антенные решетки, обладающие не только гармоничной структурой, но и с необходимой формой диаграмм направленности. Фрактальная геометрия, представленная в работе [8], показывает, что наиболее просто методы фрактального анализа реализуются в линейных антеннах, состоящих из совокупности самоподобных элементов.



В частности, в работе [9] обосновано, что такой подход обеспечивает высокое постоянство параметров излучающей системы в очень широком частотном диапазоне. При этом он позволяет уйти от непосредственного синтеза сигналов [10] к синтезу устройств, что особенно важно для мобильных систем [11].

В настоящее время фрактальный подход успешно используется при разработке логопериодических, биконических и различных спиральных антенн [12]. При этом следует понимать, что такой синтез ведет к увеличению размеров антенных систем, при том, что получаемые таким образом антенны не обладают высокой частотной селекцией, поскольку у них реализован принцип самодополнения. А переход к конечной структуре антенны приводит к ограничению ее диапазонных свойств.

Очевидно, что методы синтеза антенн на основе фрактальных элементов требуют детального теоретического осмысления с последующим проведением практических экспериментов, направленных на поиск оптимальных структур.

Учитывая указанные обстоятельства, в настоящей статье представлены результаты исследований, связанных с синтезом низкопрофильных антенных систем на основе фрактальных элементов.

### Особенности низкопрофильных антенн

Низкопрофильные антенные системы известны достаточно давно и активно применяются как в системах связи, так и радиотехнических системах [13]. Практический аспект их развития связан с необходимостью миниатюризации размеров радиотехнических систем. Как правило, такие антенны изготавливают на основе различных металлических или диэлектрических излучателей, которые располагают на относительно небольшой высоте  $h < 0,1\lambda$  над металлическим экраном.

Основным достоинством низкопрофильных антенн являются их небольшие габариты и относительно малый вес. Это обеспечивает удобство размещения таких антенн на подвижных радиотехнических объектах или в местах с ограниченными геометрическими размерами.

К другим несомненным положительным моментам низкопрофильных антенн следует отнести простоту их изготовления и достаточно низкую стоимость, обеспечиваемых применением интегральных технологий изготовления печатных плат, совмещенных с излучателем [14].

В настоящее время актуальность миниатюризации антенн определяется активным развитием беспроводных систем связи [15]. Действительно, если на базе интегральных схем возможен синтез антенных решеток сравнительно небольшого объема, массы и главное малой высоты, то почему бы их и не использовать.

В общем случае форма излучателя низкопрофильной антенной решетки необязательно может быть линейной (в виде вибратора). Как правило, в плоскостной (пластинчатой), щелевой, спиральной структурах используют антенные элементы с самыми различными геометрическими формами.

Вместе с тем низкопрофильным антеннам присущи и определенные недостатки. К основным из которых следует отнести:

- узкая полоса рабочих частот;
- низкая эффективность (малый КПД);
- побочные излучения ее элементов и высокий уровень кроссполяризации.

В работах [16, 17] обосновано, что один из путей получения эффективных малогабаритных антенн связан с использованием при их разработке методов фрактальной геометрии. Следовательно, целесообразно рассмотреть возможность применения простых фракционных элементов с целью устранения некоторых недостатков низкопрофильных антенных решеток.

### Фрактальный синтез низкопрофильных антенн

В качестве примера рассмотрим синфазную антенную систему, состоящую из двух полуволновых вибраторов ( $l/\lambda=0,25$ ), на рабочей частоте  $f=750$  МГц. Будем полагать, что вибраторы расположены над рефлектором на высоте  $h=5$  см.

Далее исследуем характеристику такой системы при различном расположении вибраторов. В частности, при использовании однопроводных вибраторов, V-образных вибраторов, а также вибраторов, собранных на основе фрактальных элементов.

Модели антенных систем для V-образных вибраторов, а также вибраторов, собранных на основе фрактальных элементов, показаны на рис. 1. Слева представлена система на основе V-образных вибраторов, а справа – вибраторов, на основе фрактальных элементов.

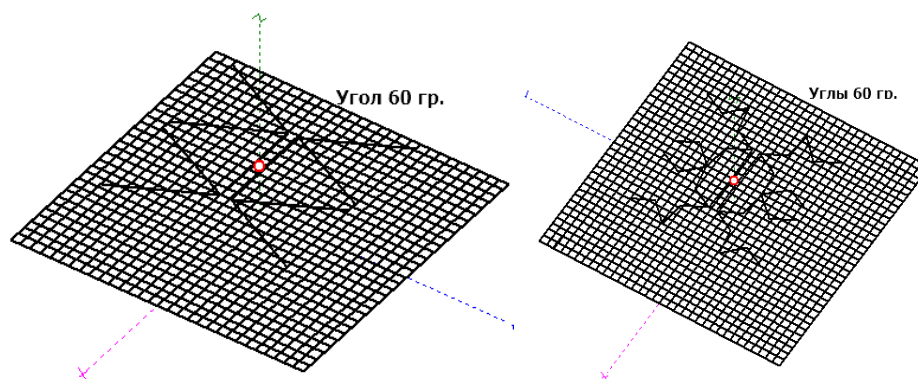
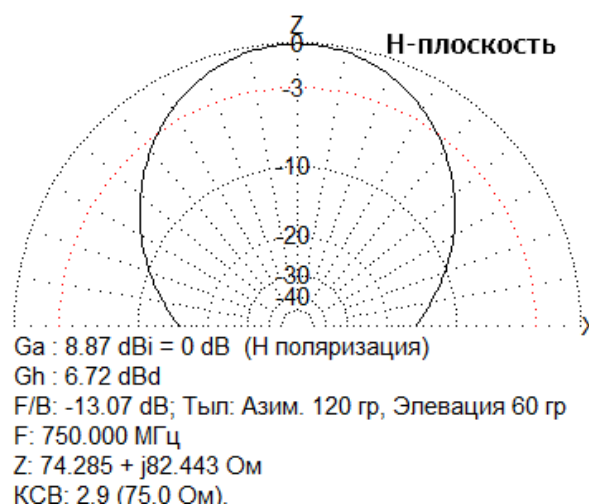


Рис. 1. Структуры элементов антенных решеток

Для получения и последующей оценки количественных параметров рассмотренных антенных систем была использована компьютерная программа MMANA-GAL.

Так, на рис. 2–4 показаны рассчитанные диаграммы направленности (ДН) рассматриваемых антенных систем на частотах 750 МГц, 1800 МГц и 2100 МГц. На указанных рисунках ДН приведены по мощности излучения с учетом отражающей поверхности.



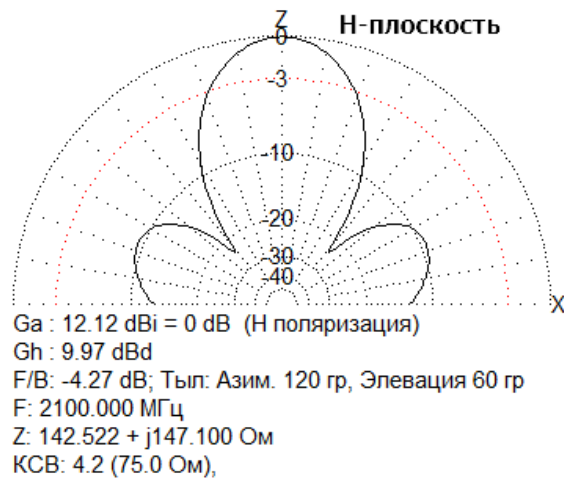
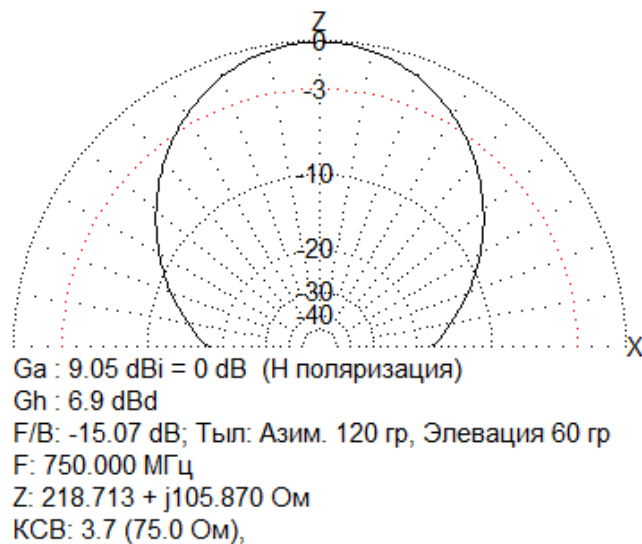


Рис. 2. Характеристики 2-х элементной системы с линейными вибраторами



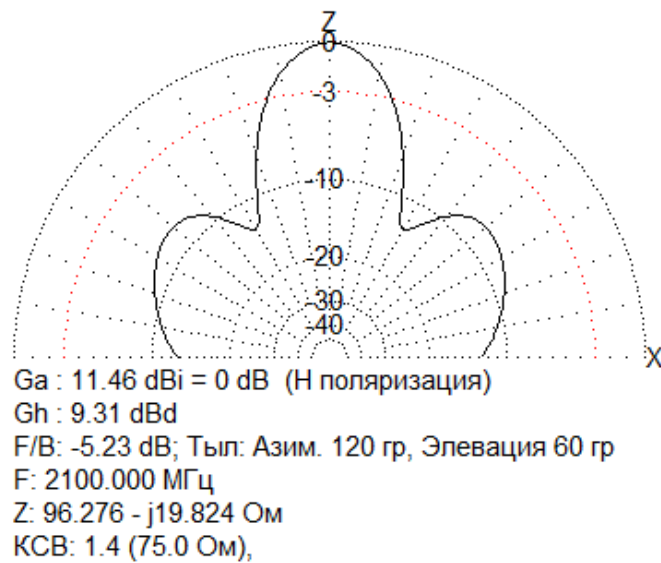
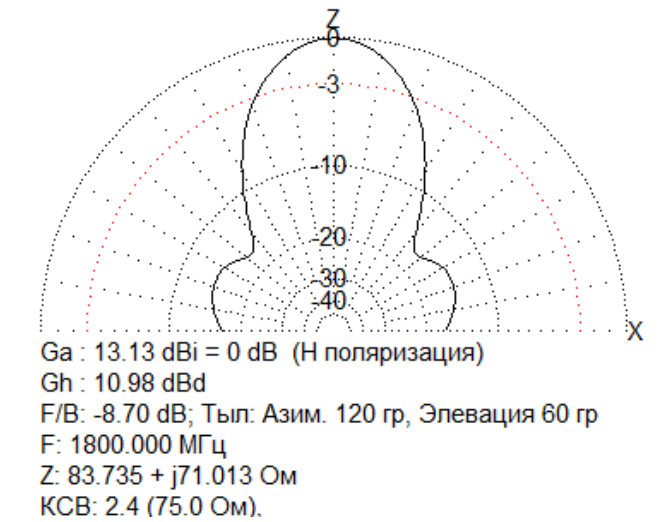
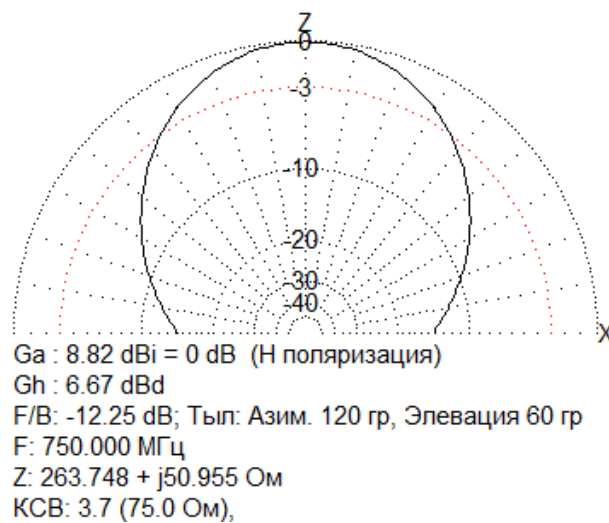


Рис. 3. Характеристики 2-х элементной системы с V-образными вибраторами



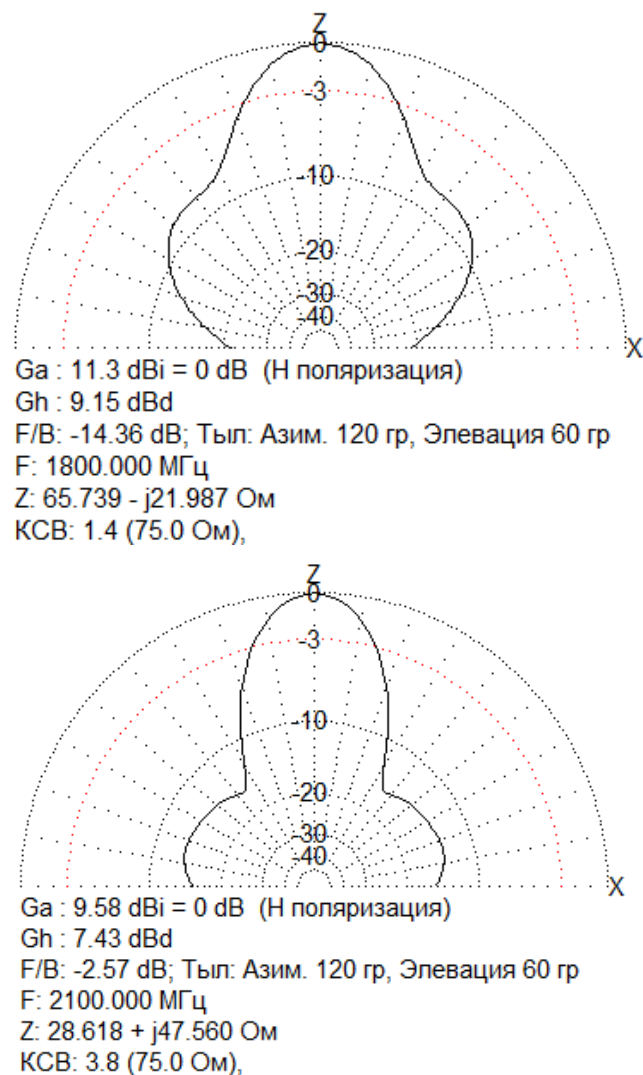


Рис. 4. Характеристики 2-х элементной системы с фрактальными вибраторами

Анализ полученных результатов позволяет сделать следующее заключение. В ходе моделирования рассматривался достаточно широкий диапазон, с коэффициентом перекрытия, равным 2,8. Следует отметить, что в номинальном значении, антенные системы охватывают диапазон работы сетей мобильной связи и широкополосного доступа.

Так, в нижней части (750 МГц) ДН у всех антенных систем примерно одинаковы. Но у 2-х элементной системы с линейными вибраторами величина коэффициента стоячей волны (КСВ) составляет 2,9 при значении комплексного сопротивления  $z_1=74,3+j82,4$ . В то время как у 2-х элементной системы с V-образными вибраторами КСВ равен 3,7, но комплексное сопротивление  $z_2=218,7+j105,9$ . А у 2-х элементной системы с фрактальными вибраторами, соответственно, КСВ=3,7,  $z_3=263,7+j50,9$ .

Так, в средней части (1800 МГц) ДН у 2-х элементной системы с линейными вибраторами разваливается на три лепестка. Причем затухание у крайних лепестков на 15 дБ выше, относительно центрального. У 2-х элементной системы с V-образными вибраторами при таком же уровне затухания крайние лепестки ДН более локализованы. При том, что у 2-х элементной системы с фрактальными вибраторами уровень по крайним лепесткам составляет всего минус 8 дБ относительно центрального, а ДН не имеет провалов. Следует отметить, что фрактальная система имеет самый низкий КСВ=1,4. У 2-х элементной системы с V-образными вибраторами он в 1,7 раза выше, а у 2-х элементной системы с линейными вибраторами – в три раза.

В верхней части (2 100 МГц) наиболее цельная ДН у 2-х элементной системы с V-образными вибраторами, ее КСВ=1,4. У фрактальной системы КСВ в 2,7 раза выше, а у 2-х элементной системы с линейными вибраторами – в три раза.

Для повышения надежности результатов дополнительно были проведены расчеты с использованием компьютерной программы CST Microwave Studio. Согласно проведенным расчетам характеристики ДН по двум компьютерным программам дают примерно одинаковые результаты. В качестве примера на рис. 5 приведены характеристики излучения той же 2-х элементной антенной системы с фрактальными вибраторами, что и на рис. 4.

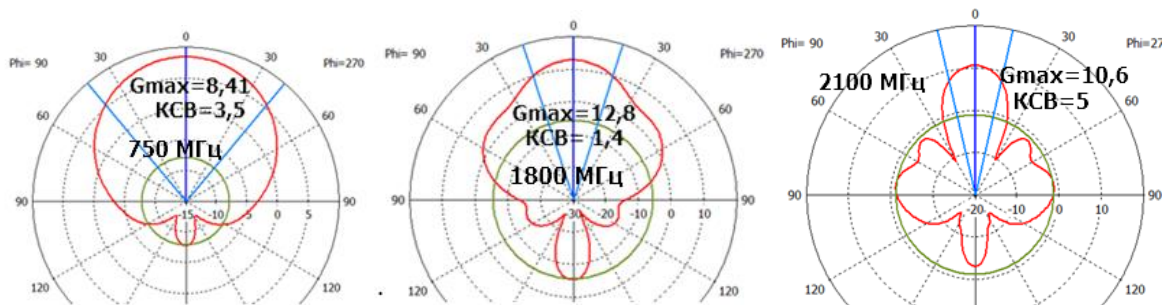


Рис. 5. Характеристики 2-х элементной системы с фрактальными вибраторами

В целом все рассмотренные системы не являются оптимальными при работе в таком широком диапазоне частот. Но требования работоспособности сохраняют.

### Заключение

В заключение следует подчеркнуть, что коэффициент усиления всех рассмотренных антенных систем лежит в пределах 9...13 дБ. По условию согласования с фидером 75 Ом в диапазоне частот от 750 МГц до 2 100 МГц лучшим вариантом является антенная система с V-образными вибраторами. Это объясняется тем, что в V-образном вибраторе, как и в биконическом, происходит трансформация волнового сопротивления, в результате чего наблюдается компенсация отраженной волны. Во фрактальной системе при увеличении частоты также наблюдается эффект четвертьволнового трансформатора, что приводит к улучшению условия согласования.

Таким образом, можно заключить, что применение фрактальных вибраторов в низкопрофильных антенных системах требует дополнительного согласования с линиями питания элементов системы.

Очевидно, что использование фрактальных излучателей в низкочастотных диапазонах усложняет конструкцию антенн и снижает их надёжность, поэтому даже с учётом достижения незначительного положительного эффекта применение таких антенн требует дополнительного обоснования.

Дальнейшие исследования авторы связывают с анализом широкодиапазонных антенн, построенных на основе фрактального синтеза.

### Литература

1. Mandelbrot B.V. *Lex objets fractals: Forme, Hasant el Dimension*. Paris: Flammarion, 1975.
2. Дворников С.В., Сауков А.М. Метод распознавания радиосигналов на основе вейвлет-пакетов // *Научное приборостроение*. 2004. Т. 14. № 1. С. 85–93.
3. Короленко П.В., Мишин А.Ю. Физические аспекты феномена красоты фракталов // *Международный научно-исследовательский журнал*. 2019. № 1-1 (79). С. 7–11.

4. Метод пространственно-временной фильтрации радиосигналов на основе антенных решеток произвольной пространственной конфигурации / В.Н. Саяпин [и др.] // *Информация и космос*. 2006. № 3. С. 83–89.
5. Нудьга А.А., Савочкин А.А. Разработка фрактальной антенны круговой поляризации // *СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии*. 2020. № 1-1. С. 235–236.
6. Ландышев Ф.А. Анализ подходов к разработке фрактальных антенн для решения задач беспроводной связи // *Инженерные кадры – будущее инновационной экономики России*. 2020. № 3. С. 75–78.
7. Айкашев П.В. Методы фрактальной геометрии в теории антенн // *Modern Science*. 2020. № 10-1. С. 362–369.
8. Бойков И.В., Айкашев П.В. К вопросу об анализе и синтезе фрактальных антенн // *Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки*. 2018. № 1 (45). С. 92–110.
9. Крупенин С.В. Моделирование фрактальных антенн // *Радиотехника и электроника*. 2006. Т. 51. № 5. С. 561–568.
10. Dvornikov S.V., Dvornikov S.S., Kriachko A.F. Digital synthesis of signals with a low level of manifestation of edge effects // *2020 Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems, WECONF 2020*. 2020. С. 9131500.
11. Власенко В.И., Дворников С.В. Двухполяризованная антенна для базовой станции подвижной радиосвязи // *Телекоммуникации*. 2021. № 5. С. 8–16.
12. Моделирование фрактальных антенн / Н.Н. Евтихийев (ст.) [и др.] // *Радиотехника*. 2007. № 9. С. 14–18.
13. Виноградов А.Ю., Кабетов Р.В., Сомов А.М. Устройства СВЧ и малогабаритные антенны: учеб. пособие для вузов / под ред. А.М. Сомова. М.: Горячая линия – Телеком, 2012. 440 с.
14. Гончаренко И.В. Антенны КВ и УКВ (Компьютерное моделирование). М.: И П Радио Софт, 2004. 124 с.
15. Применение фрактальных антенн для беспроводных широкополосных сетей четвертого поколения / А.О. Ефремова [и др.] // *Вопросы современной науки и практики*. 2014. № 3 (53). С. 56–61
16. Кравченко В.Ф., Масюк В.М. Современные методы аппроксимации в теории антенн. Кн. 3: Новый класс фрактальных функций в задачах анализа и синтеза антенн. Радиотехника. М., 2002. 75 с.
17. Дворников С.В., Власенко В.И. Энергетический расчет радиолиний военного назначения: учеб. пособие. СПб.: ВАС, 2020. 180 с.

## References

1. Mandelbrot V.V. *Lex objets fractals: Forme, Hasanl el Dimension*. Paris: Flammarion, 1975.
2. Dvornikov S.V., Saukov A.M. Metod raspoznavaniya radiosignalov na osnove vevjlet-paketov // *Nauchnoe priborostroenie*. 2004. Т. 14. № 1. S. 85–93.
3. Korolenko P.V., Mishin A.Yu. Fizicheskie aspekty fenomena krasoty fraktalov // *Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal*. 2019. № 1-1 (79). S. 7–11.
4. Metod prostranstvenno-vremennoj fil'tracii radiosignalov na osnove antennyh reshetok proizvol'noj prostranstvennoj konfiguracii / V.N. Sayapin [i dr.] // *Informaciya i kosmos*. 2006. № 3. S. 83–89.
5. Nud'ga A.A., Savochkin A.A. Razrabotka fraktal'noj anteny krugovoj polyarizacii // *SVCH-tehnika i telekommunikacionnye tekhnologii*. 2020. № 1-1. S. 235–236.
6. Landyshev F.A. Analiz podhodov k razrabotke fraktal'nyh antenn dlya resheniya zadach besprovodnoj svyazi // *Inzhenernye kadry – budushchee innovacionnoj ekonomiki Rossii*. 2020. № 3. S. 75–78.

7. Ajkashev P.V. Metody fraktal'noj geometrii v teorii antenn // Modern Science. 2020. № 10-1. S. 362–369.
8. Bojkov I.V., Ajkashev P.V. K voprosu ob analize i sinteze fraktal'nyh antenn // Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Povolzhskij region. Tekhnicheskie nauki. 2018. № 1 (45). S. 92–110.
9. Krupenin S.V. Modelirovanie fraktal'nyh antenn // Radiotekhnika i elektronika. 2006. T. 51. № 5. S. 561–568.
10. Dvornikov S.V., Dvornikov S.S., Kriachko A.F. Digital synthesis of signals with a low level of manifestation of edge effects // 2020 Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems, WECONF 2020. 2020. S. 9131500.
11. Vlasenko V.I., Dvornikov S.V. Dvuhpolyarizacionnaya antenna dlya bazovoj stancii podvizhnoj radiosvyazi // Telekommunikacii. 2021. № 5. S. 8–16.
12. Modelirovanie fraktal'nyh antenn / N.N. Evtihiev (st.) [i dr.] // Radiotekhnika. 2007. № 9. S. 14–18.
13. Vinogradov A.Yu., Kabetov R.V., Somov A.M. Ustrojstva SVCh i malogabaritnye anteny: ucheb. posobie dlya vuzov / pod red. A.M. Somova. M.: Goryachaya liniya – Telekom, 2012. 440 s.
14. Goncharenko I.V. Antenny KV i UKV (Komp'yuternoe modelirovanie). M.: I P Radio Soft, 2004. 124 s.
15. Primenenie fraktal'nyh antenn dlya besprovodnyh shirokopolosnyh setej chetvertogo pokoleniya / A.O. Efremova [i dr.] // Voprosy sovremennoj nauki i praktiki. 2014. № 3 (53). S. 56–61
16. Kravchenko V.F., Masyuk V.M. Sovremennye metody approksimacii v teorii antenn. Kn. 3: Novyj klass fraktal'nyh funkcij v zadachah analiza i sinteza antenn. Radiotekhnika. M., 2002. 75 s.
17. Dvornikov S.V., Vlasenko V.I. Energeticheskij raschet radiolinij voennogo naznacheniya: ucheb. posobie. SPb.: VAS, 2020. 180 s.



УДК 519.6

## **ПРОГРАММНЫЙ МОДУЛЬ СРЕДНЕОБЪЕМНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРОДУКТОВ ГОРЕНИЯ ПРИ ПОЖАРЕ В ПОМЕЩЕНИИ**

**Н.Н. Романов, кандидат технических наук, доцент.**

**Л.В. Медведева, доктор педагогических наук, профессор,  
заслуженный работник высшей школы Российской Федерации.  
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Представлен программный модуль среднеобъемной температуры продуктов горения в помещении, который является базовым модулем теплотехнического расчета ограждающих конструкций, оценки огнестойкости и проекта огнезащиты металлических несущих конструкций.

*Ключевые слова:* модульное программирование, среднеобъемная температура, теплотехнический расчет, опасные факторы пожара, металлические несущие конструкции

## **SOFTWARE MODULE OF AVERAGE VOLUME COMBUSTION PRODUCTS TEMPERATURE CALCULATION DURING A ROOM FIRE**

N.N. Romanov; L.V. Medvedeva.

Saint Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

The software module of average volume combustion products temperature calculation during a room fire is presented. It is basic module for thermal engineering calculation of enclosing structures, fire resistance assessment and a projecting fire protection of metal load-bearing structures.

*Keywords:* modular programming, average volume temperature, heat engineering calculation, hazardous factors of fire, metal load-bearing structures

Одним из главных условий прогнозирования опасных факторов пожара и решения инженерных задач обеспечения пожарной безопасности реальных объектов различного функционального назначения является знание изменения среднеобъемной температуры во времени при объемном свободно развивающемся пожаре в помещении [1, 2].

Факторами, которые определяют динамику изменения среднеобъемной температуры во времени, являются:

- физико-химические характеристики многообразных горючих материалов помещения;
- количество и плотность расположения пожарной нагрузки;
- геометрические особенности помещения (площадь пола, высота от пола до потолка и т.д.);
- возможность и интенсивность газообмена с внешней средой за счет расположения и размеров проемов.

В зависимости от видов и плотности пожарной нагрузки, количества воздуха, поступающего в результате воздухообмена в зону горения, возникают два вида объемного пожара [3, 4]:

- пожар, регулируемый нагрузкой, когда количество поступившего воздуха, превышает необходимое для полного сгорания пожарной нагрузки;

– пожар, регулируемый воздухообменом, когда количество поступившего воздуха недостаточно для полного сгорания пожарной нагрузки.

В настоящее время расчет температурного режима в помещении может проводиться с использованием общепринятых моделей внутренних пожаров [5]:

– через осредненные по всему объему помещения термодинамические параметры газовой среды (интегральная модель внутреннего пожара);

– через усредненные значения параметров состояния среды в двух-трех характерных пространственных зонах в объеме помещения (зонная модель внутреннего пожара);

– путем выделения множества малых объемов для наиболее точного прогноза состояния газовой среды (полевая (дифференциальная) модель внутреннего пожара).

Численную реализацию указанных математических моделей моделирования теплофизических процессов в условиях реального пожара осуществляют современные программные комплексы, практическое использование которых требует от пользователя не только умений качественного анализа планировки исследуемых реальных объектов, но и знаний в области теории тепломассообмена, гидрогазодинамики, что приводит к существенным затратам времени на ввод исходных данных. При этом следует отметить, что тщательная детализация состояния среды является необязательным условием решения прикладных пожарно-технических задач [5, 6].

С позиций вышеизложенного, для проведения оперативных пожарно-технических расчетов актуализируется разработка упрощенной автоматизированной методики расчета температурного режима внутреннего пожара на исследуемых объектах при различных видах пожарной нагрузки.

Результатом работы в указанном направлении явилось создание в среде Microsoft Office Excel с применением Visual Basic for Applications программного модуля среднеобъемной температуры продуктов горения при пожаре в помещении, практическое использование которого не требует от пользователя специальной подготовки к работе с программным продуктом. При этом пользователь получает автоматический доступ к необходимым справочным данным, что обеспечивает возможность оперативного редактирования исходных данных в ходе выполнения инженерного расчета температурного режима в условиях внутреннего пожара для однотипных помещений, помещений различного функционального назначения и помещений с произвольно комбинированной пожарной нагрузкой [2].

Разработанный программный продукт основан на нормативном документе [3], а методика расчета среднеобъемной температуры продуктов горения при пожаре в помещении представлена в виде логической последовательности блоков: ввода исходных данных (рис. 1); расчета объемно-планировочных параметров помещения (рис. 2); расчета показателей пожарной нагрузки (рис. 3); расчета временной зависимости среднеобъемной температуры (рис. 4).

## 1. ВВОД ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

Геометрические параметры помещения [высота, длина и ширина] и проемов [высота и ширина], наименование зоны расположения пожарной нагрузки [низшая теплота сгорания ( $Q_n^p$ ) и удельная скорость выгорания ( $\Psi$ ) материала пожарной нагрузки].

Рис. 1. Блок исходных данных расчета среднеобъемной температуры продуктов горения при пожаре в помещении

## 2. РАСЧЕТ ОБЪЕМНО-ПЛАНИРОВОЧНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПОМЕЩЕНИЯ

### а) геометрические параметры помещения:

объем помещения  $V$  (м<sup>3</sup>), площадь пола  $S$  (м<sup>2</sup>), площадь каждого проема помещения  $A_j$  (м<sup>2</sup>).

### б) приведенная высота проемов помещения $h_{np}$ (м):

$$h_{np} = \frac{\sum_{j=1}^{j-1} A_j \cdot h_j}{A};$$

где  $h_j$  – высота  $j$ -го проема помещения (м);  $A$  – суммарная площадь проемов помещения (м<sup>2</sup>).

### в) проемность $\Pi$ :

$$\text{- при } V < 10^3 \text{ м}^3 \quad \Pi = \frac{\sum_{j=1}^{j-1} A_j \cdot h_j^{0.5}}{V^{0.66}};$$

$$\text{- при } V > 10^3 \text{ м}^3 \quad \Pi = \frac{\sum_{j=1}^{j-1} A_j \cdot h_j^{0.5}}{S};$$

Рис. 2. Блок расчета объемно-планировочных параметров помещения

## 3. РАСЧЕТ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОЖАРНОЙ НАГРУЗКИ

### а) удельное критическое количество пожарной нагрузки для исследуемого помещения (кг/м<sup>2</sup>):

$$q_{кр} = \frac{4500 \cdot \Pi^3}{1 + 500 \cdot \Pi^3} + \frac{V^{0.33}}{6V_0}.$$

### б) количество пожарной нагрузки, отнесенное к площади пола помещения (кг/м<sup>2</sup>):

$$q_z = \frac{\sum_{i=1}^{i-1} P_i}{S}.$$

### в) удельное значение пожарной нагрузки, отнесенное к площади тепловоспринимающей поверхности помещения (кг/м<sup>2</sup>):

$$q = \frac{\sum_{i=1}^{i-1} P_i \cdot Q_{нг}^p}{(6S - A) \cdot Q_{нг}^p},$$

$Q_{нг}^p$  – низшая теплота сгорания древесины ( $\approx 13,8$  МДж/кг);  $V_0$  – количество воздуха, необходимое для сгорания 1 кг материала пожарной нагрузки ( $\approx 6$  кг/кг);  $P_i$  – количество пожарной нагрузки  $i$ -того компонента твердых горючих и трудногорючих материалов (кг).

Рис. 3. Блок расчета показателей пожарной нагрузки

#### 4. РАСЧЕТ ВРЕМЕННОЙ ЗАВИСИМОСТИ СРЕДНЕОБЪЕМНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ

$$t_f(\tau) = t_0 + 115,6 \cdot (t_{\max} - t_0) \cdot \left( \frac{\tau}{\tau_{\max}} \right)^{4,75} \cdot e^{-4,75 \left( \frac{\tau}{\tau_{\max}} \right)},$$

- при  $q_{кр} > q$  (пожар, регулируемый нагрузкой):

$$\tau_{\max} = 32 - 8,1 \cdot q^{3,2} \cdot e^{-0,92q}; \quad t_{\max} - t_0 = 224 \cdot q^{0,528};$$

- при  $q \geq q_{кр}$  (пожар, регулируемый вентиляцией):

$$\tau_{\max} = \frac{\sum_{i=1}^p P_i \cdot Q_{\nu_i}^p}{6285 \cdot A \cdot \sqrt{h_{кр}}} \cdot \frac{\psi_{\xi}}{\psi}; \quad t_{\max} = 940 \cdot e^{4,7 \cdot 10^{-3} \cdot (q_i - 30)}.$$

где  $\psi_{\xi}$  - средняя скорость выгорания древесины ( $\approx 0,014$  кг/(м<sup>2</sup>·с));  $t_0$  - начальная среднеобъемная температура (°С);  $\tau$  - текущее время (мин).

Рис. 4. Блок расчета временной зависимости среднеобъемной температуры в условиях реального пожара и при «стандартном режиме пожара»

Для максимального приближения результатов расчета среднеобъемной температуры продуктов горения в помещении к реальным условиям развития внутреннего пожара в программном модуле используется база данных показателей пожарной нагрузки, основанная на информации из справочного руководства разработанного ООО «СИТИС» [1, 7].

В данном справочнике приведены данные о пожарных нагрузках и свойствах материалов из отечественных и зарубежных нормативных, справочных и методических документов, которые используются при выполнении различных пожарно-технических расчетов и при моделировании динамики опасных факторов пожара. В программный модуль из данного справочника введены несколько таблиц [8]:

1. Таблица «Смеси горючих материалов» с представленными в ней параметрами:

- низшая теплота сгорания  $Q_n^p$  [МДж/кг];
- удельная скорость выгорания  $\psi$  [кг/м<sup>2</sup>с];
- линейная скорость пламени  $\nu$  [м/с];
- потребление кислорода  $L_{O_2}$  [кг/кг];
- дымообразующая способность  $D_m$  [Нп·м<sup>2</sup>/кг];
- выделение углекислого газа  $L_{CO_2}$  [кг/кг];
- выделение окиси углерода (угарного газа)  $L_{CO}$  [кг/кг];
- выделение хлороводорода  $L_{HCl}$  [кг/кг].

2. Таблица «Плотность пожарной нагрузки» с параметрами:

- плотность пожарной нагрузки  $q$  [МДж/м<sup>2</sup>] (среднее значение);
- плотность пожарной нагрузки  $q_p$  [МДж/м<sup>2</sup>] (расчетное значение).

Данные материалы приведены из отечественных и зарубежных нормативных, справочных и методических документов и технической литературы.

На рис. 5, 6 показаны примеры исходных справочных данных, которые в автоматическом режиме используются в блоке исходных данных программного модуля.

## Смеси горючих материалов

Наименование групп помещений или зон расположения пожарной нагрузки	Аналог или источник	Низшая теплота сгорания	Линейная скорость пламени	Удельная скорость выгорания	Дымообразующая способность	Потребление $O_2$	Выделение $CO_2$	Выделение $CO$	Выделение $HCl$
		$Q_{нi}$	$v$	$\Psi_{уд}$	$D_{m_i}$	$Lo_2$	$L_{co2}$	$L_{co}$	$L_{ncl}$
		МДж/кг	м/с	кг/м <sup>2</sup> с	гп·м <sup>2</sup> /кг	кг/кг	кг/кг	кг/кг	кг/кг
Административные помещения (Ф1.1-2 больницы, дома престарелых и инвалидов)	Административные помещения	14	0,005	0,014	47,7	-1,369	1,478	0,03	0,006
Выставочный зал автосалона (Ф3.1 – здания организаций торговли)	Выставочный зал автосалона	31,7	0,007	0,023	487	-2,64	1,3	0,097	0,011
Гардероб (Ф1.1-1 дошкольные образовательные учреждения)	Промтовары; текстильные изделия	16,7	0,007	0,024	61	-2,56	0,88	0,063	0
Гардероб (Ф2.2-1 Музеи, выставки)	Гардероб	16,7	0,007	0,009	61	-2,56	0,88	0,063	0

Рис. 5. Смеси горючих материалов

Плотность пожарной нагрузки				
Наименование групп помещений или зон расположения пожарной нагрузки	Аналог или исходный материал	Плотность пожарной нагрузки (среднее значение)	Коэффициент колебания	Плотность пожарной нагрузки (расчетное значение)
		МДж/м <sup>2</sup>		МДж/м <sup>2</sup>
Автоматизированный магазин (Ф3.1. Здания организаций торговли)	Автоматизированный магазин (чехлы для сидений)	700	2	1400
Антикварный магазин (Ф3.1. Здания организаций торговли)	Антикварный магазин	700	2	1400
Библиотека (Ф2.1. Театры, кинотеатры)	Библиотека	2000	2	4000
Винный магазин (Ф3.1. Здания организаций торговли)	Винный магазин	200	2	400
Врачебный кабинет (Ф3.4. Поликлиники и амбулатории)	Врачебный кабинет	200	1,5	300
Газетный киоск (Ф3.1. Здания организаций торговли)	Газетный киоск	1300	2	2600
Гараж (частный) (Ф5.2-2 Паркинги)	Подземный гараж (частный)	250	2	500

Рис. 6. Плотность пожарной нагрузки

Регулятивными нормами разработки пользовательского интерфейса программного модуля среднеобъемной температуры являлись следующие принципы [6, 9–11]:

1) создание комфортных условий взаимодействия пользователя с компьютером: интерфейс должен включать в себя все, что помогает пользователю выполнять инженерный расчет, в том числе средства визуализации, необходимые справочные материалы и техническая доступность;

2) предоставление возможности прерываний в работе с системой и сохранения промежуточных результатов для анализа выполненных и планируемых действий;

3) создание условий для немедленных и обратимых действий;

4) обеспечение возможности пользователя ориентироваться в системе в любой момент времени;

5) обеспечение понятного и грамотного интерфейса путем корректного изложения материала в понятных и информативных для пользователя терминах;

б) система должна «запоминать» введенную информацию и обеспечивать пользователю беспрепятственный доступ к ней в любое время.

При запуске программного модуля среднеобъемной температуры продуктов горения в условиях внутреннего пожара на экране отображается окно для ввода исходной информации, и пользователь производит расчет динамики изменения среднеобъемной температуры продуктов горения в помещении в следующем порядке:

1. Ввод начальной температуры воздуха.
2. Задание геометрических параметров помещения и проемов, числа оконных и дверных проемов (рис. 7).

3. Выбор варианта задания параметров пожарной нагрузки (рис. 8).

3.1. В случае выбора задания параметров пожарной нагрузки из «Базы данных для функционально однотипных помещений» на экране появится окно «Параметры пожарной нагрузки из базы данных для функционально однотипных помещений» (рис. 9).

В этом окне пользователю предоставляется возможность выбрать из базы данных наименование «зоны расположения пожарной нагрузки» и задать численное значение «массы пожарной нагрузки».

После выбора пользователем зоны расположения пожарной нагрузки из базы данных автоматически загружаются значения низшей теплоты сгорания материала  $Q_n^p$  и удельной скорости его выгорания  $\psi$ , а также параметры пожарной нагрузки, необходимые для решения других задач (рис. 10).

**Объемно-планировочные параметры помещения**

Ввод параметров

**Геометрические параметры помещения**

Длина  м      Ширина  м      Высота  м

**Геометрические параметры проемов**

Вид		Ширина, м	Высота, м	Кол-во
Оконные	№1	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	№2	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Дверные	№1	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	№2	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Рис. 7. Ввод объемно-планировочных параметров помещения

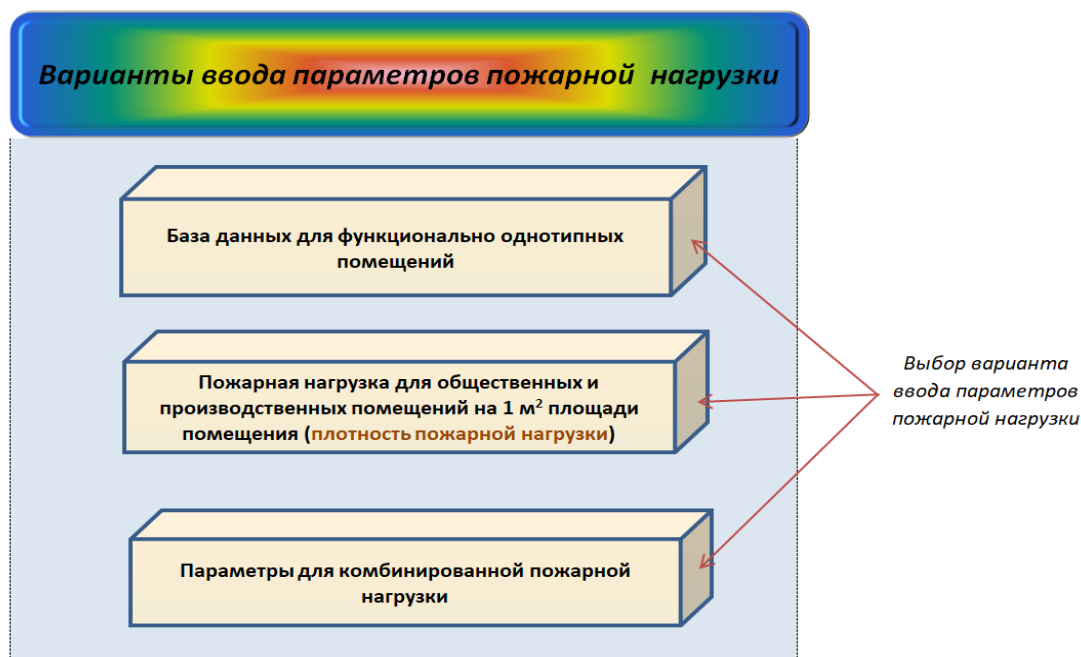


Рис. 8. Выбор варианта задания параметров пожарной нагрузки

**Параметры пожарной нагрузки из базы данных для функционально однотипных помещений**

Наименование групп помещений или зон расположения пожарной нагрузки (класс функциональной пожарной опасности зданий и помещений)

Аналог или источник

Масса пожарной нагрузки, кг	Низшая теплота сгорания $Q_{нз}$ , МДж/кг	Потребление $O_2$ , кг/кг	Удельная скорость выгорания, кг/(м <sup>2</sup> ·с)
Выделение $CO$ , кг/кг	Выделение $CO_2$ , кг/кг	Выделение $HCl$ , кг/кг	Дымообразующая способность, лп·м <sup>2</sup> /кг

Расчет

Выбор из базы данных

Ввод значения

Рис. 9. Выбор «зоны расположения пожарной нагрузки» и ввод значения массы пожарной нагрузки

### Параметры пожарной нагрузки из базы данных для функционально однотипных помещений

Наименование групп помещений или зон расположения пожарной нагрузки ( класс функциональной пожарной опасности зданий и помещений )			
Торговый зал магазина бытовой техники, электроники (ФЗ.1 – здания организаций торговли)			
Аналог или источник		Торговый зал магазина бытовой техники, электроники	
Масса пожарной нагрузки, кг <b>4000</b>	Низшая теплота сгорания $Q_n$ , МДж/кг <b>25</b>	Потребление $O_2$ , кг/кг <b>-2,19</b>	Удельная скорость выгорания, кг/(м <sup>2</sup> ·с) <b>0,024</b>
Выделение $CO$ , кг/кг <b>0,109</b>	Выделение $CO_2$ , кг/кг <b>0,398</b>	Выделение HCL, кг/кг <b>0,025</b>	Дымообразующая способность, $H_p \cdot m^2/kg$ <b>635</b>

Рис. 10. Общий вид окна с загруженными автоматически из базы данных значениями низшей теплоты сгорания материала ( $Q_n^p$ ), удельной скорости его выгорания ( $\psi$ ) и параметрами пожарной нагрузки

3.2. В случае выбора задания параметров пожарной нагрузки из базы данных «Плотность пожарной нагрузки» на экране появится окно, где предоставляется возможность выбрать «зону расположения пожарной нагрузки» (рис. 11).

### Параметры пожарной нагрузки из базы данных " Пожарная нагрузка для общественных и производственных помещений на 1 м<sup>2</sup> площади помещения " для функционально однотипных помещений

Наименование групп помещений или зон расположения пожарной нагрузки		Выбор из базы данных
<input type="text"/>		
Аналог или источник		
Плотность пожарной нагрузки		МДж/м <sup>2</sup>
Примечание: <b>Необходимо ввести 1 параметр:</b> - наименование групп помещений или зон расположения пожарной нагрузки;		

Рис. 11. Выбор наименования «зоны расположения пожарной нагрузки»

При выбранном наименовании зоны расположения пожарной нагрузки в вычислительный модуль автоматически из базы данных загружается значение плотности пожарной нагрузки (рис. 12).



<b>Наименование групп помещений или зон расположения пожарной нагрузки</b>		
Гастроном (ФЗ.1. Здания организаций торговли)		
<b>Аналог или источник</b>	Зал магазина негорючих материалов (посуда, сантехника и т.д.)	
<b>Плотность пожарной нагрузки</b>	700	МДж/м <sup>2</sup>

Рис. 12. Общий вид окна с загруженным автоматически из базы данных значением плотности пожарной нагрузки

3.3. В случае размещения на одной площади нескольких пожарных нагрузок так, что невозможно выделить отдельные участки нагрузок, комбинацию нагрузок рассматривают как смесь горючих материалов с эквивалентными параметрами и свойствами, а параметры пожарной нагрузки выбирают и задают из базы данных «Параметры для комбинированной пожарной нагрузки».

В соответствующем окне интерфейса пользователю предоставляется возможность выбрать из базы данных различные виды горючих материалов и их массы (рис. 13).

<b>Параметры пожарной нагрузки</b>				
	<b>Вид горючего материала</b>	<b>Масса, кг</b>	<b>Низшая теплота сгорания <math>Q_n^p</math>, Мдж/кг</b>	<b>Удельная скорость выгорания, кг/(м<sup>2</sup>·с)</b>
№1	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
№2	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
№3	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
№4	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Ввод вида горючего материала

Ввод значения

**Расчет**

Рис. 13. Общий вид окна для ввода видов горючего материала и их массы

В соответствии с выбранным горючим материалом в вычислительный модуль автоматически из базы данных загружаются значения низшей теплоты сгорания материала  $Q_n^p$  и удельной скорости его выгорания  $\psi$  (рис. 14).

Параметры пожарной нагрузки				
	Вид горючего материала	Масса, кг	Низшая теплота сгорания $Q_n$ , Мдж/кг	Удельная скорость выгорания, $\psi$ , кг/(м <sup>2</sup> ·с)
№1	Толуол	350	40,9	0,043
№2	Электрокабель АПВГ; ПВХ-оболочка и полиэтилен	50	36,4	0,024
№3				
№4				

Рис. 14. Общий вид окна с загруженными автоматически из базы данных видами горючих материалов, массой, низшей теплотой сгорания ( $Q_n^p$ ) и удельной скоростью выгорания ( $\psi$ )

После того, как заданы геометрические параметры помещения и характеристики пожарной нагрузки, осуществляется расчет изменения среднеобъемной температуры продуктов горения в помещении во времени по алгоритму, представленному на рис. 4. Пример визуализации результатов расчета представлен на рис. 15.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА

Зоны расположения пожарной нагрузки	№1	Толуол				
	№2	Электрокабель АПВГ; ПВХ-оболочка и полиэтилен				
	№3	Электротехнические материалы; текстолит, карболит				
Объем помещения	240,0	м <sup>3</sup>	Общая пожарная нагрузка	4000	кг	
Площадь помещения	80,0	м <sup>2</sup>		К-во пожарной нагрузки отнесенная к площади пола	50,0	кг/м <sup>2</sup>
Общая площадь проемов	4,0	м <sup>2</sup>		Критическая пожарная нагрузка	3,4	кг/м <sup>2</sup>
Проемность помещения	0,10	м <sup>0,5</sup>		Пожарная нагрузка приведенная к древесине, отнесенная к площади тепловоспринимающих поверхностей	52,1	кг/м <sup>2</sup>
Режим пожара:	пожар, регулируемый вентиляцией (ПРВ)			характерная продолжительность объемного пожара	2,1	час

Текущее время, мин.	Среднеобъемная температура, °С
32	69
64	427
95	876
127	1047
159	928
191	680
222	440
254	263
286	150
318	86
350	52
381	35

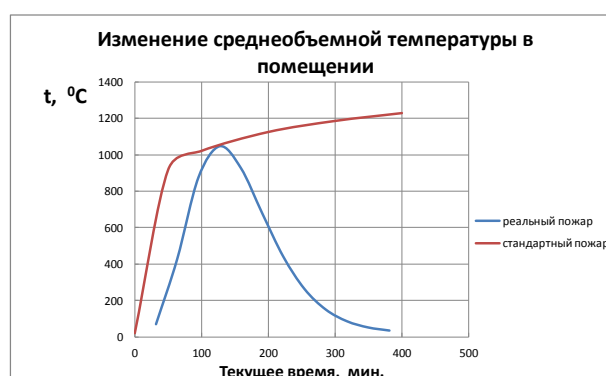


Рис. 15. Визуализация результатов расчета среднеобъемной температуры в помещении в условиях реального пожара и «стандартного режима» пожара

В заключение следует отметить, что характеристиками разработанного программного модуля среднеобъемной температуры продуктов горения при внутреннем пожаре, который

реализует стандартный принцип IPO и включает в себя логически взаимосвязанную совокупность функциональных элементов (блоков расчета), являются функциональная завершенность и логическая независимость. При этом разработанный программный модуль является не только автономным самостоятельным программным продуктом, но и необходимым фрагментом программ [6, 12, 13]:

- теплотехнического расчета ограждающих конструкций;
- оценки огнестойкости металлических конструкций по потере несущей способности;
- проектов огнезащиты металлических несущих конструкций;
- расчета необходимого и фактического времени эвакуации людей из помещения.

Таким образом, программный модуль среднеобъемной температуры продуктов горения при внутреннем пожаре, по существу, может рассматриваться как средство борьбы со сложностью и дублированием при разработке программ реальных теплофизических процессов для решения инженерных пожарно-технических задач.

### Литература

1. Термогазодинамика пожаров в помещениях / В.М. Астапенко [и др.]. М.: Стройиздат, 1988. 448 с.
2. Романов Н.Н., Кузьмин А.А., Пермяков А.А. Автоматизация расчета теплового режима при горении горючей жидкости в помещении: Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2020662746, 19.10.2020. Заявка № 2020661732 от 06.10.2020.
3. Walton D.W., Thomas P.H. Estimating Temperatures in Compartment Fires // SFPE Handbook of Fire Protection Engineering. Section 3, Chapter 06, 3rd Edition, 2002.
4. ГОСТ Р 12.3.047–2012. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля. М.: Стандартинформ, 2014. 61 с.
5. Рыжов А.М. О математическом моделировании пожаров в помещениях // Огнестойкость строительных конструкций. М.: ВНИИПО, 1978. Вып. 6. С. 16–26.
6. Кознов Д.В. Введение в программную инженерию. М.: Национальный открытый университет «Интуит», 2016. 307 с.
7. Бадд Тимоти. Объектно-ориентированное программирование в действии: пер. с англ. А. Берднюкова / гл. ред. В. Усманов. СПб.: Питер, 1997. 460 с.
8. СИТИС СПН-1. Пожарная нагрузка. Справочник. Редакция 1 от 14 мая 2014 г.
9. Басс Лен. Архитектура программного обеспечения на практике: пер. с англ. Л. Басс. 2-е изд. СПб.: Питер, 2006. 574 с.
10. Бутаков С.В. Высокоуровневые методы информатики и программирования: учеб. пособие. Барнаул: Изд-во ААЭП, 2005. 72 с.
11. Лаврищева Е.М. Программная инженерия и технологии программирования сложных систем: учеб. для вузов. 2-е изд. испр. и доп. М.: Изд-во Юрайт, 2019. 432 с.
12. Бартелими Б., Крюппа Ж. Огнестойкость строительных конструкций: пер. с франц. М.В. Предтеченского / под ред. В.В. Жукова. М.: Стройиздат, 1985. 216 с.
13. Хореев П.Б. Технологии объектно-ориентированного программирования: учеб. пособие. М.: Academia, 2004. 447 с.

### References

1. Termogazodinamika požharov v pomeshcheniyah / V.M. Astapenko [i dr.]. M.: Strojizdat, 1988. 448 s.
2. Romanov N.N., Kuz'min A.A., Permyakov A.A. Avtomatizaciya rascheta teplovogo rezhima pri gorenii goryuchej zhidkosti v pomeshchenii: Svidetel'stvo o registracii programmy dlya EVM RU 2020662746, 19.10.2020. Zayavka № 2020661732 ot 06.10.2020.
3. Walton D.W., Thomas P.H. Estimating Temperatures in Compartment Fires // SFPE Handbook of Fire Protection Engineering. Section 3, Chapter 06, 3rd Edition, 2002.
4. GOST R 12.3.047–2012. Pozharnaya bezopasnost' tekhnologicheskikh processov. Obshchie trebovaniya. Metody kontrolya. M.: Standartinform, 2014. 61 s.

5. Ryzhov A.M. O matematicheskom modelirovanii pozharov v pomeshcheniya // Ognestojkost' stroitel'nyh konstrukcij. M.: VNIPO, 1978. Vyp. 6. S. 16–26.
6. Koznov D.V. Vvedenie v programmnyu inzheneriyu. M.: Nacional'nyj otkrytyj universitet «Intuit», 2016. 307 s.
7. Badd Timoti. Ob"ektno-orientirovannoe programmirovaniye v dejstvii: per. s angl. A. Berdnokova / gl. red. V. Usmanov. SPb.: Piter, 1997. 460 s.
8. SITIS SPN-1. Pozharnaya nagruzka. Spravochnik. Redakciya 1 ot 14 maya 2014 g.
9. Bass Len. Arhitektura programmno obespecheniya na praktike: per. s angl. L. Bass. 2-e izd. SPb.: Piter, 2006. 574 s.
10. Butakov S.V. Vysokourovnevye metody informatiki i programmirovaniya: ucheb. posobie. Barnaul: Izd-vo AAEP, 2005. 72 s.
11. Lavrishcheva E.M. Programmnyaya inzheneriya i tekhnologii programmirovaniya slozhnyh sistem: ucheb. dlya vuzov. 2-e izd. ispr. i dop. M.: Izd-vo Yurajt, 2019. 432 s.
12. Bartelimi B., Kryuppa Zh. Ognestojkost' stroitel'nyh konstrukcij: per. s franc. M.V. Predtechenskogo / pod red. V.V. Zhukova. M.: Strojizdat, 1985. 216 s.
13. Horeev P.B. Tekhnologii ob"ektno-orientirovannogo programmirovaniya: ucheb. posobie. M.: Academia, 2004. 447 s.

УДК 51-77:614.8

## **МЕТОДИКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ЭВАКУАЦИЕЙ ЛЮДЕЙ ИЗ ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ**

**Е.А. Коткова;****А.В. Матвеев, кандидат технических наук, доцент.****Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Грамотное планирование путей эвакуации в зданиях с массовым пребыванием людей имеет важнейшее значение в решении задачи обеспечения безопасности. Главным недостатком использования традиционных методов моделирования эвакуации является то, что они хорошо работают на этапе планирования. При моделировании удастся рассмотреть весьма ограниченное количество сценариев с жесткими требованиями к входным параметрам моделей. Однако в реальности развитие ситуации может идти совсем не по рассмотренным ранее сценариям, что будет требовать принятия ситуативных решений в режиме реального времени.

В статье предлагается объединение имитационных моделей эвакуации с методами машинного обучения при решении задачи оценки эффективности управления эвакуацией людей при пожарах в общественных зданиях. Алгоритмы машинного обучения за очень короткое время обеспечат возможность принятия в сложной обстановке адекватного решения по регулированию потоков людей с учетом актуальной информации о реальном расположении людей и источников опасности.

Предложена методика интеллектуального прогнозирования эффективности управления эвакуацией людей из общественных зданий. Результаты исследований показывают, что предлагаемый подход работает в 8–10 раз быстрее, чем существующее традиционные алгоритмы поиска оптимального решения при эвакуации, что имеет очень важное значение в условиях ограниченного времени при критической ситуации.

*Ключевые слова:* эвакуация, имитационное моделирование, машинное обучение, метрики качества моделей, эффективность

## **METHODOLOGY FOR INTELLECTUAL FORECASTING OF THE EFFICIENCY OF MANAGING PEOPLE EVACUATION OF FROM PUBLIC BUILDINGS**

E.A. Kotkova; A.V. Matveev.

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

Competent planning of evacuation routes in buildings with mass presence of people is importance in solving the problem of ensuring security. The main disadvantage of using traditional evacuation modeling techniques is that they work well during the planning. When modeling, it is possible to consider a very limited number of scenarios with strict requirements for the input parameters of the models. However, in reality, the development of the situation may not proceed according to the previously considered scenarios, which will require making situational decisions in real time.

The article proposes combining evacuation simulation models with machine learning methods in solving the problem of assessing the effectiveness of evacuation management in case of fires in public buildings. Machine learning algorithms in a very short time will provide the ability

to make an adequate decision in a difficult environment to regulate the flow of people, taking into account relevant information about the real location of people and sources of danger.

The method of intelligent forecasting of the management efficiency of evacuation of people from public buildings is proposed. Research results show that the proposed approach works 8–10 times faster than the existing traditional algorithms for finding the optimal solution for evacuation, which is very important in a time-limited critical situation.

*Keywords:* evacuation, simulation modeling, machine learning, model quality metrics, efficiency

## Введение

Задача обеспечения безопасной и своевременной эвакуации людей при пожарах и чрезвычайных ситуациях (ЧС) была и остается важнейшей проблемой как на этапах проектирования, так и на этапах эксплуатации зданий с массовым пребыванием людей, в том числе общественных зданий. Анализ пожара в торговом центре «Зимняя вишня» в г. Кемерово, произошедшего в марте 2018 г. и унесшего жизни 64 человек, подтверждает крайнюю важность решения проблемы принятия адекватных решений при управлении эвакуацией [1]. Грамотное ситуативное управление эвакуационными потоками, своевременное информирование и инструктирование эвакуирующихся потенциально может снизить количество погибших и пострадавших при пожарах или ЧС в общественных зданиях. С другой стороны, например, во время землетрясения и цунами в Японии в 2011 г. удалось избежать большого количества погибших и травмированных благодаря хорошо организованному планированию действий в ЧС и обеспечения своевременной эвакуации людей в безопасную зону [2]. Данные примеры наглядно демонстрируют, что грамотное планирование путей эвакуации в зданиях с массовым пребыванием людей имеет важнейшее значение в решении задачи обеспечения безопасности.

При обосновании планируемых решений в сложных системах используют методы моделирования, которые получили широкое применение и при планировании путей эвакуации на этапе проектирования зданий. К настоящему времени накоплен достаточно большой класс реализованных моделей и специальных программных средств, позволяющих проводить анализ процесса эвакуации людей при пожарах, оценивать время эвакуации и пожарные риски [3–10]. Исследования данных моделей с использованием программных средств позволяют проводить оценивание эффективности возможных альтернативных решений, а также научно обосновывать рекомендации по управлению в условиях аварийных ситуаций. Помимо традиционных и давно зарекомендовавших себя подходов, реализующих аналитические или имитационные модели эвакуации, в последние годы стали появляться результаты исследований, использующих BIM-технологии [11], VR-технологии и AR-технологии [12].

Главным недостатком использования традиционных методов моделирования является то, что они хорошо работают на этапе планирования, при моделировании удается рассмотреть весьма ограниченное количество сценариев с жесткими требованиями к входным параметрам моделей. Однако в реальности развитие ситуации может идти совсем не по рассмотренным ранее сценариям [13], что будет требовать принятия ситуативных решений в режиме реального времени.

При этом процесс моделирования эвакуации осложняется еще и многими факторами, которые оказывают значительное влияние на адекватность моделей и не учет которых может приводить к ошибкам в результатах расчетов. В первую очередь точные геометрические данные моделируемых зданий, параметры состояний окружающей среды должны быть учтены в используемой модели эвакуации. И результаты моделирования в большой степени основываются на входных параметрах в моделях эвакуации, делая эти результаты чувствительными к незначительным изменениям значений входных параметров. Это означает, что точная аварийная зона или источник пожара, количество людей в каждой зоне здания должны быть точно поданы на вход используемой модели, чтобы точно провести

расчет необходимого времени эвакуации и уровня риска и принимать адекватные решения по управлению эвакуацией.

Таким образом, используемые традиционные модели едва ли способны решать задачу управления эвакуацией в реальном времени в условиях динамически меняющейся ситуации. Решение задачи определения оптимального эвакуационного пути основывается на построении графов полных планов эвакуации и алгоритмах работы с ними, что требует некоторого времени, измеряемого в минутах или даже часах. Данные подходы не могут удовлетворить требование быстрого реагирования в условиях пожара или ЧС, когда каждая временная задержка может оказаться фатальной. Как показывают исследования, задержка на 1 мин в предоставлении решения по эвакуации может привести к дополнительным 5–10 мин на эвакуацию, поскольку окружающая среда в здании быстро меняется в аварийной ситуации [14].

Еще одним существенным ограничением применения традиционных подходов, реализующих аналитическое и имитационное моделирование, является сложность имитирования человеческого поведения, которое характеризуется высокой степенью неопределенности при принятии решений людьми в условиях стрессовой ситуации. И для повышения адекватности моделирования эвакуации используемые модели должны учитывать степень опасности и состояние людей, однако используемые в практике и рекомендуемые к применению модели эвакуации в настоящее время данные факторы не учитывают. Это также значительно снижает их практическую значимость для управления эвакуацией в режиме реального времени.

Для решения перечисленных проблем весьма перспективным видится возможность интеграции традиционных моделей эвакуации с методами машинного обучения, в частности, нейронными сетями. При решении задачи определения времени эвакуации и обоснования оптимального эвакуационного пути из общественного здания можно ожидать, что алгоритмы машинного обучения за очень короткое время (менее 1 мин) обеспечат возможность принятия в сложной обстановке адекватного решения по регулированию потоков людей, находящихся внутри здания, с учетом информации о пространственной топологии здания, реальном расположении людей и источников опасности.

С учетом того, что проблема планирования путей эвакуации является достаточно сложной, влияние могут оказывать факторы, которые достаточно сложно выразить простыми формулами, ожидается, что она будет значительно лучше решена алгоритмами машинного обучения и, к примеру, хорошо обученная нейронная сеть сможет предоставить решения буквально за секунды. Модели машинного обучения (ML-модели) могут изучать и оценивать наилучшие направления для эвакуации, в принципе, при любом возможном состоянии окружающей среды и сценарии ЧС. Сложностью использования ML-моделей является то, что требуется достаточный набор данных для их обучения. И именно здесь могут существенную помощь оказать традиционные подходы моделирования эвакуации, в частности, имитационное моделирование, позволяющее заранее рассмотреть огромное количество сценариев. Информация, извлеченная из имитационных моделей (ИМ), может сформировать тот самый массив данных, с помощью которого можно обучить ML-модель (в частности нейронную сеть), которая в дальнейшем оптимизирует процесс выработки управленческих решений по эвакуации людей из общественных зданий.

### **Имитационное моделирование vs машинное обучение**

Возможность оценки реального уровня безопасности в случаях пожаров и ЧС в зданиях с массовым пребыванием людей напрямую связана с необходимостью создания моделей реальных систем, изучение которых дает возможности определения условий и принятия управленческих решений для экстренного реагирования и минимизации возможных последствий, в том числе за счет оперативной эвакуации людей.

Существуют различные подходы к прогнозированию времени эвакуации и оценке риска при пожарах. Использование методов имитационного моделирования в настоящее время является одним из самых популярных и приоритетных при оценке рисков в сложных системах или процессах. В данной статье рассматривается возможность применения методов имитационного моделирования [15, 16] и машинного обучения [17] при решении задачи эвакуации.

Как имитационное моделирование, так и машинное обучение позволяют создавать модели реального мира. Проведение экспериментов с реальными системами зачастую слишком сложно и требует больших временных затрат, а порой и вовсе невозможно. В связи с этим целесообразно применение моделей, которые помогают выявить некоторые закономерности того или иного процесса, а также проводить эксперименты без риска.

Имитационное моделирование представляет собой инструмент для прогнозирования, позволяющий провести оценку принимаемых решений до их непосредственной реализации. По сравнению с другими инструментами, имитационное моделирование позволяет обрабатывать временные и причинно-следственные зависимости. Кроме того, имитационное моделирование позволяет прогнозировать в условиях неопределенности, а также данный вид моделирования является достаточно наглядным, позволяя визуализировать результаты моделирования (рис. 1).

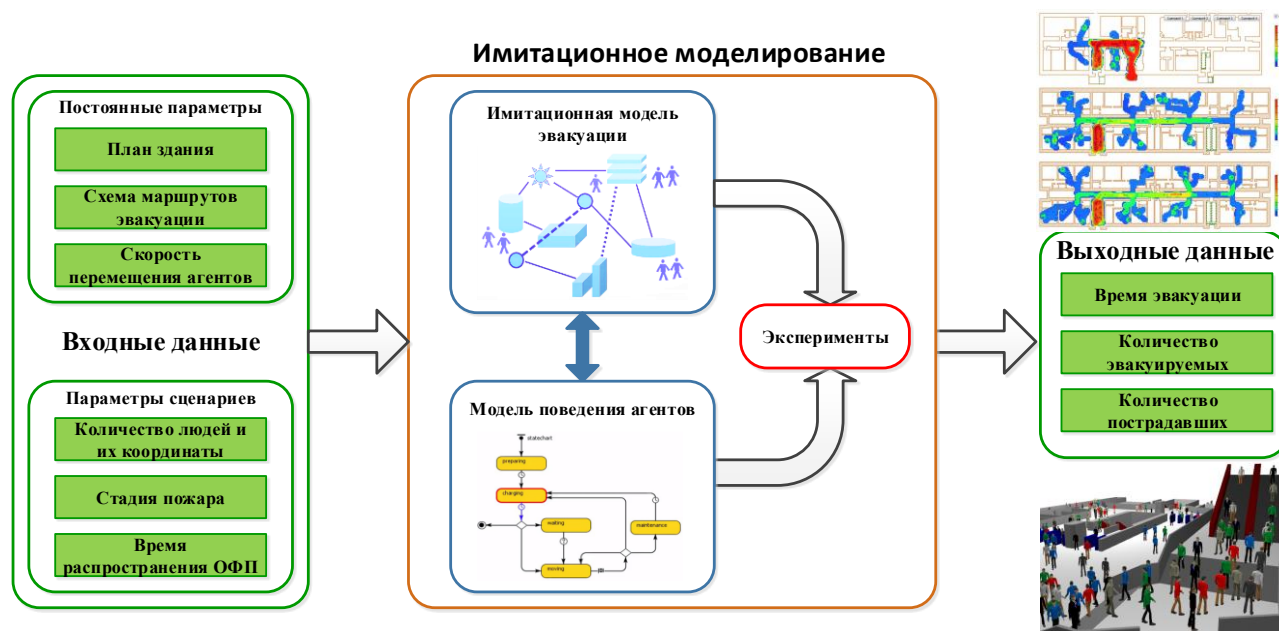


Рис. 1. Схема имитационного моделирования эвакуации (ОФП – опасные факторы пожара)

Для решения задачи оценки эффективности управления эвакуацией при пожарах или ЧС в общественных зданиях в качестве входных данных для имитационной модели могут использоваться:

- планы зданий с сформированными путями эвакуации;
- максимальная вместимость людей в здании;
- фактическое количество людей в здании с местами их размещения;
- скорость перемещения людей в здании;
- стадия пожара;
- время распространения ОФП и др.

На выходе модели могут быть получены результаты оценки:

- времени эвакуации людей из здания;



– количества эвакуированных за заданный период времени;

– количества пострадавших и др.

Для оценки возможности использования как ИМ, так и ML-моделей необходимо рассмотреть фундаментальные различия между данными подходами (рис. 2).

#### Фундаментальные отличия имитационного моделирования и машинного обучения

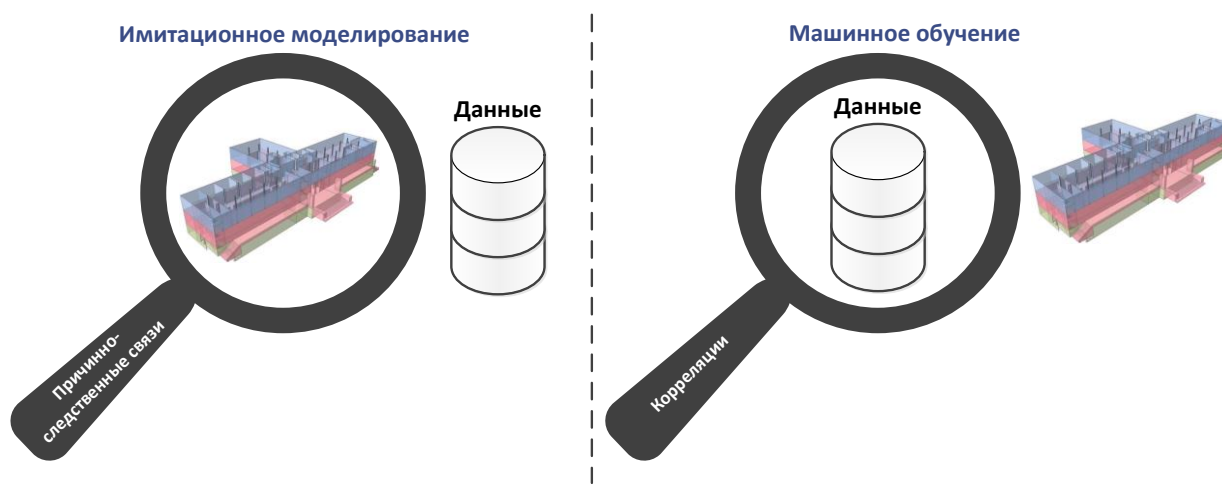


Рис. 2. Фундаментальные различия между методами имитационного моделирования и машинного обучения

ИМ основывается на предсказательной способности причинно-следственных связей, встроенных в модель. Основные этапы построения ИМ состоят в том, чтобы сначала определить основные и существенные компоненты системы, которые должны быть интегрированы в модель, взаимосвязь между ними, а затем изучить, как будет вести себя система в реальности. Для достижения этой цели исследователь должен достаточно точно представлять себе всю предметную область, для которой строится модель. Это позволит ему точно определить, какие компоненты должны быть включены в модель, а какие нет, раскрыть все взаимосвязи и закономерности, присущие реальной системе, а значит обеспечить адекватность моделирования. Данные результаты позволят обосновать требования к экзогенным параметрам модели, являющиеся входными в модели эвакуации, на основе которых будут определять эндогенные переменные, для исследования которых и создается модель (время эвакуации, количество эвакуирующихся, количество погибших и др.). Очень часто значения входных параметров имеют случайные вариации и, таким образом, представляются в модели с использованием каких-то распределений вероятностей. В результате требуется многократная прогонка имитационной модели, для каждой конкретной реализации входных параметров, накопления и обработки статистики результатов моделирования.

Возможности машинного обучения в этом смысле существенно отличаются и проявляются в детальном изучении сохраненной в прошлом информации. При построении ML-модели исследователь выявляет закономерности и корреляции в данных (рис. 2). В большинстве случаев для выявления этих закономерностей не требуется детально изучать процесс функционирования реальной системы, отсутствует необходимость декомпозировать процесс эвакуации на отдельные элементы и составляющие, а также описывать их взаимосвязь.

Машинное обучение основано на алгоритмах, способных выявлять закономерности из анализа множества данных, которые в дальнейшем можно использовать, в том числе и для прогнозирования [18]. То есть сущность машинного обучения состоит не в прямом

решении тех или иных задач, а в обучении за счет применения решений на множестве сходных задач (либо на прецедентах, либо на формализованных знаниях экспертов).

Когда речь идет о машинном обучении, в большинстве случаев подразумевается обучение с учителем. Это, безусловно, не означает, что обучение без учителя нельзя использовать вместе с имитационным моделированием. Однако именно обучение с учителем имеет больше потенциальных возможностей для получения синергетического эффекта от одновременного его использования с имитационным моделированием и гораздо лучше подходит для анализа многочисленных сценариев.

В обучении с учителем исходные данные, характеризующие каждый из отдельных сценариев, вносятся в алгоритм в виде набора множества параметров вместе с результатами. Цель состоит в том, чтобы выявить закономерности из сформированного набора данных. Обучение с учителем позволяет решать задачи:

- регрессии, которая используется для прогнозирования некоторых количественных значений (время эвакуации, количество эвакуирующихся или количество пострадавших);
- классификации, которая используется для прогнозирования категориальных значений (принятия конкретных управленческих решений).

Независимо от используемого метода обучения возможно включить обученную модель в процесс моделирования, чтобы использовать ее как функцию, которая сможет прогнозировать числовые показатели или класс, к которому принадлежит входящий набор данных.

Таким образом, каждый из двух рассматриваемых подходов характеризуется определенными преимуществами для оценки риска при пожарах в зданиях с массовым пребыванием людей (табл.).

**Таблица. Преимущества применения методов машинного обучения и имитационного моделирования для решения задачи оценки риска**

Машинное обучение	Имитационное моделирование
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ отсутствует необходимость раскрывать неявные правила и зависимости управленческих решений и возможных состояний исследуемого объекта (все они содержатся в данных);</li> <li>✓ быстрые и надежные прогностические модели (могут использоваться для прогнозирования будущих результатов на основе ретроспективных данных);</li> <li>✓ возможность оперативно обосновать принятие решений для достижения требуемого результата;</li> <li>✓ возможность обрабатывать информацию о состоянии объекта в реальном времени и корректировать управленческие решения</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ рассмотрение динамики объекта, учет стохастических факторов и возможность оценки результатов в любой момент функционирования исследуемого объекта;</li> <li>✓ изучение правил и причинно-следственных связей, которые определяют процесс функционирования объекта, анализ влияния принимаемых решений на результат;</li> <li>✓ изучение новых сценариев, которые ранее не рассматривались и не учитываются во множестве ретроспективных данных;</li> <li>✓ возможность оценить эффективность применения различных управленческих решений на каждом этапе процесса функционирования реального объекта и выбрать наиболее оптимальное;</li> <li>✓ возможность визуализации влияния управленческих решений перед их практической реализацией</li> </ul>

### **Имитационное моделирование & машинное обучение**

Выделив уникальные возможности применения каждого из двух рассматриваемых подходов, весьма логичным видится рассмотрение перспектив интеграции методов машинного обучения в процесс моделирования процесса эвакуации людей и оценивания пожарных рисков. Использование достоинств каждого из исследуемых методов может

дать возможность добиться определенного синергетического эффекта и получить дополнительные преимущества от объединения имитационного моделирования и машинного обучения.

Можно выделить пять вариантов объединения и совместного использования данных подходов: некоторые из них дадут дополнительные возможности для разработчиков моделей, а некоторые для аналитиков данных (рис. 3). Сущность первых четырех вариантов в целом близка друг к другу, во всех них включаем машинное обучение в процесс имитационного моделирования в зависимости от конкретного варианта использования. А пятый отличается от остальных тем, что он не предполагает включение машинного обучения в сам процесс имитационного моделирования, вместо этого выходные данные ИМ могут быть использованы в качестве обучающих данных для ML-модели.

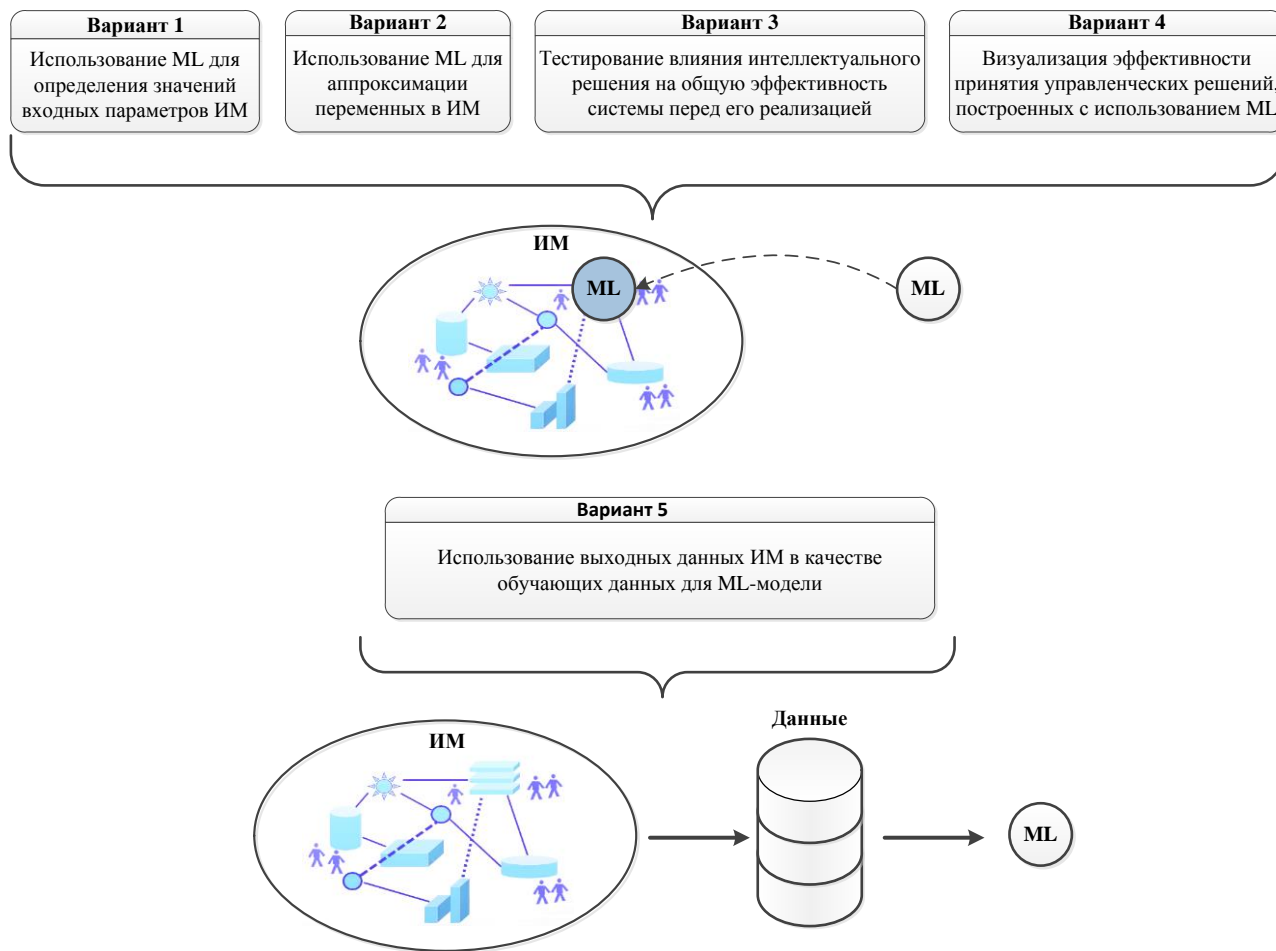


Рис. 3. Варианты одновременного использования ML-моделей и ИМ

Начнем рассмотрение со случаев, когда в ИМ эвакуации могут использоваться подходы машинного обучения для обоснования входных данных.

Вариант 1: Использование методов машинного обучения для определения значений входных параметров ИМ.

Самым очевидным на первый взгляд является способ использования машинного обучения при идентификации входных параметров, используемых далее в ИМ эвакуации.

Например, использование систем искусственного интеллекта, реализующих методы машинного обучения, для мониторинга количества людей в здании и определения мест их локации [19–21]. Время задержки начала процесса эвакуации от момента срабатывания пожарной сигнализации может быть определено на основе решения задачи регрессии с использованием методов машинного обучения. Также возможно использование решения

задачи классификации при применении машинного обучения для идентификации агентов, поведение которых отличается от остальных, находящихся в здании. Данные агенты, к примеру, могут входить в состояние стресса и паники, изменяя при этом свое поведение, что должно быть в ИМ.

В целом результаты, полученные в ML-моделях, могут формировать значения входных параметров ИМ.

Вариант 2: Использование методов машинного обучения для аппроксимации переменных в имитируемой системе.

Зачастую при отсутствии возможности однозначно определить причинно-следственные связи, которые формируют поведение реальной системы, некоторые параметры или характеристики реальной системы должны быть аппроксимированы. В таких случаях необходимо, например, задавать распределения вероятностей соответствующих параметров. Причем в некоторых случаях такие входные данные могут рассматриваться как одномерные случайные величины, а в ряде случаев входные параметры могут задаваться случайным вектором с многомерными распределениями вероятностей. При наличии больших объемов исторических данных по значениям этих параметров возможно построение таких зависимостей и использование их в ИМ.

Данный вариант использования методов машинного обучения в ИМ во многом похож на предыдущий вариант. Основным достоинством его применения в данном случае является возможность повысить точность ИМ.

Среди основных недостатков использования методов имитационного моделирования можно выделить их недостаточно высокую точность, проблему корреляции переменных, которая может привести к обманчивым заключениям. Данные подходы в целом не предназначены для моделирования физических систем с высокими требованиями к точности результатов моделирования. Кроме того, очень часто бывает сложно оценить с высокой точностью события или параметры со сравнительно низкой вероятностью их появления. Но если они имеют существенное влияние для логики функционирования исследуемой системы, то должны быть обязательно включены в модель. В этом случае значения таких параметров можно аппроксимировать с использованием методов машинного обучения, которые зачастую дают более точные результаты [22, 23].

Вариант 3: Тестирование влияния интеллектуального решения на общую эффективность системы перед его реализацией.

Управленческие решения, предложенные рекомендательными системами с использованием методов машинного обучения, могут быть протестированы с помощью ИМ, которые позволяют оценить их эффективность, а также тестировать альтернативные варианты и сценарии, проводя сравнительный анализ, и наблюдать, как изменяются при этом результаты моделирования.

Вариант 4: Визуализация эффективности принятия управленческих решений, построенных с использованием методов машинного обучения.

При принятии управленческих решений, которые находятся с использованием машинного обучения, аналитику не всегда легко представить результаты своих ML-решений человеку, не погруженному достаточно глубоко в науку о данных, например лицу, принимающему решения. В этих случаях с успехом могут быть применены инструменты ИМ, в которых реализованы возможности наглядного представления динамики протекания процессов или функционирования исследуемых сложных объектов или систем.

Вариант 5: Использование выходных данных ИМ в качестве обучающих данных для ML-модели.

В решении задачи оценки эффективности управления эвакуацией предложено использовать принципиально иной подход. Сами по себе ИМ могут быть использованы в качестве виртуальной безрисковой среды для оценки последствий в каждой сложившейся ситуации, а также результата эффективности принятия альтернативных вариантов управленческих решений. Однако количество возможных сценариев в процессе эвакуации

людей из здания в случае пожара или ЧС может быть настолько велико, что предусмотреть все из них фактически невозможно. В этих условиях предлагается выходные данные ИМ использовать в качестве обучающих данных для ML-модели, то есть будет решаться задача обучения прецедентам. Есть две основные причины для реализации данного подхода:

1. ИМ является отличным средством для генерации необходимого количества размеченных данных, так как ИМ позволяют с наибольшей адекватностью отразить функционирование реальных систем. Множество новых сценариев могут быть с успехом реализованы с использованием ИМ. Полученные новые размеченные входные данные совместно с результатами моделирования могут быть использованы для увеличения наборов данных, позволяя при этом протестировать различные алгоритмы машинного обучения для обоснования возможности их применения в реальных системах.

2. Преимущество использования такого подхода состоит в том, что построенная ML-модель будет аппроксимировать выходные данные ИМ, которая сама по себе является более сложной и ресурсоемкой. С использованием ML-модели можно значительно быстрее получать результаты оценки времени эвакуации и прогнозируемое количество пострадавших, что быстрее позволит принимать адекватные управленческие решения. При данном подходе будет отсутствовать необходимость моделировать и анализировать различные сценарии, соответствующие различным управленческим решениям. ML-модель сможет сама рекомендовать оптимальное решение при реализации ее взаимодействия с системой оповещения и управления эвакуацией.

В этом и будут состоять основные преимущества объединения прогностических возможностей имитационного моделирования и машинного обучения.

### Методика прогнозирования эффективности управления эвакуацией при использовании моделей машинного обучения

Таким образом, методику прогнозирования результатов эвакуации людей в условиях сложившейся обстановки с использованием ML-моделей ИМ схематично можно представить в виде схемы на рис. 4.

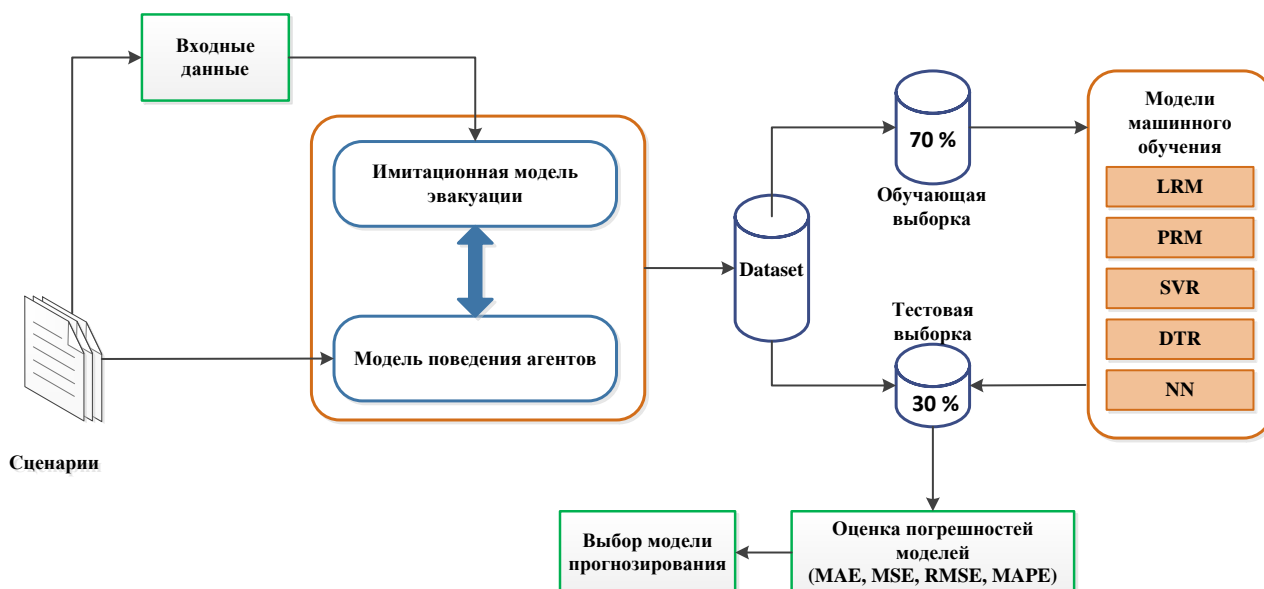


Рис. 4. Структурная схема методики прогнозирования эффективности управления эвакуацией людей с использованием моделей машинного обучения

Реализация данной методики может быть представлена следующей последовательностью этапов:

Этап 1. Формирование множества сценариев эвакуации  $S$ .

Входные данные для каждого сценария, реализуемого в ИМ, образуют множество признаков  $d_1, d_2, \dots, d_n$ . Вектор  $(d_1(s), d_2(s), \dots, d_n(s))$  образует признаковое описание эксперимента  $s \in S$ .

Совокупность признаковых описаний всех сценариев эвакуации из обучающей выборки образует матрицу признаков сценариев:

$$D = \parallel d_i(s_j) \parallel_{k \times n} = \begin{pmatrix} d_1(s_1) & \cdots & d_n(s_1) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ d_1(s_k) & \cdots & d_n(s_k) \end{pmatrix}.$$

Этап 2. Проведение экспериментов с ИМ.

При использовании разработанной ранее ИМ эвакуации проводятся эксперименты по реализации каждого из сформированных сценариев эвакуации  $s \in S$  и формирование множества результатов  $W$  (например расчетное время эвакуации, количество пострадавших или эвакуирующихся за заданное время).

Этап 3. Разделение всего набора данных на обучающую выборку (70 %) и тестовую выборку (30 %).

Из всего множества сценариев эвакуации  $S$  выбирается подмножество  $S^m = (s_1, s_2, \dots, s_m) \subset S$ , которое в совокупности с подмножеством ответов  $W^m = (w_1, w_2, \dots, w_m)$  будут формировать набор данных для обучения.

Этап 4. Обучение моделей.

По обучающей выборке  $\{d_1(s_i), d_2(s_i), \dots, d_n(s_i), w_i\}_{i=1}^m$  строятся модели  $M = \mu(S^m)$ :

$$\begin{pmatrix} d_1(s_1) & \cdots & d_n(s_1) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ d_1(s_m) & \cdots & d_n(s_m) \end{pmatrix} \xrightarrow{f} \begin{pmatrix} w_1 \\ \dots \\ w_m \end{pmatrix} \xrightarrow{\mu} M.$$

В настоящем исследовании были использованы ML-модели, решающие задачу регрессии при оценивании количественных результатов эвакуации: линейная регрессия (Linear Regression Model, LRM), полиномиальная регрессия (Polynomial Regression Model, PRM), регрессия опорных векторов (Support Vector Regression, SVR), регрессия дерева решений (Decision Tree Regression, DTR), нейросеть (Neural Network, NN).

Этап 5. Оценка погрешностей моделей.

Модель  $M$  для новых сценариев  $S^p = (s'_1, s'_2, \dots, s'_p) \subset S$  выдает результаты  $M(S^p)$ :

$$\begin{pmatrix} d_1(s'_1) & \cdots & d_n(s'_1) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ d_1(s'_p) & \cdots & d_n(s'_p) \end{pmatrix} \xrightarrow{M} \begin{pmatrix} M(s'_1) \\ \dots \\ M(s'_p) \end{pmatrix}.$$

Производится оценка качества разработанных на предыдущем этапе моделей  $Q(M(S^p), W^p)$ , где  $Q$  – функционал качества ML-модели.

В виде функционала качества моделей могут использоваться стандартные метрики для задач регрессии: MAE (средняя абсолютная ошибка), MSE (среднеквадратическая ошибка), RMSE (корень из среднеквадратической ошибки), MAPE (средняя процентная ошибка).

Этап 6. Выбор наиболее точной модели для прогнозирования результатов эвакуации.

Критерием выбора модели для прогнозирования результатов эвакуации является минимизация функционала качества модели:

$$\mu(S^p) = \arg \min_{M \in M^\Sigma} Q(M(S^p), W^p),$$

где  $M^\Sigma$  – множество ML-моделей.

Этап 7. Прогнозирование результатов эвакуации людей при использовании выбранной ML-модели.

В условиях сложившейся ситуации в случае пожара в здании и результатов мониторинга количества людей, находящихся в здании в определенный момент времени, проводится расчет результата эвакуации (время эвакуации, количество пострадавших или эвакуирующихся за заданное время) на основе выбранной ML-модели.

### Выводы

Существующие в настоящее время подходы к управлению эвакуацией имеют существенный недостаток, заключающийся в том, что управленческие решения формируются заблаговременно и в неполной мере позволяют решать задачу в режиме реального времени в динамически меняющихся условиях обстановки.

Исследование двух рассматриваемых подходов к моделированию и прогнозированию эффективности управления эвакуацией при пожарах или ЧС в зданиях с массовым пребыванием людей позволяет выявить некоторые фундаментальные различия между данными подходами. Имитационное моделирование имеет свои прогностические возможности в первую очередь из-за наличия причинно-следственных связей, встроенных в модель. Построение ИМ состоит в том, чтобы сначала идентифицировать параметры компонентов системы, а затем обеспечить структурное подобие модели реальной системе. При построении модели машинного обучения исследователь фокусирует внимание на выявлении закономерностей и корреляций в имеющихся данных. В большинстве случаев для выявления этих закономерностей не требуется детальное описание функционирования реальных систем.

Таким образом, проведенные исследования позволили выявить, что как имитационное моделирование, так и машинное обучение обладают некоторыми уникальными качествами и перспективными возможностями. В решении задачи оценки эффективности управления эвакуацией при пожарах в зданиях с массовым пребыванием людей видится логичное решение в объединении данных подходов, используя возможности применения как имитационного моделирования, так и машинного обучения, позволяющее получить определенный синергетический эффект от их одновременного использования.

Разработана методика прогнозирования эффективности управления эвакуацией людей с одновременным использованием данных подходов. С помощью ИМ исследуется множество сценариев в зависимости от различных вариантов складывающейся обстановки при эвакуации. Размеченные входные данные совместно с результатами имитационного моделирования используются для увеличения наборов данных, которые далее используются в алгоритмах машинного обучения и построения ML-моделей. ML-модели могут применяться в реальных системах для прогнозирования результатов эвакуации в режиме реального времени.

Предлагаемый инструментарий позволит далее решать задачу оптимального планирования путей эвакуации в условиях сложившейся обстановки, что имеет большое значение для безопасной и эффективной эвакуации людей из общественных зданий. Современные методы компьютерного моделирования позволяют проанализировать различные сценарии эвакуации, но при этом лишь ограниченное их количество.

Результаты исследований показывают, что предлагаемый подход работает в 8–10 раз быстрее, чем существующие традиционные алгоритмы поиска оптимального решения при эвакуации, что имеет очень важное значение в условиях ограниченного времени при пожаре или ЧС.

## Литература

1. Домаков В.В., Матвеев А.В., Матвеев В.В. Правовые предпосылки национальной трагедии в торгово-развлекательном центре «Зимняя вишня» г. Кемерово // Национальная безопасность и стратегическое планирование. 2018. № 1 (21). С. 48–63.
2. Agent-based simulation of the 2011 great east japan earthquake/tsunami evacuation: An integrated model of tsunami inundation and evacuation / E. Mas [et al.] // Journal of Natural Disaster Science. 2012. Vol. 34. № 1. P. 41–57.
3. Самошин Д.А. Современные программные комплексы для моделирования процесса эвакуации людей // Пожарная безопасность в строительстве. 2011. № 1 С. 62–65.
4. Теплова В.В., Сизов А.С., Миргалеев А.Т. Математическое моделирование процесса эвакуации людей из помещения при пожаре на основании теории террайнов // Телекоммуникации. 2011. № 3. С. 43–48.
5. Matveev A.V. The model of the process of emergency evacuation from the building while using the self-rescue equipment in case of the fire // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2018. Vol. 13. № 15. P. 4535–4542.
6. Кочегаров А.В., Горюнов А.С. Моделирование процесса эвакуации людей при помощи различных методов // Современные технологии обеспечения гражданской обороны и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. 2018. № 1 (9). С. 229–234.
7. Николенко С.Д., Сазонова С.А. Автоматизация расчетов по интегральной математической модели времени эвакуации людей при пожаре // Моделирование систем и процессов. 2017. Т. 10. № 1. С. 43–49. DOI 10.12737/article\_5926f7b19c9691.74336556.
8. Холщевников В.В., Парфененко А.П. Сопоставление различных моделей движения людских потоков и результатов программно-вычислительных комплексов // Пожаровзрывобезопасность. 2015. Т. 24. № 5. С. 68–75.
9. Мультиагентная модель процесса эвакуации людей из помещений при возникновении чрезвычайных ситуаций / А.А. Самарцев [и др.] // Управление большими системами: сб. трудов. 2018. № 72. С. 217–244.
10. Колодкин В.М., Чирков Б.В., Ваштиев В.К. Модель движения людских потоков для управления эвакуацией при пожаре в здании // Вестник Удмуртского университета. Математика. Механика. Компьютерные науки. 2015. Т. 25. № 3. С. 430–438.
11. Кирик Е.С., Попел Е.В. BIM-модель здания и пожарная безопасность // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры: материалы III Междунар. науч.-практ. конф. СПб.: С.-Петербург. гос. архитек.-строит. ун-т, 2020. С. 223–229. DOI 10.23968/BIMAS.2020.029.
12. Евсюков А.А., Морозов Р.В. Виртуальный 3D-тренажер эвакуации людей при пожарах // Информатизация и связь. 2013. № 2. С. 49–51.
13. Пожар за закрытыми дверями: что привело к массовым жертвам в Кемерово. URL: <https://www.rbc.ru/society/26/03/2018/5ab8a9089a794726b2f4ea93> (дата обращения: 12.09.2021).
14. A BIM centered indoor localization algorithm to support building fire emergency response operations / N. Li [et al.] // Automation in Construction. 2014. Vol. 42. P. 78–89.
15. Стольникова Л.Г., Матвеев А.В. Имитационная модель эвакуации людей из здания в случае пожара // Теоретические и прикладные вопросы комплексной безопасности: материалы I Междунар. науч.-практ. конф. СПб.: Петровская академия наук и искусств, 2018. С. 81–86.
16. Кирилов А.Э., Трефилов В.А. Разработка метода оценки безопасности персонала компрессорного цеха при эвакуации с использованием методов имитационного моделирования // Газовая промышленность. 2017. № 6 (753). С. 106–111.
17. Zhao X., Yan X., Yu A., Van Hentenryck P. Prediction and behavioral analysis of travel mode choice: a comparison of machine learning and logit models // Travel Behav. Soc. 2020. № 20. P. 22–35.



18. Матвеев А.В., Богданова Е.М. Классификация методов прогнозирования чрезвычайных ситуаций // Национальная безопасность и стратегическое планирование. 2018. № 4 (24). С. 61–70.
19. Castano B., Rodriguez-Moreno M. A ZigBee and RFID hybrid system for people monitoring and helping inside large buildings // In 2010 IEEE Symposium on Industrial Electronics and Applications (ISIEA). 2010. October. Pp. 16–21. IEEE.
20. Panchalingam R., Chan K.C. A state-of-the-art review on artificial intelligence for Smart Buildings // Intelligent Buildings International. 2021. Vol. 13. №. 4. P. 203–226.
21. Искусственный интеллект и видеоаналитика в мультирубежных периметрах защиты. URL: <https://www.secuteck.ru/articles/iskusstvennyj-intellekt-i-videoanalitika-v-multirubezhnyh-perimetrah-zashchity> (дата обращения: 12.09.2021).
22. Матвеев М.Г., Сирота Е.А. Исследование решения задачи параметрической идентификации моделей распределенных динамических процессов // Вестник Воронежского государственного университета. Сер.: Системный анализ и информационные технологии. 2021. № 2. С. 32–40. DOI: 10.17308/sait.2021L2/3503.
23. Ярыгин А.А. Иерархия вероятностных моделей машинного обучения // Высокопроизводительные вычислительные системы и технологии. 2018. Т. 2. № 2. С. 130–137.

## References

1. Domakov V.V., Matveev A.V., Matveev V.V. Pravovye predposylki nacional'noj tragedii v torgovo-razvlekatel'nom centre «Zimnyaya vishnya» g. Kemerovo // Nacional'naya bezopasnost' i strategicheskoe planirovanie. 2018. № 1 (21). S. 48–63.
2. Agent-based simulation of the 2011 great east japan earthquake/tsunami evacuation: An integrated model of tsunami inundation and evacuation / E. Mas [et al.] // Journal of Natural Disaster Science. 2012. Vol. 34. №. 1. P. 41–57.
3. Samoshin D.A. Sovremennye programmnye komplekсы dlya modelirovaniya processa evakuacii lyudej // Pozharnaya bezopasnost' v stroitel'stve. 2011. № 1. S. 62–65.
4. Teplova V.V., Sizov A.S., Mirgaleev A.T. Matematicheskoe modelirovanie processa evakuacii lyudej iz pomeshcheniya pri pozhare na osnovanii teorii terrajnov // Telekommunikacii. 2011. № 3. S. 43–48.
5. Matveev A.V. The model of the process of emergency evacuation from the building while using the self-rescue equipment in case of the fire // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2018. Vol. 13. № 15. P. 4535–4542.
6. Kochegarov A.V., Goryunov A.S. Modelirovanie processa evakuacii lyudej pri pomoshchi razlichnyh metodov // Sovremennye tekhnologii obespecheniya grazhdanskoj oborony i likvidacii posledstvij chrezvychajnyh situacij. 2018. № 1 (9). S. 229–234.
7. Nikolenko S.D., Sazonova S.A. Avtomatizaciya raschetov po integral'noj matematicheskoj modeli vremeni evakuacii lyudej pri pozhare // Modelirovanie sistem i processov. 2017. T. 10. № 1. S. 43–49. DOI 10.12737/article\_5926f7b19c9691.74336556.
8. Holshchevnikov V.V., Parfenenko A.P. Sopostavlenie razlichnyh modelej dvizheniya lyudskih potokov i rezul'tatov programmno-vychislitel'nyh kompleksov // Pozharovzryvobezopasnost'. 2015. T. 24. № 5. S. 68–75.
9. Mul'tiagentnaya model' processa evakuacii lyudej iz pomeshchenij pri vozniknovenii chrezvychajnyh situacij / A.A. Samarcev [i dr.] // Upravlenie bol'shimi sistemami: sb. trudov. 2018. № 72. S. 217–244.
10. Kolodkin V.M., Chirkov B.V., Vashtiev V.K. Model' dvizheniya lyudskih potokov dlya upravleniya evakuaciej pri pozhare v zdanii // Vestnik Udmurtskogo universiteta. Matematika. Mekhanika. Komp'yuternye nauki. 2015. T. 25. № 3. S. 430–438.
11. Kirik E.S., Popel E.V. BIM-model' zdaniya i pozharnaya bezopasnost' // BIM-modelirovanie v zadachah stroitel'stva i arhitektury: materialy III Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. SPb.: S.-Peterb. gos. arhitek.-stroit. un-t, 2020. S. 223–229. DOI 10.23968/BIMAC.2020.029.

12. Evsyukov A.A., Morozov R.V. Virtual'nyj 3D-trenazher evakuacii lyudej pri pozharah // *Informatizaciya i svyaz*. 2013. № 2. S. 49–51.
13. Pozhar za zakrytymi dveryami: chto privelo k massovym zhertvam v Kemerovo. URL: <https://www.rbc.ru/society/26/03/2018/5ab8a9089a794726b2f4ea93> (data obrashcheniya: 12.09.2021).
14. A BIM centered indoor localization algorithm to support building fire emergency response operations / N. Li [et al.] // *Automation in Construction*. 2014. Vol. 42. P. 78–89.
15. Stol'nikova L.G., Matveev A.V. Imitacionnaya model' evakuacii lyudej iz zdaniya v sluchae pozhara // *Teoreticheskie i prikladnye voprosy kompleksnoj bezopasnosti: materialy I Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. SPb.: Petrovskaya akademiya nauk i iskusstv*, 2018. S. 81–86.
16. Kirilov A.E., Trefilov V.A. Razrabotka metoda ocenki bezopasnosti personala kompressorogo cekha pri evakuacii s ispol'zovaniem metodov imitacionnogo // *Gazovaya promyshlennost'*. 2017. № 6 (753). S. 106–111.
17. Zhao X., Yan X., Yu A., Van Hentenryck P. Prediction and behavioral analysis of travel mode choice: a comparison of machine learning and logit models // *Travel Behav. Soc.* 2020. № 20. P. 22–35.
18. Matveev A.V., Bogdanova E.M. Klassifikaciya metodov prognozirovaniya chrezvychajnyh situacij // *Nacional'naya bezopasnost' i strategicheskoe planirovanie*. 2018. № 4 (24). S. 61–70.
19. Castano B., Rodriguez-Moreno M. A ZigBee and RFID hybrid system for people monitoring and helping inside large buildings // In 2010 IEEE Symposium on Industrial Electronics and Applications (ISIEA). 2010. October. Pp. 16–21. IEEE.
20. Panchalingam R., Chan K.C. A state-of-the-art review on artificial intelligence for Smart Buildings // *Intelligent Buildings International*. 2021. Vol. 13. № 4. P. 203–226.
21. Iskusstvennyj intellekt i videoanalitika v mul'tirubezhnyh perimetrah zashchity. URL: <https://www.secuteck.ru/articles/iskusstvennyj-intellekt-i-videoanalitika-v-multirubezhnyh-perimetrah-zashchity> (data obrashcheniya: 12.09.2021).
22. Matveev M.G., Sirota E.A. Issledovanie resheniya zadachi parametricheskoj identifikacii modelej raspredelennyh dinamicheskikh processov // *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser.: Sistemnyj analiz i informacionnye tekhnologii*. 2021. № 2. S. 32–40. DOI: 10.17308/sait.202L2/3503.
23. Yarygin A.A. Ierarhiya veroyatnostnyh modelej mashinnogo obucheniya // *Vysokoproizvoditel'nye vychislitel'nye sistemy i tekhnologii*. 2018. T. 2. № 2. S. 130–137.

---

---

## ЭКОНОМИКА, СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

---

---

УДК 519.711

### **МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА УПРАВЛЕНИЯ ИНВЕСТИРОВАНИЕМ В ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ПРОЕКТЫ**

**В.Б. Вилков, кандидат физико-математических наук, доцент.**

**Военная академия материально-технического обеспечения  
им. генерала армии А.В. Хрулёва.**

**В.А. Плотников, доктор экономических наук, профессор.**

**Санкт-Петербургский государственный экономический университет.**

**А.К. Черных, доктор технических наук, доцент.**

**Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Показана необходимость активизации инвестиционной деятельности в современных социально-экономических условиях, характеризующихся высокой нестабильностью и неопределенностью. Для активизации инвестиционного процесса предложено использовать новую модель оценки целесообразности и эффективности инвестиций. Рассмотрена задача моделирования ожидаемой прибыли от инвестиционных проектов и ее распределения среди инвесторов. Предполагается, что точной информацией о предполагаемых доходах инвесторы не располагают. Проблема моделируется в форме нечеткой кооперативной игры. Это позволяет выбрать оптимальную игру, для которой вектор Шепли задает прогноз величины и распределения ожидаемой прибыли. Предложен легко реализуемый в виде компьютерного приложения алгоритм решения задачи моделирования инвестиционной деятельности.

*Ключевые слова:* инвестирование, инвестиционный проект, распределение прибыли, кооперативная игра, нечеткие множества, вектор Шепли

### **THE MODEL OF PROCESS MANAGEMENT BY INVESTING IN PERSPECTIVE PROJECTS**

V.B. Vilkov. Military academy of logistics.

V.A. Plotnikov. Saint-Petersburg state university of economics.

A.K. Chernykh. Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

The need to intensify investment activity in modern socio-economic conditions, characterized by high instability and uncertainty, is shown. To activate the investment process, it is proposed to use a new model for assessing the feasibility and efficiency of investments. The problem of modeling the expected profit from investment projects and its distribution among investors is considered. It is assumed that investors do not have accurate information about the expected returns. The problem is modeled in the form of a fuzzy cooperative game. This allows you to choose the optimal game for which the Shapley vector specifies the forecast of the magnitude and distribution of the expected profit. An algorithm for solving the problem of modeling investment activity, which is easily implemented in the form of a computer application, is proposed.

*Keywords:* investment, investment project, profit distribution, cooperative game, fuzzy sets, Shapley vector

## Введение

Сегодняшняя экономика развивается в условиях нестабильности, которая носит системный характер [1–3]. Современный эпизод этой нестабильности, как правило, увязывается с пандемией Covid-19 [4–6], но причины ее, по мнению авторов, являются более глубокими и обусловлены трансформационными процессами в российской и мировой экономике [7]. Эти трансформации связаны с кардинальными изменениями в технологической, социальной, политической и иных сферах. И, по-видимому, в краткосрочной перспективе они не будут завершены, что требует анализа перспективных мер по преодолению «новой нормальности» [8].

Сам термин «новая нормальность» появился в научном и общественно-политическом лексиконе сравнительно недавно. По мнению Е. Брагиной (с которым вполне можно согласиться), «примерно суть новой нормальности, если исходить из разных подходов, подкупает своей простотой: «Экономика не восстанавливается после кризиса в привычной (нормальной) циклической последовательности»... Термин «новая нормальность», хотя пока ещё мало что объясняет, но всё же обещает некую попытку обновления в понимании нынешнего экономического положения... В мире происходят быстрые сдвиги, кардинальные изменения, возможно, в них надо искать решение насущных экономических и связанных с этим политических проблем» [9].

Многие эксперты высказывают точку зрения о том, что переходный период в развитии мировой и российской экономики может затянуться. В то же время есть насущные проблемы, которые надо решать сегодня, не дожидаясь окончания этого переходного периода. В этой связи следует, продолжая изучать новые тренды развития и возможности управления ими, более активно и эффективно использовать известные инструменты стимулирования социально-экономического развития. Основной акцент при этом следует сделать на развитие государственно-частного партнерства и в целом – на активизацию взаимодействия государства и частного бизнеса [10–12], а также на стимулирование предпринимательской активности частного сектора.

Важность второго направления обусловлена тем, что современная российская экономическая модель является смешанной, в ней серьезную роль играет рыночный сектор. Поэтому следует всемерно использовать его потенциал. В частности, заслуживает более пристального внимания разработка и внедрение новых моделей инвестирования, которые не только способствуют структурной перестройке экономики, что лежит в русле решения задач трансформации и выхода из состояния «новой нормальности», но и способны дать мощный импульс экономическому росту за счет присущего инвестициям мультипликативного эффекта. Именно рассмотрению этих вопросов посвящено авторское исследование, результаты которого приведены в данной статье.

## Постановка задачи моделирования

По мнению авторов, повышение эффективности инвестиционного процесса во многом связано с совершенствованием используемых для управления им моделей. Причем эти модели должны строиться на современной экономико-математической основе, что позволяет их масштабировать и тиражировать в условиях формирования цифровой экономики и интенсивной цифровизации социальных, экономических и управленческих процессов.

Рассматривается следующая задача. Имеется  $n$  инвесторов, обозначать которые будем  $A_1, A_2, \dots, A_n$ , а их множество –  $N$ . Вклад инвестора в проект  $A_i, i = 1, 2, \dots, n$  составляет  $a_i$  рублей. Если возникает коалиция (альянс, стратегическое партнерство и т.п.) инвесторов  $S \subseteq N$ , то его участники вкладывают сумму  $\mathfrak{A}(S) = \sum_{i \in S} a_i$ , самый выгодный при инвестировании этой суммы проект  $P(S)$  обещает им прибыль  $v_P(S)$ .

Требуется дать прогноз суммарного и индивидуального для каждого инвестора дохода (прибыли) от участия в инвестиционной деятельности с тем, чтобы повысить их заинтересованность в ее ведении. При этом отметим, что максимальная прибыль, которую могут в сумме в результате реализации самого выгодного проекта получить все инвесторы, равна величине  $v_P(N)$ . В сформулированной задаче требуется определить величину  $v_P(N)$  и долю каждого инвестора в получаемой прибыли.

### Методология моделирования

Новизна авторского подхода к проведению моделирования состоит в совместном использовании для решения описанной выше задачи инструментов теории кооперативных игр [13–16] и теории нечетких множеств [17–20].

Пусть  $G$  есть множество всех кооперативных игр  $n$  лиц с побочными платежами. Характеристическую функцию (доход, который получит коалиция  $S$ , не прибегая к помощи других инвесторов) игры  $g \in G$  будем обозначать  $v_g(S)$ , тогда  $g = (N, v_g, X_g)$ , где  $N = \{1, 2, \dots, n\}$  и

$$X_g = \left\{ x = (x_1, x_2, \dots, x_n) : \sum_{i=1}^n x_i = v_g(N) \leq M, x_i \geq v_g(\{i\}), i = 1, 2, \dots, n \right\}.$$

В рамках рассматриваемой в статье задачи  $M$  – это максимально возможный суммарный доход инвесторов.

Рассмотрим нечеткую игру, (нечеткое множество)  $\hat{g} = (N, v_{\hat{g}})$  с функцией принадлежности  $\mu_{\hat{g}}(g)$ ,  $g \in G$ . Ее характеристическая функция  $v_{\hat{g}}(S)$  каждой коалиции  $S \subseteq N$  соотносит нечеткое число  $\hat{v}_{\hat{g}}^S(u)$ ,  $u \in [0, M]$ , то есть заданное на универсальном множестве  $[0, M]$ .

Функцию принадлежности нечеткого числа  $\hat{v}_{\hat{g}}^S$  будем обозначать  $\mu_{\hat{g}}^S(u)$ . Тогда, согласно правилу нечеткой конъюнкции, можно записать:

$$\mu_{\hat{g}}(g) = \min_{S \subseteq N} \left\{ \mu_{\hat{g}}^S(v_g(S)) \right\}.$$

Будем предполагать, что для каждой коалиции  $S$  функция принадлежности нечеткого числа  $\hat{v}_{\hat{g}}^S$  достигает максимума в единственной точке  $b_{\hat{g}}^S \in [0, M]$  (рис.).

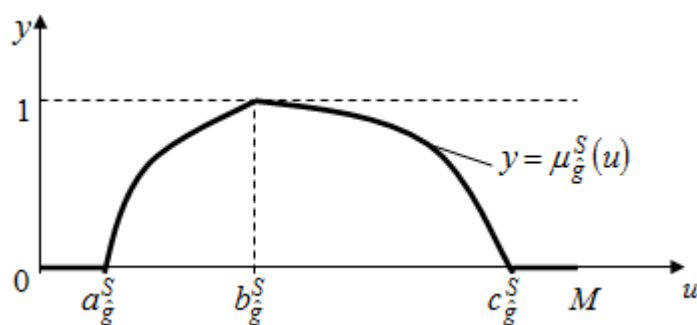


Рис. Пример графика функции принадлежности нечеткого числа  $\hat{v}_{\hat{g}}^S$

Предполагается, что  $v_g(\emptyset) = 0$  для любой игры  $g \in G$ .

Через  $g^*$  обозначим игру, для которой  $v_{g^*}(S) = b_{\hat{g}}^S$ . Имеем:  $\mu_{\hat{g}}(g^*) = 1$ .

Заметим, что  $\mu_{\hat{g}}^S(u)$  – это степень уверенности в том, что значение характеристической функции  $v_g(S)$  для коалиции  $S \subseteq N$  равно  $u$ ,  $\mu_{\hat{g}}(g)$  – это степень «близости» игры  $g$  к игре  $g^*$  (степень уверенности в том, что игра  $g$  «близка» к игре  $g^*$ ). Чем больше  $\mu_{\hat{g}}(g)$ , тем игра  $g$  «ближе» к игре  $g^*$ .

Рассмотрим следующую задачу математического программирования:

$$\begin{cases} v_g(N) \rightarrow \max. \\ (g, \mu_{\hat{g}}(g)) \in \hat{g}. \end{cases} \quad (1)$$

Так как множество допустимых планов является нечетким, то решить задачу (1) можно, используя подход Заде-Беллмана [21, 22]. Определим на множестве  $G$  нечеткое множество цели  $\hat{C}$  – «значение целевой функции «близко» к максимальному (идеальному)» (здесь это  $M$ ) с функцией принадлежности  $\mu_{\hat{C}}(g)$ ,  $g \in G$ . Величина  $\mu_{\hat{C}}(g)$  задает степень уверенности в том, что значение целевой функции задачи (1) для игры  $g$  «близко» к максимальному (идеальному).

В качестве показателя  $\mu_{\hat{C}}(g)$  уверенности в том, что получаемый суммарный доход  $v_g(N)$  «близок» к доходу, равному  $M$ , предлагается использовать нормированное отклонение величины  $v_g(N)$  от  $M$ :

$$\mu_{\hat{C}}(g) = \frac{v_g(N)}{M}. \quad (2)$$

Оптимальным планом задачи (1) предлагается считать игру  $g'$ , для которой уверенность в том, что она принадлежит пересечению нечетких множеств  $\hat{g}$  и  $\hat{C}$ , максимальна, то есть:

$$\max_{g \in G} \min \{ \mu_{\hat{g}}(g), \mu_{\hat{C}}(g) \} = \min \{ \mu_{\hat{g}}(g'), \mu_{\hat{C}}(g') \}.$$

Пусть значения левой и правой частей равенства (2) равны  $\theta$ . Для игры  $g'$  степень уверенности в том, что она близка к игре  $g^*$  и значение  $v_{g'}(N)$  близко к  $M$ , максимальна. Заметим, что  $\mu_{\hat{g}}^N(v_{g'}(N)) > b_{\hat{g}}^S$ , что следует из свойств нечетких чисел и того, что в задаче (1) ищется максимум  $v_g(N)$ . Множество оптимальных планов задачи (1) обозначим  $G^{opt}$ .

Напомним некоторые сведения о векторе Шепли [13, 14, 23]. Пусть  $\Delta$  есть некоторым образом упорядоченное множество всех игроков из  $N$  и  $\Delta_k$  – подмножество множества  $\Delta$ , содержащее первые  $k$  элементов из  $\Delta$ . Вкладом  $k$ -го по счету игрока из множества  $\Delta$  называется величина, равная тому, на сколько увеличивается значение характеристической функции коалиции  $\Delta_{k-1}$ , если к ней присоединяется игрок  $k$ , то есть

величина, равная  $v(\Delta_k) - v(\Delta_k \setminus \{k\})$ . Заметим, что под игроками в рамках статьи понимаем инвесторов.

Шепли Л. в работе [23] предложил рассматривать в качестве решения кооперативной игры с побочными платежами дележ  $\Phi(v)$  (распределение суммарного выигрыша  $v(N)$  между игроками), который каждому игроку дает математическое ожидание его вклада во все коалиции, при этом предполагается, что любое упорядочение  $\Delta$  равновероятно:

$$\Phi(v) = \frac{1}{n!} \sum_{\tau \in T} x_{\tau},$$

где  $n$  – число игроков;  $T$  – множество упорядочений игроков;  $x_{\tau}$  – распределение выигрыша, в котором  $k$  по порядку игрок в упорядочении  $\tau$ , вносит свой вклад в соответствующую коалицию.

Отметим, что предложенное Л. Шепли распределение в русскоязычной литературе принято называть «вектором Шепли». В работе [13] вектору Шепли дается следующее содержательное истолкование: «Предположим, что игроки (элементы множества  $N$ ) решили встретиться в определенном месте в определенное время. Естественно, что из-за случайных отклонений все они будут прибывать в различные моменты времени; однако предполагается, что все порядки прибытия игроков (то есть их перестановки) имеют одну и ту же вероятность, а именно  $1/(n!)$ . Предположим, что если игрок  $i$ , прибывая, застаёт на месте членов коалиции  $T \setminus \{i\}$  (и только их), то он получает выигрыш  $v(T) - v(T \setminus \{i\})$ . Тогда  $i$  компонента вектора Шепли представляет собой математическое ожидание выигрыша игрока  $i$  в условиях этой рандомизационной схемы».

Рассмотрим игры  $g$  и  $h$  из  $G$ . Пусть  $v_g(T) = v_h(T) + a$ ,  $a > 0$ , и  $v_g(S) = v_h(S)$  для любого  $S \neq T$ . Пусть  $x_g$  и  $x_h$  – векторы Шепли соответственно в  $g$  и  $h$ , и  $x_g^l, x_h^l$  – выигрыши, которые дают игроку  $l$  векторы Шепли в этих играх.

Замечание 1. Так как в задаче (1) ищется максимум  $v(N)$ , то из возможных при заданном значении функции принадлежности  $\mu_{\hat{g}}^N(u)$  значений ее аргумента будем рассматривать наибольшее, а оно не меньше  $b_g^N$ .

Имеем  $\mu_{\hat{g}}(g') = \min_{S \subseteq N} \{ \mu_{\hat{g}}^S(v_{g'}(S)) \} = \mu_{\hat{g}}^N(v_{g'}(N))$ . (Если  $\mu_{\hat{g}}^N(v_{g'}(N)) > \mu_{\hat{g}}(g')$ , то в силу вышесказанного значение  $v_{g'}(N)$  может быть увеличено).

Утверждение:  $x_g^l = x_h^l + a \cdot \frac{(|T| - 1)!(n - |T|)!}{n!} > x_h^l$  для любого  $l \in T$ .

Доказательство: пусть  $v_g(T) = v_h(T) + a$ ,  $a > 0$ ; пусть  $l \in T$  и  $T = (i_1, i_2, \dots, i_{k-1}, l)$ ,  $i_1, i_2, \dots, i_{k-1}, l$  – это первые  $k$  игроков, пришедших на место встречи, и при этом пришедших в указанном порядке. Обозначим  $W = (i_1, i_2, \dots, i_{k-1})$ . В игре  $g$  вклад игрока  $l$  в коалицию  $T$  на  $a$  больший, чем в игре  $h$ . Заметим, что это будет выполняться в числе случаев, равном числу всех перестановок игроков из коалиции  $W$  (а их число равно  $P_{|T|-1} = (|T| - 1)!$ ), умноженному на число перестановок игроков, не попавших в  $T$  (их число  $P_{n-|T|} = (n - |T|)!$ ).

Таким образом, для  $l \in T$ :

$$x_g^I = x_h^I + a \cdot \frac{(|T|-1)! \cdot (n-|T|)!}{n!} > x_h^I.$$

Следствие. Рассмотрим игры  $g$  и  $h$  из  $G$ . Пусть:

$$\mu_{\hat{g}}^S(v_g(T)) < \mu_{\hat{g}}^S(v_h(T)) \text{ и } \mu_{\hat{g}}^S(v_g(S)) = \mu_{\hat{g}}^S(v_h(S)),$$

если  $T \neq S$ , тогда  $v_g(T) = v_h(T) + a$ ,  $a > 0$ , это следует из замечания 1 и того, что в процессе переговоров о распределении суммарной прибыли  $v(N)$  каждая коалиция стремится заявить о своих максимальных, при рассматриваемой надежности, возможностях. Поэтому естественно считать, что из всех игр, являющихся оптимальными планами задачи (1), то есть игры, для которой наша уверенность в том, что они принадлежат пересечению нечетких множеств  $\hat{g}$  и  $\hat{C}$ , максимальна, то есть равна  $\theta$ , следует ориентироваться

на такую игру  $g^0 \in G^{opt}$ , что  $\mu_{\hat{g}}^S(v_{g^0}(T)) = \theta$  для любого  $T \subseteq N$ . В качестве решения рассматриваемой задачи об инвесторах предлагается использовать вектор Шепли такой игры, при этом искомая максимальная суммарная прибыль равна  $v_{g^0}(N)$ .

### Результаты и обсуждение

Изложим алгоритм отыскания игры  $g^0$ .

Шаг 1. Найти  $\theta$ . Согласно следствию к утверждению имеем  $\mu_{\hat{g}}(g^0) = \mu_{\hat{g}}^N(v_{g^0}(N))$ . Так как  $\mu_{\hat{g}}(g)$  убывает при росте  $\mu_{\hat{C}}(g)$  и наоборот, то  $\max_{g \in G} \min \{ \mu_{\hat{g}}(g), \mu_{\hat{C}}(g) \}$  реализуется при  $\mu_{\hat{g}}(g) = \mu_{\hat{C}}(g)$ .

$$\text{Тогда } \mu_{\hat{g}}^N(v_{g^0}(N)) = \mu_{\hat{C}}(g^0) = \frac{v_{g^0}(N)}{M} \text{ или } v_{g^0}(N) = (\mu_{\hat{g}}^N)^{-1} \left( \frac{v_{g^0}(N)}{M} \right).$$

Решаем последнее уравнение относительно  $v_{g^0}(N)$  и из его решений выбираем максимальное, это и будет искомое  $v_{g^0}(N)$ .

$$\text{Тогда } \theta \text{ находим из равенства: } \theta = \frac{v_{g^0}(N)}{M}.$$

Шаг 2. Строим игру  $g^0$ . В игре  $g^0$  для любого  $S$  должно выполняться  $\mu_{\hat{g}}^S(v_{g^0}(S)) = \theta$ .

Шаг 3. В игре  $g^0$  ищем по указанному выше правилу вектор Шепли.

Пример. Рассмотрим нечеткую игру  $\hat{g}$ , в которой игроками являются три инвестора, имеющие намерение вложить средства в некоторый проект. Прибыль, получаемая коалицией  $S$  инвесторов, является нечеткой и задается нечетким треугольным числом



$\hat{v}_g^S = \langle a_S, b_S, c_S \rangle$  (табл. 1). Предполагается, что максимально возможный доход равен 2,2 млн руб.

Таблица 1. Исходные данные для моделирования

Номер ситуации	Возможные коалиции, или отдельные инвесторы ( $S$ )	$\mathfrak{V}(S)$ (сумма, которую может инвестировать коалиция $S$ ), млн руб.	Ожидаемая прибыль, млн руб. ( $\hat{v}_g^S = \langle a_S, b_S, c_S \rangle$ )
1	{1}	5,5	$\langle 0,4, 0,5, 0,6 \rangle$
2	{2}	7	$\langle 0,4, 0,6, 0,9 \rangle$
3	{3}	3,7	$\langle 0,2, 0,25, 0,3 \rangle$
4	{1,2}	12,5	$\langle 0,9, 1,3, 1,8 \rangle$
5	{1,3}	9,2	$\langle 0,6, 0,8, 1,0 \rangle$
6	{2,3}	10,7	$\langle 0,8, 1,1, 1,5 \rangle$
7	{1,2,3}	16,2	$\langle 1,4, 1,7, 2,2 \rangle$

С учетом сказанного, для любого  $S \subseteq N$  функция принадлежности  $\mu_g^S(u)$  нечеткого числа  $\hat{v}_g^S$  задается формулой:

$$\mu_g^S(u) = \begin{cases} \frac{u - a_S}{b_S - a_S}, & u \in [a_S, b_S], \\ \frac{c_S - u}{c_S - b_S}, & u \in [b_S, c_S], \\ 0, & \text{иначе.} \end{cases}$$

Шаг 1. Решаем уравнение  $\mu_g^S(g) = \mu_{\hat{c}}(g) = \frac{v_g(N)}{M}$ , из которого, учитывая ранее сказанное, получаем уравнение  $\frac{c_N - u}{c_N - b_N} = \frac{u}{M}$ , из которого, учитывая табличные данные, получаем, что  $\frac{2,2 - u}{2,2 - 1,7} = \frac{u}{2,2}$ . Отсюда  $u = 1,79$  и  $\theta = 0,81$ .

Шаг 2. Из равенства  $0,81 = \frac{c_S - u}{c_S - b_S}$  находим, что  $v_{g^0}(S) = u = 0,19c_S + 0,81b_S$ . Подставляя сюда данные из табл. 1, получаем:  
 $v_{g^0}(\{1\}) = 0,52$ ,  $v_{g^0}(\{2\}) = 0,66$ ,  $v_{g^0}(\{3\}) = 0,26$ ,  $v_{g^0}(\{1,2\}) = 1,40$ ,  
 $v_{g^0}(\{1,3\}) = 0,84$ ,  $v_{g^0}(\{2,3\}) = 1,18$ ,  $v_{g^0}(\{1,2,3\}) = 1,80$ .

Шаг 3. Вычисление вектора Шепли сведем в табл. 2.

Таблица 2. Вычисление вектора Шепли

Номер строки	Перестановка	Инвесторы		
		1	2	3
1	123	0,52	0,88	0,40
2	132	0,52	0,96	0,32
3	213	0,74	0,66	0,40
4	231	0,62	0,66	0,52
5	312	0,58	0,96	0,26
6	321	0,62	0,92	0,26
7	Сумма	3,6	5,04	2,16
8	Вектор Шепли	0,60	0,84	0,36

В первых шести строках указаны вклады игроков (по столбцам) при различных порядках их прибытия в условленное место (подробнее в работе [13]). Значения вектора Шепли указаны в восьмой строке.

Таким образом, первый инвестор имеет прибыль в 0,6 млн руб., второй – 0,84 млн руб., третий – 0,36 млн руб. При этом степень нашей уверенности в том, что такое распределение обосновано и одновременно в том, что суммарный доход инвесторов близок к идеальному, максимальна и равна 0,81.

### Выводы

1. В современных условиях эффективное управление социально-экономическим развитием наталкивается на трудности, связанные с трансформационными процессами в экономике и обществе, что требует мобилизации усилий для выхода из ситуации «новой нормальности». Ключевым направлением такого рода мобилизации выступает активизация инвестиционного процесса, что обусловило необходимость разработки нового инструментария его оценки и обоснования управленческого выбора наиболее эффективных проектов для инвестирования с учетом максимизации доходов частных инвесторов.

2. В статье предложен новый подход к решению кооперативных игр с побочными платежами с нечеткими характеристическими функциями, использующий идеи Заде – Беллмана и вектор Шепли, который предложено применять для управления инвестиционной деятельностью, а также разработана соответствующая экономико-математическая модель, которой дана прикладная интерпретация и обосновано алгоритмическое обеспечение ее использования в хозяйственной практике.

3. Авторами предложен достаточно простой, с вычислительной точки зрения, алгоритм поиска предложенного в статье решения на основе нечеткого игрового моделирования инвестиционных решений, сложность которого растет весьма быстро, пропорционально факториалу числа игроков (инвесторов). В то же время для большинства реальных задач формирования пулов инвесторов это число не столь велико, и алгоритм позволяет решать задачу даже без использования компьютерной программы. А учитывая возможности разработки для реализации предложенного алгоритма специального программного обеспечения, ограничения на его практическое применение снимаются.

### Литература

1. Барсукова М.А., Боркова Е.А., Ватлина Л.В. Управление экономической устойчивостью в условиях инновационного развития // Известия Санкт-Петербургского государственного экономического университета. 2019. № 2 (116). С. 54–57.
2. Панфилова О.В. Риски прекращения воспроизводства капитала в инвестиционном процессе // Известия Санкт-Петербургского государственного экономического университета. 2019. № 5-2 (119). С. 43–46.

3. Рукинов М.В. Векторы технологических трансформаций и перспективы безопасного развития экономики России в условиях нового технологического уклада // Известия Санкт-Петербургского государственного экономического университета. 2020. № 1 (121). С. 7–15.
4. Вертакова Ю.В., Феоктистова Т.В. Реализация антикризисных мер для населения и бизнеса в условиях пандемии коронавируса COVID-19 // Экономика и управление. 2020. Т. 26. № 5 (175). С. 444–454.
5. Пролубников А.В. Трансформация государственной экономической политики в условиях пандемии новой коронавирусной инфекции COVID-19 // Теория и практика сервиса: экономика, социальная сфера, технологии. 2021. № 1 (47). С. 11–14.
6. Селищева Т.А. Влияние пандемии COVID-19 на экономику стран-членов Евразийского экономического союза и перспективы ее восстановления // Известия Санкт-Петербургского государственного экономического университета. 2021. № 3 (129). С. 36–42.
7. Институциональная трансформация социально-экономических систем в условиях цифровизации: состояние, тренды, проблемы и перспективы: монография. Курск: Университетская книга, 2020. 294 с.
8. Дынкин А.А. В поисках новой нормальности // Научные труды Вольного экономического общества. 2015. Т. 195. С. 466–480.
9. Брагина Е. Новая нормальность // Мировое и национальное хозяйство. 2013. № 1 (24). С. 1.
10. Агамагомедова Е.В. Проекты государственно (муниципально)-частного партнерства в развитии социальной сферы // Теория и практика сервиса: экономика, социальная сфера, технологии. 2019. № 4 (42). С. 25–28.
11. Плотников В.А. Партнерство государства и бизнеса в современных условиях: перспективы трансформации // Управленческое консультирование. 2021. № 7 (151). С. 29–38.
12. Vertakova J., Plotnikov V. Russian and foreign experience of interaction between government and business // World Applied Sciences Journal. 2013. Vol. 28. № 3. P. 411–415.
13. Теория игр: учеб. пособие / Л.А. Петросян [и др.]. М.: Высш. шк., Книжный дом «Университет», 1998. 304 с.
14. Воробьев Н.Н. Теория игр для экономистов-кибернетиков. М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1985. 272 с.
15. Нейман Д. фон, Моргенштерн О. Теория игр и экономическое поведение. М.: Наука, 1971. 707 с.
16. Вилков В.Б., Плотников В.А., Черных А.К. Методический подход к оценке индивидуального вклада специалистов при реализации проектов управленческого консультирования // Управленческое консультирование. 2020. № 11 (143). С. 63–76.
17. Вилков В.Б., Флегонтов А.В., Черных А.К. Математическая модель задачи о распределении в условиях неопределенности // Дифференциальные уравнения и процессы управления. 2018. № 2. С. 180–191.
18. Vilkov V.B., Shcherbakova O.I., Chernykh A.K., Andreev V.P., Khudyakova T.L., Kazakova S.N. The choice of an optimal methodology for the retraining organization of psychologists based on the use of mathematical methods // Espacios. 2018. Т. 39. № 20. С. 16.
19. Zadeh L. Fuzzy sets // Information and Control. 1965. № 8. P. 338–353.
20. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта / под ред. Д.А. Поспелова. М.: Наука, гл. ред. физ.-мат. лит., 1986. 312 с.
21. Орловский С.А. Проблема принятия решений при нечеткой исходной информации. М.: Наука, гл. ред. физ.-мат. лит., 1981. 206 с.
22. Bellman R.E., Zadeh L.A. Decision making in a fuzzy environment. Management Science. 1970. Vol. 17. Pp. 141–164.
23. Shapley L. A value for n-person games. Contributions to the Theory of Games. V. 2. Princeton (N. J.). 1953. p. 307–317.

## References

1. Barsukova M.A., Borkova E.A., Vatlina L.V. Upravlenie ekonomicheskoy ustojchivost'yu v usloviyah innovacionnogo razvitiya // *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo ekonomicheskogo universiteta*. 2019. № 2 (116). S. 54–57.
2. Panfilova O.V. Riski prekrashcheniya vosпроизводства kapitala v investicionnom processe // *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo ekonomicheskogo universiteta*. 2019. № 5-2 (119). S. 43–46.
3. Rukinov M.V. Vektory tekhnologicheskikh transformacij i perspektivy bezopasnogo razvitiya ekonomiki Rossii v usloviyah novogo tekhnologicheskogo uklada // *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo ekonomicheskogo universiteta*. 2020. № 1 (121). S. 7–15.
4. Vertakova Yu.V., Feoktistova T.V. Realizaciya antikrizisnyh mer dlya naseleniya i biznesa v usloviyah pandemii koronavirusa COVID-19 // *Ekonomika i upravlenie*. 2020. T. 26. № 5 (175). S. 444–454.
5. Prolubnikov A.V. Transformaciya gosudarstvennoj ekonomicheskoy politiki v usloviyah pandemii novoj koronavirusnoj infekcii COVID-19 // *Teoriya i praktika servisa: ekonomika, social'naya sfera, tekhnologii*. 2021. № 1 (47). S. 11–14.
6. Selishcheva T.A. Vliyanie pandemii COVID-19 na ekonomiku stran-chlenov Evrazijskogo ekonomicheskogo soyuza i perspektivy ee vosstanovleniya // *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo ekonomicheskogo universiteta*. 2021. № 3 (129). S. 36–42.
7. Institucional'naya transformaciya social'no-ekonomicheskikh sistem v usloviyah cifrovizacii: sostoyanie, trendy, problemy i perspektivy: monografiya. Kursk: Universitetskaya kniga, 2020. 294 s.
8. Dynkin A.A. V poiskah novoj normal'nosti // *Nauchnye trudy Vol'nogo ekonomicheskogo obshchestva*. 2015. T. 195. S. 466–480.
9. Bragina E. Novaya normal'nost' // *Mirovye i nacional'noe hozyajstvo*. 2013. № 1 (24). S. 1.
10. Agamagomedova E.V. Proekty gosudarstvenno (municipal'no)-chastnogo partnerstva v razviti social'noj sfery // *Teoriya i praktika servisa: ekonomika, social'naya sfera, tekhnologii*. 2019. № 4 (42). S. 25–28.
11. Plotnikov V.A. Partnerstvo gosudarstva i biznesa v sovremennykh usloviyah: perspektivy transformacii // *Upravlencheskoe konsul'tirovanie*. 2021. № 7 (151). S. 29–38.
12. Vertakova J., Plotnikov V. Russian and foreign experience of interaction between government and business // *World Applied Sciences Journal*. 2013. Vol. 28. № 3. R. 411–415.
13. *Teoriya igr: ucheb. posobie* / L.A. Petrosyan [i dr.]. M.: Vyssh. shk., Knizhnyj dom «Universitet», 1998. 304 s.
14. Vorob'ev N.N. *Teoriya igr dlya ekonomistov-kibernetikov*. M.: Nauka, Gl. red. fiz.-mat. lit., 1985. 272 s.
15. Nejman D. fon, Morgenshtern O. *Teoriya igr i ekonomicheskoe povedenie*. M.: Nauka, 1971. 707 c.
16. Vilkov V.B., Plotnikov V.A., Chernyh A.K. Metodicheskij podhod k ocnke individual'nogo vklada specialistov pri realizacii proektov upravlencheskogo konsul'tirovaniya // *Upravlencheskoe konsul'tirovanie*. 2020. № 11 (143). S. 63–76.
17. Vilkov V.B., Flegontov A.V., Chernyh A.K. Matematicheskaya model' zadachi o raspredelenii v usloviyah neopredelennosti // *Differencial'nye uravneniya i processy upravleniya*. 2018. № 2. S. 180–191.
18. Vilkov V.B., Shcherbakova O.I., Chernykh A.K., Andreev V.P., Khudyakova T.L., Kazakova S.N. The choice of an optimal methodology for the retraining organization of psychologists based on the use of mathematical methods // *Espacios*. 2018. T. 39. № 20. S. 16.
19. Zadeh L. Fuzzy sets // *Information and Control*. 1965. № 8. P. 338–353.
20. Nechetkie mnozhestva v modelyakh upravleniya i iskusstvennogo intellekta / pod red. D.A. Pospelova. M.: Nauka, gl. red. fiz.-mat. lit., 1986. 312 s.

21. Orlovskij S.A. Problema prinyatiya reshenij pri nechetkoj iskhodnoj informacii. M.: Nauka, gl. red. fiz.-mat. lit., 1981. 206 s.
22. Bellman R.E., Zadeh L.A. Decision making in a fuzzy environment. Management Science. 1970. Vol. 17. Pp. 141–164.
23. Sharleu L. A value for n-person games. Contributions to the Theory of Games. V. 2. Princeton (N. J.). 1953. p. 307–317.

УДК 519.711

## **МЕТОДИКА УЧЕТА ПОЛОЖИТЕЛЬНОГО ОПЫТА ПРЕДЫДУЩИХ ПЕРИОДОВ В ПРОЦЕССЕ УПРАВЛЕНИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ ПРЕДПРИЯТИЙ УГОЛОВНО-ИСПОЛНИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ**

**О.Е. Шугай, кандидат технических наук;**

**А.В. Калач, доктор химических наук, профессор,  
почетный работник сферы образования Российской Федерации.  
Воронежский институт ФСИН России.**

**Ю.Д. Моторыгин, доктор технических наук, профессор.  
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Раскрыта суть и разработана методика учета положительного опыта предыдущих производственных периодов как альтернативы инновационного развития предприятия, описаны критерии оценки эффективности методики учета положительного опыта. Основой поставленной авторами задачи является предположение, что каждое предприятие на этапе планирования производственной деятельности задается вопросом: нужно ли максимизировать эффективность производственной деятельности посредством внедрения новых механизмов в процесс производства или оставить прежние. В связи с этим целесообразным становится наличие в деятельности предприятия механизма учета положительного опыта работы в прошлых производственных периодах, а процесс учета положительного опыта предыдущих производственных периодов становится начальным этапом всего процесса рыночной ориентации предприятий.

*Ключевые слова:* привлекательность сегментов рынка, эффективность производственной деятельности, минимально допустимый объем продаж, максимальный объем выпуска, производственная мощность

## **METHODOLOGY FOR TAKING INTO ACCOUNT THE POSITIVE EXPERIENCE OF PREVIOUS PERIODS IN THE PROCESS OF MANAGING THE ACTIVITIES OF ENTERPRISES OF THE PENAL ENFORCEMENT SYSTEM**

O.E. Shugay; A.V. Kalach.

Voronezh institute of the Federal penitentiary service of Russia.

Yu.D. Motorygin. Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

The article reveals the essence and develops the methodology of the process of accounting for the positive experience of previous production periods as an alternative to the innovative development of the enterprise, describes the main criteria for evaluating the effectiveness of the methodology for accounting for positive experience. The main task set by the authors is the assumption that each enterprise at the stage of planning production activities asks the question: whether it is necessary to maximize the efficiency of production activities through the introduction of new mechanisms in the production process or to leave the old ones. In this regard, it becomes expedient to have a mechanism for accounting for positive work experience in past production periods in the company's activities, and the process of accounting for positive experience of previous production periods becomes the initial stage of the entire process of market orientation of enterprises.

*Keywords:* attractiveness of market segments, efficiency of production activities, minimum allowable sales volume, maximum output volume, production capacity

Главным вопросом рыночной социально-экономической системы является снижение издержек при одновременном повышении конкурентоспособности производимой продукции. Для ответа на данный вопрос необходимо построить гибкую систему управления, позволяющую максимально эффективно задействовать все имеющиеся ресурсы [1, 2]. Однако производственным подразделениям учреждений уголовно-исполнительной системы (УИС) формирование такой модели управления производственной деятельностью не по силам ввиду недостаточного опыта функционирования в условиях рыночных приоритетов.

Заметим, что бюджетное финансирование учреждений УИС покрывает потребности производственных подразделений лишь частично, что формирует потребность в дополнительных источниках финансирования и является причиной использования полученных в ходе торговли произведенными товарами средств на покрытие дефицита бюджетного финансирования. В предлагаемых условиях представляется целесообразным реализация мероприятий по повышению эффективности и продуктивности использования выделенных из федерального бюджета средств для обеспечения стабильного функционирования производственных подразделений.

В условиях функционирования предприятий уголовно-исполнительной системы, ресурсная база которых характеризуется жесткой ограниченностью, под эффективностью функционирования понимается продуктивное с экономической и социальной точек зрения использование ресурсов [3].

В этой связи результативность процесса производства будет зависеть не только от количества и качества выпускаемой продукции, но и от спроса на производимый товар, что обязывает производителей в процессе планирования уделять внимание анализу рынков и отработке методик организации сбыта произведенной продукции.

Оценку привлекательности рыночных сегментов авторы считают целесообразным включить в процесс управления производственной деятельностью предприятий УИС с целью организации сбыта и увеличения занятости заключенных [4]. Первой ступенью процесса выделения наиболее привлекательных сегментов рынка является оценка эффективности производственной деятельности в предыдущем периоде.

Будем исходить из того факта, что учреждения УИС на этапе планирования имеют возможность сохранить ориентацию на ранее выделенные рыночные сегменты или определить новые пути оценки привлекательности по заданным параметрам. Поскольку маркетинговые исследования рынков сбыта и переориентация предприятия на производство наиболее востребованных товаров являются мероприятиями затратными и с финансовой и с временной точки зрения, кроме того, не гарантирующими быстрого и стабильного результата, внедрение методики учета положительного опыта предыдущих производственных периодов становится первым шагом предприятия по повышению эффективности функционирования.

Представим процесс взаимодействия производителей и заказчиков в виде матрицы  $\|A_{ij}\|_{S \times D}$ , в которой  $S$  – объем предложения, характеризующийся количеством продавцов определенного товара на рынке сбыта,  $D$  – объем спроса, характеризующийся количеством заказчиков данного товара. Будем полагать, что каждый  $S$ -элемент матрицы, выражающий интересы производственного подразделения УИС, должен определяться в процессе планирования с рыночной ориентацией производства: оставить ориентацию на ранее выделенные сегменты рынка, а, в случае не эффективной работы в них, провести оценку привлекательности рыночных сегментов [5].

Условие, выполнение которого свидетельствует об эффективности работы производственного подразделения в предыдущих производственных периодах, описывается выражением:

$$Q_i^{\text{fix}}_{\text{min}}(t) \leq Q_i(\Delta t) \leq Q_i^{\text{fix}}_{\text{max}}(t), \quad (1)$$

где  $Q_i^{fix}_{min}(t)$  – минимально допустимый объем продаж, достаточный для продолжения производственного процесса;  $Q_i^{fix}_{max}(t)$  – максимальный объем выпуска, рассчитываемый исходя из имеющегося количества ресурсов и производственной мощности предприятия;  $Q_i(\Delta t)$  – объем продаж производимой продукции за временной промежуток  $\Delta t$ .

$Q_i^{fix}_{min}(t)$  устанавливается в процессе планирования руководителем производственного подразделения.

$Q_i^{fix}_{max}(t)$  подвергается ежегодной корректировке в зависимости от величины производственно-экономического потенциала предприятия ( $R_i$ ). Начальное значение показателя формируется с учетом полного использования всех имеющихся производственных мощностей и ресурсов в начальный момент времени  $t_0$  ( $Q_i^{fix}_{max}(t_0)$ ). Дальнейшая корректировка значения максимального объема выпуска производится следующим образом:

$$Q_i^{fix}_{max}(t) = Q_i^{fix}_{max}(t-1) \times (1 + \Delta R_i(\Delta t)),$$

где  $Q_i^{fix}_{max}(t-1)$  – максимально возможный выпуск продукции в предыдущем производственном периоде;  $\Delta R_i(\Delta t)$  – величина, характеризующая изменение производственно-экономического потенциала предприятия за период времени  $\Delta t$ .

Производственно-экономический потенциал подразделения УИС характеризует общие возможности предприятия, позволяющие ему достигать наибольшей эффективности производственной деятельности, и складывается из следующих показателей: потенциала использования основных средств, потенциала использования оборотных средств и кадрового потенциала [6]. Модель расчета производственно-экономического потенциала предприятия представлена следующим выражением:

$$R_i = \alpha_1 R_{oc} + \alpha_2 R_{об} + \alpha_3 R_k,$$

где  $\alpha_i$  – коэффициенты весовой значимости показателей ( $\sum_{i=1}^3 \alpha_i = 1$ );  $R_{oc}$  – потенциал использования основных средств;  $R_{об}$  – потенциал использования оборотных средств;  $R_k$  – кадровый потенциал.

Расчет вышеперечисленных показателей производится согласно выражениям:

$$R_{oc} = \beta_1 k_{обн} + \beta_2 k_{выб} + \beta_3 k_{годн} + \beta_4 k_3 + \beta_5 k_p + \beta_6 \Phi_B + \beta_7 \Phi_o,$$

где  $\beta_j$  – коэффициент весовой значимости показателей ( $\sum_{j=1}^7 \beta_j = 1$ );

$$R_{об} = \gamma_1 k_{об} + \gamma_2 k_{оп} + \gamma_3 M_{от} + \gamma_4 k_{им} + \gamma_5 k_p + \gamma_6 k_{уб},$$

где  $\gamma_n$  – коэффициент весовой значимости показателей ( $\sum_{n=1}^6 \gamma_n = 1$ );

$$R_k = \omega_1 k_{п} + \omega_2 k_{т} + \omega_3 k_{рп} + \omega_4 k_k + \omega_5 k_o + \omega_6 k_{пт} + \omega_7 k_{ко},$$



где  $\omega_m$  – коэффициент весовой значимости показателей ( $\sum_{m=1}^7 \omega_m = 1$ ).

Показатели, применяемые для расчета потенциала использования основных средств потенциала использования оборотных средств и кадрового потенциала, представлены в таблице. Коэффициенты весовой значимости учитываемых показателей определяются одним из методов экспертных оценок [7].

Таблица. Показатели, формирующие величину  $R_{oc}$ ,  $R_{об}$ ,  $R_k$

Коэффициент обновления основных средств	$k_{обн}$
Коэффициент выбытия основных средств	$k_{выб}$
Коэффициент годности основных средств	$k_{годн}$
Коэффициент загрузки оборудования	$k_z$
Коэффициент рентабельности	$k_p$
Фондовооруженность	$\Phi_в$
Фондоотдача	$\Phi_o$
Коэффициент оборачиваемости	$k_{об}$
Коэффициент обеспеченности ресурсами	$k_{ор}$
Материалоотдача	$M_{от}$
Коэффициент использования материалов	$k_{им}$
Коэффициент ритмичности	$k_{рит}$
Удельный вес материальных затрат в себестоимости	$k_{ув}$
Коэффициент постоянства кадров	$k_n$
Коэффициент трудоспособности	$k_m$
Коэффициент рентабельности персонала	$k_{рп}$
Коэффициент квалифицированности	$k_k$
Коэффициент образованности	$k_o$
Коэффициент здоровья персонала	$k_z$
Коэффициент производительности труда	$k_{пт}$
Коэффициент кадровой обеспеченности	$k_{ко}$

Сохранение ориентации производства на ранее выбранные рыночные сегменты целесообразно в случае выполнения условия (1). В этом случае ранее выделенные сегменты рынка принимаются как оптимальные. В случае если условие (1) не выполняется, необходимо произвести переоценку привлекательности сегментов рынка с целью определения оптимальных по заданным критериям.

В условиях рыночной конкуренции именно механизм учета опыта предыдущих производственных периодов позволяет произвести эффективное рыночное ориентирование с минимальными затратами. В статье разработана и описана с помощью экономико-математических моделей методика учета положительного опыта предыдущих производственных циклов. Этот процесс следует считать начальной точкой производственного планирования предприятия.

### Литература

1. Агарков А.П. Теория организации. Организация производства. М.: Дашков и К, 2017. 272 с.
2. Шугай О.Е., Калач А.В., Смирнов А.С. Методика распределения ресурсов между производственными предприятиями уголовно-исполнительной системы на основе комплексного критерия Нэша-Парето // Вестник Воронежского института ФСИН России. 2020. № 2. С. 145–151.
3. Акофф Р. Планирование будущего корпорации: пер. с англ. М.: «Прогресс», 1985. 327 с.

4. Громова Н.М., Громова Н.И. Основы экономического прогнозирования. М.: Акад. естествознания, 2007. 112 с.
5. Логинов В.Н. Управленческие решения. Модели и методы: учеб. пособие. М.: Альфа-Пресс, 2011. 184 с.
6. Нежданов И.Ю. Аналитическая разведка для бизнеса. М.: Изд-во «Ось-89», 2008. 336 с.
7. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. М.: Радио и связь, 1993. 314 с.

### References

1. Agarkov A.P. Teoriya organizacii. Organizaciya proizvodstva. М.: Dashkov i K, 2017. 272 s.
2. Shugaj O.E., Kalach A.V., Smirnov A.S. Metodika raspredeleniya resursov mezhdru proizvodstvennymi predpriyatiyami ugovovno-ispolnitel'noj sistemy na osnove kompleksnogo kriteriya Neshu-Pareto // Vestnik Voronezhskogo instituta FSIN Rossii. 2020. № 2. S. 145–151.
3. Akoff R. Planirovanie budushchego korporacii: per. s angl. М.: «Progress», 1985. 327 s.
4. Gromova N.M., Gromova N.I. Osnovy ekonomicheskogo prognozirovaniya. М.: Akad. estestvoznaniya, 2007. 112 s.
5. Loginov V.N. Upravlencheskie resheniya. Modeli i metody: ucheb. posobie. М.: Al'fa-Press, 2011. 184 s.
6. Nezhdanov I.Yu. Analiticheskaya razvedka dlya biznesa. М.: Izd-vo «Os'-89», 2008. 336 s.
7. Saati T. Prinyatie reshenij. Metod analiza ierarhij. М.: Radio i svyaz', 1993. 314 s.

---

---

# ПСИХОЛОГО-ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОДГОТОВКИ СОТРУДНИКОВ МЧС РОССИИ К УСЛОВИЯМ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

---

---

УДК 371.3

## ОСОБЕННОСТИ АКТИВИЗАЦИИ ТВОРЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОБУЧАЮЩИХСЯ

**А.В. Костюк, кандидат технических наук, доцент;**

**Н.М. Епанешников, кандидат технических наук, доцент.**

**Санкт-Петербургский военный ордена Жукова институт войск  
национальной гвардии Российской Федерации.**

**Е.Е. Горшкова.**

**Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Анализируется процесс привлечения обучающихся к творчеству и предлагается поэтапное формирование у них умений учебно-творческой деятельности. Предлагаются структурные компоненты деятельности преподавателя, направленные на подготовку обучающихся к научному и техническому творчеству. Рассматриваются эффективные средства развития творческих способностей. Отмечается, что наиболее благоприятные условия для развития творческих возможностей специалиста создаются на этапе самостоятельной деятельности.

*Ключевые слова:* творчество, личность, учебно-творческая деятельность, развивающая среда, активное обучение

## FEATURES OF ACTIVATION OF CREATIVE ACTIVITY OF STUDENTS

A.V. Kostyuk; N.M. Epaneshnikov.

Saint-Petersburg military order of Zhukov institute of the national guard of the Russian Federation.

E.E. Gorshkova. Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

The process of attracting students to creativity is analyzed and a step-by-step formation of their skills of educational and creative activity is proposed. The structural components of the teacher's activity aimed at preparing students for scientific and technical creativity are proposed. Effective means of developing creative abilities are considered. It is noted that the most favorable conditions for the development of creative abilities of a specialist are created at the stage of independent activity.

*Keywords:* creativity, personality, educational and creative activity, developing environment, active learning

В развитии российского образования на современном этапе наблюдаются существенные преобразования. В условиях информатизации общества быстро изменяющегося мира стремительно возрастает спрос на творчески мыслящих

специалистов [1]. Следовательно, образовательный процесс должен быть направлен не на получение абстрактных знаний, а на организацию мыслительных процессов, формирование умений творческой деятельности в конкретной области знаний.

Вместе с тем необходимо отметить, что для преподавания достаточно большого количества дисциплин, которые изучают устоявшиеся законы и явления природы, используется преимущественно информационно-справочный подход.

Принимая во внимание тот факт, что знания, умения и навыки продолжают оставаться одними из ключевых частей содержания образования, исследователи отмечают, что в современных условиях приоритет информационной функции образования изменяется, и он объективно утрачивает свои лидирующие позиции в силу своей ограниченности [2].

Информационный подход, продолжая играть важную роль, под воздействием новых факторов уступает свои позиции и не может обеспечить реализацию социального заказа общества в области образования. В современных условиях ключевой задачей образования становится подготовка компетентных специалистов, обладающих способностями применять свои знания и умения, в том числе и в новых условиях, а при необходимости осуществлять повышение квалификации и самообучаться в течение профессиональной деятельности.

В создавшихся условиях в качестве альтернативного подхода целесообразно рассматривать универсальные способы, которые не только способствуют получению знаний, но и обеспечивают их применение [3]. Не подвергая сомнению важность формирования знаний и умений, авторы отмечают важность и необходимость выработки умений учебно-творческой деятельности, поскольку в ходе развития таких умений происходит формирование самой личности, являющейся непосредственным субъектом этой деятельности.

В своих работах Л.С. Выготский отмечал, что между процессами постижения, усвоения понятий и их заучиванием имеются достаточно глубокие различия. Действительно, процессу уяснения понятий должна сопутствовать логическая память, абстрактное мышление, сопоставление и выявление отличий [4]. Отмеченные особенности не могут возникнуть в ходе заучивания, а требуют от личности определенного рода деятельности.

Опыт обучения свидетельствует, что положительное воздействие на развитие логической памяти и абстрактного мышления личности оказывает творчество, которое, с одной стороны, развивает личностные качества и индивидуальность, а, с другой стороны, является естественной потребностью человека, который, основываясь на предыдущем опыте, пытается исполнить то или иное действие по-своему, реализовать свою деятельность в конкретной профессиональной области. Творчество проявляется в ходе и результатах творческой деятельности личности.

В толковании термина «творческая деятельность», которое используется в научной и философской литературе следует выделить несколько подходов. В одном из подходов трактовки термина «творческая деятельность» исследователи полагают, что ключевой характеристикой является [3] наличие «разработки субъектом на осознаваемом или не осознаваемом уровнях новых для себя знаний». В другом подходе трактовки термина «творческая деятельность» учёные полагают, что творчество определяется самим процессом [5].

Основываясь на представленных толкованиях термина «творческая деятельность», можно с уверенностью считать, что самостоятельная деятельность обучающихся, обращённая на получение новых знаний и создания нового продукта, является творческой деятельностью.

Анализ научно-педагогических источников и опыт формирования навыков творческой деятельности в ходе преподавания дисциплин информационного профиля позволяет сделать вывод о том, что процесс привлечения и адаптации обучающихся к творчеству и развития у них умений учебно-творческой деятельности состоит из нескольких этапов, включающих:

- знакомство обучающихся с новым видом деятельности;

- проверка в действии полученной информации о новой деятельности;
- исследование обучающимися потенциала применения нового вида деятельности;
- решение о возможности самостоятельного использования нового вида деятельности

для решения тех или иных задач.

Для реализации любого вида деятельности необходимо создание определённой среды [6]. Среда, использовавшаяся для традиционной модели обучения, сама по себе новой не заменяется. Творческая деятельность не является исключением и в силу своей специфики требует формирования особой развивающей среды, которая способствовала бы развитию творческой деятельности обучающихся. Следовательно, такая среда должна быть развивающей и это является важным моментом в развитии и становлении творчества. Толчком к формированию образовательной среды, в которой обучающийся выступал бы в качестве адресата обучающего воздействия [2], стала наблюдающаяся в настоящее время смена парадигмы образования от знаниевой на компетентностную.

В процессе формирования развивающей среды [7] необходимо принимать во внимание обстоятельства, которые воздействуют на привлечение обучающихся к творчеству и формирование у них умений учебно-творческой деятельности. Среди обстоятельств, которые необходимо учитывать, выделим следующие:

1. Создание условий для формирования знаний и умений в новом направлении деятельности. В случае попадания в новую область деятельности обучающийся начинает приспосабливаться, ориентируясь на свой имеющийся опыт, или руководствуется теми знаниями, которые он ранее получил.

2. Создание условий для формирования мотивации, поскольку, именно от мотивации во многом зависит скорость приспособления к новому виду деятельности [6]. Следует отметить, что мотивация оказывает существенное влияние и на психологическое состояние обучающегося и его противодействие новому виду деятельности.

3. Создание условий для формирования среды приспособления, которая учитывала бы имеющийся опыт, а также принципиально новые элементы, имеющие связь с предыдущим опытом [8].

В психологической и философской литературе, посвящённой анализу творческой деятельности обучающихся, выделяются объективная и субъективная стороны творчества [9]. По мнению авторов, необходимо использовать процессуально-продуктивный подход к творчеству обучающихся, а творческую деятельность целесообразно рассматривать в совокупности субъективной и объективной сторон, поскольку любая творческая деятельность – это процесс, протекающий во времени, а результат такой деятельности – приобретение новых знаний и получение нового продукта, пусть даже для ограниченного круга лиц. Для того чтобы заниматься творческой деятельностью, обучающийся должен обладать определённым уровнем обученности.

Первый и самый низкий уровень соответствует обученности, то есть готовности воспроизвести известные в общественной практике определённые действия и их фиксация в виде совокупности определённых знаний, умений и навыков.

Более высокий второй уровень определяет способность специалиста выполнять свои функциональные обязанности на осознанном профессиональном поведении, которое является следствием применения полученных знаний, умений и навыков в нестандартных условиях. Фактически в соответствии с программами подготовки будущих специалистов знакомство обучающихся с профессиональной деятельностью происходит на старших курсах в ходе производственной практики. Естественно, что это поздно по времени, вследствие чего снижается до минимума последовательное и регулярное знакомство обучающегося с сущностью и структурой профессиональной деятельности.

Присущи проблемы и теоретическим знаниям, образующим фундамент для последующей профессиональной деятельности. Теоретические знания, необходимые будущему специалисту, в действительности «разбросаны» по различным изучаемым предметам, интегрировать эту массу информации, не до конца понимая область

профессиональной деятельности, в единое целое непосильно для многих обучающихся. Поэтому становится актуальным более раннее знакомство с сущностью профессиональной деятельности для разрешения противоречий между изучаемыми теоретическими основами, кажущимися ненужными, и будущей практической деятельностью, о которой обучающийся имеет смутное представление. Посильную помощь в решении отмеченной проблемы может оказать учебное моделирование, применение которого можно распространять и на теоретические положения изучаемых предметов, знакомящих с предметом будущей профессиональной деятельности. Знакомству с будущей профессиональной деятельностью способствуют практические занятия, деловые игры, которые способствуют формированию профессиональных компетенций [10].

Самый высокий уровень подготовленности специалиста к деятельности, в том числе и профессиональной, характеризуется компетентностью, то есть способностью индивида в процессе профессиональной деятельности самостоятельно приобретать новые знания, трансформировать их в опыт и на этой основе повышать эффективность межличностного взаимодействия в рамках определенного социума. Отличается от профессионализма (способности эффективно реализовать приобретенные ранее компетенции) наличием потенциала роста. Последний является результатом приоритетного формирования когнитивных компетенций относительно функциональных и социальных (предпочтительных для профессионализма).

Следует отметить, что современная организация не всегда способствует целенаправленному формированию компетентности, это объясняется отсутствием строго определенного алгоритма, который складывается на основе опыта чиновника, осуществляющего организацию процесса. Кроме того, необходимо принимать во внимание, что используемая предметная система направлена на освоение конкретного учебного курса, вес которого в формировании компетенций зачастую не установлен. Поэтому перед обучающимися зачастую возникает трудноразрешимая проблема увязать получаемые знания и умения с будущей профессиональной деятельностью [11].

Следовательно, при разработке учебных программ необходимо учитывать не сумму усвоения информации по отдельным дисциплинам, а конечный результат – формирование профессиональных компетенций. Такое понимание проблемы требует определения последовательности прохождения учебных дисциплин с учетом их комплексности на основе формируемых компетенций. Иными словами, следует определить последовательность формирования компетенций, а на этой основе сформировать последовательность прохождения дисциплин, входящих в курс обучения. Разрешить существующее противоречие между реализацией компетентного подхода и предметно-содержательным методом организации образовательной деятельности можно на основе системного подхода [8].

Одним из эффективных средств развития творческих способностей будущего специалиста и формирования навыков творческой деятельности в ходе преподавания дисциплин информационного профиля является активное обучение.

Важное место в этом процессе занимают коллективные формы организации образовательной деятельности. Несмотря на то, что объектом образовательной деятельности является индивидуум, индивидуальным является и процесс познания, но формирование заинтересованности обучающихся, организация контроля результатов относится к общественным процессам. Следовательно, чтобы активизировать образовательную деятельность необходимо создать коллектив и подготовить его к решению предметных или межпредметных учебных задач. Решаемые задачи должны быть ориентированы на будущую профессиональную область, что повышает мотивацию и заинтересованность обучающихся. Степень готовности субъекта к предстоящей профессиональной деятельности определяется уровнем подготовки и способности выполнять функциональные обязанности по должностному предназначению.

Опыт обучения показывает, что на начальном этапе коллективной формы развития

творчества может стать использование проектной деятельности, которая как важное направление реализации активного обучения объединяет содержание и методы творческой и исследовательской деятельности [1]. Это обусловлено тем, что метод проектов интегрирует учебно-познавательные приемы и действия, обеспечивающие самостоятельное решение той или иной учебной проблемы и получение конкретного продукта деятельности. Проектная технология может применяться на разных курсах обучения, в том числе и на младших, и реализовываться как в рамках изучения отдельной темы, дисциплины, так и охватывать несколько предметов [12].

Даже поверхностный анализ проектной деятельности указывает на то, что она и по используемым методам решения задач, и по своему содержанию имеет много общего с творческой и исследовательской деятельностью обучающихся.

Одним из ключевых предназначений проектной деятельности является формирование профессиональных компетенций у обучающихся, а другим, немаловажным, – развитие их творческих способностей, поскольку такая деятельность предполагает самостоятельную работу с информацией из разных предметных областей, ее анализ и обобщение в ходе решения теоретической или практической задачи.

В современных условиях для плодотворной творческой деятельности будущему специалисту необходимо обладать достаточной самостоятельностью, настойчивостью и целеустремленностью, умениями и навыками творческого мышления. Основываясь на опыте формирования навыков творческой деятельности обучающихся, можно утверждать, что отмеченные качества могут быть сформированы в ходе обучения, но для этого деятельность преподавателей в ходе образовательного процесса должна быть направлена на:

- формирование у обучающихся умений и навыков научного и технического творчества в процессе изучения дисциплин специальности на аудиторных занятиях и во время самостоятельной работы;
- более активное вовлечение обучающихся в научно-исследовательскую работу;
- привлечение обучающихся к участию в работе кружков военно-научного общества курсантов на кафедрах, обществах рационализаторов и изобретателей;
- широкую популяризацию результатов научно-технического творчества обучающихся с использованием современных средств коммуникации;
- организацию и проведение различных мероприятий (научно-практические конференции, смотры-конкурсы, выставки), пропагандирующих опыт и результаты научно-технического творчества обучающихся;
- популяризацию научных достижений обучающихся посредством печатных работ, журналов, стендов;
- обмен опытом по организации научного и технического творчества обучающихся: подготовку и проведение конференций (семинаров) по совершенствованию системы научного и технического творчества обучающихся, сборников статей по проблемам организации научного и технического творчества обучающихся; разработка и издание рекомендаций по управлению научным и техническим творчеством вузовской молодежи.

Следовательно, можно констатировать, что на современном этапе развития образования творческая и исследовательская деятельность превращаются в один из ключевых видов образовательной деятельности. Продуктивность творческой и исследовательской деятельности во многом определяется ее организацией, наличием у обучающихся опыта деятельности, мотивацией и созданием современной образовательной среды, способной адаптироваться под нужды обучающихся.

### **Литература**

1. Бобонец С.А., Костюк А.В. Применение метода проектов в ходе изучения информационных технологий // Направления и перспективы развития образования в военных институтах войск национальной гвардии Российской Федерации: сб. науч. статей VIII Межвуз. науч.-практ. конф. с междунар. участием. 2017. С. 127–130.

2. Костюк А.В., Примакин А.И. Информационная поддержка образовательного процесса // Вестник Санкт-Петербургского университета МВД России. 2016. № 1. С. 170–174.
3. Афонина Р.Н. Сущностные аспекты умений учебно-творческой деятельности обучающихся // Наука и школа. 2009. № 6. С. 28–30.
4. Захарова М.А., Карпачева И.А. Профессиональное воспитание педагога-творца // Известия ВГПУ. 2015. № 2 (26–7). С. 57–60.
5. Кротова Е.А., Матвеева А.В. Проблемы формирования опыта творческой деятельности обучающихся // Международный журнал экспериментального образования. 2015. № 8–3. С. 312–315.
6. Дендебер И.А. Адаптация обучающихся к творческой деятельности // Историческая и социально-образовательная мысль. 2011. № 5. С. 88–90.
7. Грешных А.А., Горшкова Е.Е., Ефимова А.Б. Вопросы создания эффективного образовательного процесса для курсантов силовых структур // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2017. № 4. С. 119–124.
8. Буровкина Л.А. Формирование творческой активности обучающихся // Интерактивная наука. 2015. № 9.
9. Афанасьева С.Г. Содержание технологии обучения профессионально-творческого саморазвития студентов при изучении высшей математики // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2011. Т. 13. № 4 (4). С. 1242–1246.
10. Горшкова Е.Е., Фетисов А.В. Аналитическая модель факторов, влияющих на формирование специалиста ГПС МЧС России в образовательном процессе // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2015. № 4. С. 173–178.
11. Грешных А.А., Горшкова Е.Е., Ставицкий Д.В. Построение системы образовательной деятельности в учреждениях высшего образования силовых структур на основе компетентностных принципов // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2018. № 1. С. 49–54.
12. Vilkov V.B., Shcherbakova O.I., Chernykh A.K., Andreev V.P., Khudyakova T.L., Kazakova S.N. The choice of an optimal methodology for the retraining organization of psychologists based on the use of mathematical methods. *Espacios*. 2018. Т. 39. № 20. С. 16.

## References

1. Bobonec S.A., Kostyuk A.V. Primenenie metoda proektov v hode izucheniya informacionnyh tekhnologij // *Napravleniya i perspektivy razvitiya obrazovaniya v voennykh institutah vojsk nacional'noj gvardii Rossijskoj Federacii: sb. nauch. statej VIII Mezhdvuz. nauch.-prakt. konf. s mezhdunar. uchastiem*. 2017. S. 127–130.
2. Kostyuk A.V., Primakin A.I. Informacionnaya podderzhka obrazovatel'nogo processa // *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta MVD Rossii*. 2016. № 1. S. 170–174.
3. Afonina R.N. Sushchnostnye aspekty umenij uchebno-tvorcheskoj deyatel'nosti obuchayushchihsya // *Nauka i shkola*. 2009. № 6. S. 28–30.
4. Zaharova M.A., Karpacheva I.A. Professional'noe vospitanie pedagoga-tvorca // *Izvestiya VGPU*. 2015. № 2 (26–7). С. 57–60.
5. Krotova E.A., Matveeva A.V. Problemy formirovaniya opyta tvorcheskoj deyatel'nosti obuchayushchihsya // *Mezhdunarodnyj zhurnal eksperimental'nogo obrazovaniya*. 2015. № 8–3. S. 312–315.
6. Dendeber I.A. Adaptaciya obuchayushchihsya k tvorcheskoj deyatel'nosti // *Istoricheskaya i social'no-obrazovatel'naya mysl'*. 2011. № 5. S. 88–90.
7. Greshnyh A.A., Gorshkova E.E., Efimova A.B. Voprosy sozdaniya effektivnogo obrazovatel'nogo processa dlya kursantov silovyh struktur // *Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MCHS Rossii»*. 2017. № 4. S. 119–124.
8. Burovkina L.A. Formirovanie tvorcheskoj aktivnosti obuchayushchihsya // *Interaktivnaya nauka*. 2015. № 9.



9. Afanas'eva S.G. Soderzhanie tekhnologii obucheniya professional'no-tvorcheskogo samorazvitiya studentov pri izuchenii vysshej matematiki // Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk. 2011. T. 13. № 4 (4). S. 1242–1246.

10. Gorshkova E.E., Fetisov A.V. Analiticheskaya model' faktorov, vliyayushchih na formirovanie specialista GPS MCHS Rossii v obrazovatel'nom processe // Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MCHS Rossii». 2015. № 4. S. 173–178.

11. Greshnyh A.A., Gorshkova E.E., Stavickij D.V. Postroenie sistemy obrazovatel'noj deyatel'nosti v uchrezhdeniyah vysshego obrazovaniya silovyh struktur na osnove kompetentnostnyh principov // Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MCHS Rossii». 2018. № 1. S. 49–54.

12. Vilkov V.B., Shcherbakova O.I., Chernykh A.K., Andreev V.P., Khudyakova T.L., Kazakova S.N. The choice of an optimal methodology for the retraining organization of psychologists based on the use of mathematical methods. Espacios. 2018. T. 39. № 20. S. 16.

УДК 378.6

## **ПСИХОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ В ОБЛАСТИ ТЕХНОСФЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ К ДЕЙСТВИЯМ В АВАРИЙНЫХ И ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ**

**Н.Л. Сошина, кандидат психологических наук.  
Курский государственный университет**

Обоснована актуальность совершенствования подготовки специалистов в области техносферной безопасности к обеспечению безопасности объектов и защите их персонала не только в режиме нормального функционирования, но и в аварийной и чрезвычайной ситуации. Проведен анализ профессиональных стандартов, с учетом требований которых разработана образовательная программа по направлению подготовки 20.03.01 «Техносферная безопасность» с целью уточнения содержания психологической подготовки, необходимой для успешного выполнения выпускниками трудовых функций. Поскольку деятельность специалиста в области техносферной безопасности потенциально сопряжена с разнообразными стрессовыми ситуациями, характеризующимися высоким напряжением физиологических и психологических сил, эффективность его деятельности определяется не только совокупностью теоретических знаний и практических умений и навыков в области психологии, но и его индивидуально-психологическими особенностями, относящимися к профессионально-важным качествам, которые также необходимо формировать и развивать в процессе подготовке в вузе. В статье рассмотрено значение уровня развития нервно-психической устойчивости для успешности выполнения профессиональных функций специалистом в области техносферной безопасности, проведена оценка его уровня развития у обучающихся по направлению подготовки 20.03.01 «Техносферная безопасность», в заключении даны рекомендации по совершенствованию их психологической подготовки в рамках реализации дисциплин учебного плана и в ходе организации внеаудиторной деятельности обучающихся.

*Ключевые слова:* чрезвычайная ситуация, техносферная безопасность, профессиональные обязанности, выпускник

## **PSYCHOLOGICAL ASPECTS OF TRAINING SPECIALISTS IN THE FIELD OF TECHNOSPHERIC SAFETY TO ACTION IN EMERGENCY SITUATIONS**

N.L. Soshina. Kursk state university

The urgency of improving the training of specialists in the field of technosphere safety to ensure the safety of facilities and the protection of their personnel not only in the normal operation mode, but also in an emergency and emergency situation has been substantiated. An analysis of professional standards was carried out, taking into account the requirements of which an educational program was developed in the direction of training 03.20.01 «Technosphere safety», in order to clarify the content of psychological training necessary for the successful performance of graduates of labor functions. Since the activity of a specialist in the field of technosphere safety is potentially associated with with a variety of stressful situations characterized by high tension of physiological and psychological forces, the effectiveness of his activity is determined not only a set of theoretical knowledge and practical skills in the field of psychology, but also its individual psychological characteristics related to professionally

important qualities, which also need to be formed and developed in the process of preparation at the university. The article discusses the importance of the level of development of neuropsychic stability for the successful performance of professional functions by a specialist in the field of technosphere safety; in the conclusion, recommendations are given for improving their psychological preparation within the framework of the implementation of the disciplines of the curriculum and in the course of organizing extracurricular activities of students.

*Keywords:* emergency, technosphere safety, professional duties, graduate

### Введение

По данным официальной статистики, в 2019 г. в Российской Федерации на предприятиях было зарегистрировано 23 300 несчастных случаев, общее число смертей составило 1 060 человек. Данные по численности несчастных случаев и профзаболеваниям за период 2007–2018 г. (рис. 1) демонстрируют тенденцию к ее снижению, однако, уровень травматизма остается высоким; доля сотрудников, которые заняты в условиях, угрожающих их жизни и здоровью, – 38,3 %. На 2019 г. самыми опасными в отношении травматизма отраслями являются деятельность водного, воздушного и космического транспорта, строительство, производство особых видов машин и оборудования, химическая промышленность, добыча угля и металлических руд, металлургия, производство автотранспорта и др.; самыми опасными для здоровья сферами профессиональной деятельности являются добывающие отрасли, обрабатывающие производства и профессии, связанные с транспортировкой и хранением [1].

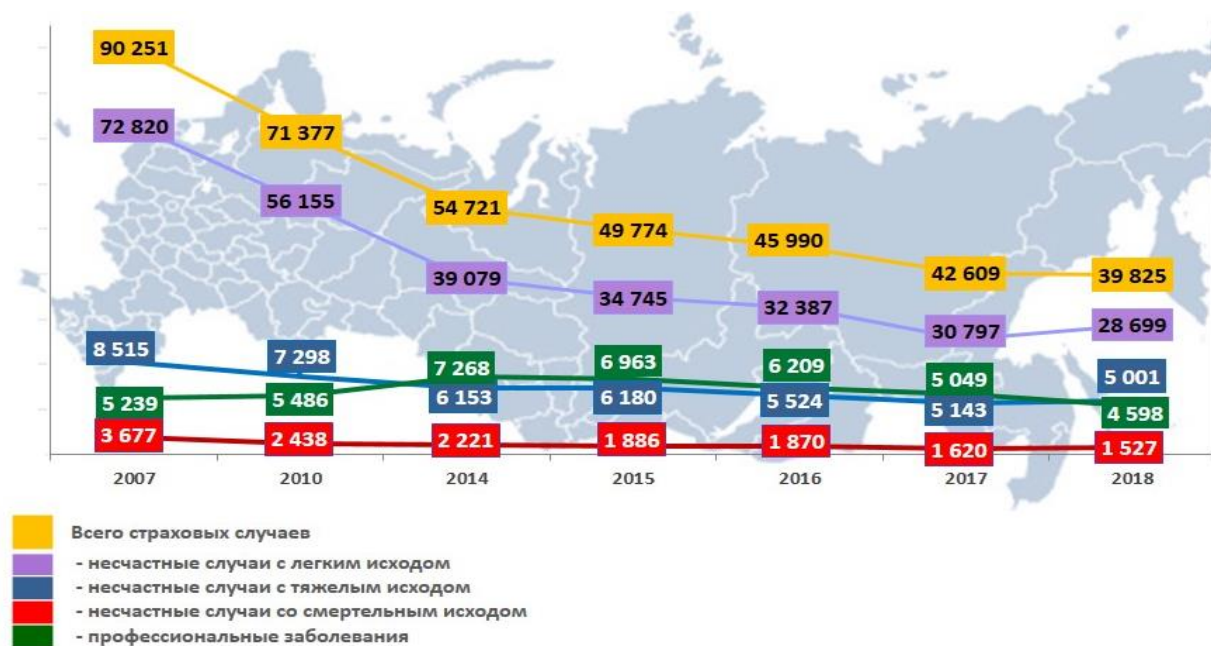


Рис. 1. Статистика производственного травматизма и профессиональных заболеваний по данным Фонда социального страхования Российской Федерации [1, 2]

В 2020 г. на территории Российской Федерации произошла 331 чрезвычайная ситуация (ЧС), из них 50,5 % приходится на долю техногенных, унесших жизни 322 человек (98,8 % от общего количества погибших в ЧС) [3]. На территории Российской Федерации функционируют опасные производственные объекты (ОПО), на которых возникают аварийные ситуации, в том числе со смертельным исходом для персонала (табл. 1).

Профилактика несчастных случаев и профессиональных заболеваний, снижение уровня профессиональных рисков, безаварийное функционирование производственных

объектов, решение задач в области защиты человека и окружающей среды в условиях нормального функционирования объектов и в аварийных ситуациях, в том числе ЧС, является трудовой функцией специалиста в области техносферной безопасности.

Таблица 1. Статистика аварий и смертельного травматизма на отдельных ОПО [3]

Наименование ОПО	Число аварий		Количество смертельного травматизма, чел.	
	2019 г.	2020 г.	2019 г.	2020 г.
ОПО энергетики	39	34	40	38
ОПО горнорудной и нерудной промышленности	1	4	40	32
ОПО угольной промышленности	1	3	15	15
ОПО металлургических и коксохимических производств	1	3	11	9
ОПО нефтегазодобычи	7	10	8	8
ОПО газораспределения и газопотребления	20	14	–	3

Таким образом, актуальным является рассмотрение вопросов совершенствования подготовки обучающихся по направлению 20.03.01 «Техносферная безопасность» с целью обеспечения их готовности к выполнению профессиональных функций не только в режиме нормального функционирования, но и в случае возникновения аварийной и ЧС.

### Цель и методы исследования

Для определения основных направлений совершенствования и уточнения содержания психологической подготовки будущих специалистов в области техносферной безопасности, необходимой для успешного выполнения выпускниками трудовых функций, возникла необходимость проведения теоретико-методологического анализа научной литературы и профессиональных стандартов [4–6], с учетом требований которых разработана образовательная программа по направлению подготовки 20.03.01 «Техносферная безопасность» [7]. Поскольку деятельность специалиста в области техносферной безопасности потенциально сопряжена с воздействием стрессогенных факторов, ее эффективность определяется не только совокупностью теоретических знаний и практических умений и навыков в области психологии, но и индивидуально-психологическими особенностями самого выпускника, относящимися к профессионально-важным качествам (ПВК), таким образом, была поставлена задача выявления (путем анализа научной литературы) влияния уровня развития нервно-психической устойчивости на успешность выполнения профессиональных функций специалистом в аварийных и ЧС, и проведена оценка его уровня развития у обучающихся по направлению подготовки 20.03.01 «Техносферная безопасность» с применением методики «Прогноз-2» В.Ю. Рыбникова [8, с. 52], рекомендуемой при подборе персонала для работы в экстремальных ситуациях.

### Теоретический обзор

По итогам освоения образовательной программы бакалавриата по направлению подготовки 20.03.01 «Техносферная безопасность» выпускник должен быть готов к выполнению трудовых функций и действий с учетом требований соответствующих профессиональных стандартов [4–6] в зависимости от направленности (профиля) подготовки. В Курском государственном университете реализуется три направленности (профиля) подготовки: «Безопасность труда и технологических процессов» (БТиТП), «Пожарная безопасность природно-техногенной сферы» (ПБптс) и «Защита в чрезвычайных ситуациях природного и техногенного характера» (ЗЧСптх). Общетрудовыми функциями

выпускника по направленности (профилю) БТиТП является внедрение, обеспечение и мониторинг функционирования системы управления охраной труда (СУОТ), что предполагает сбор, обработку и передачу информации по вопросам условий и охраны труда, обеспечение снижения уровней профессиональных рисков, нормативное обеспечение СУОТ и контроль соблюдения нормативных требований, подготовку персонала в области охраны труда, организацию расследования несчастных случаев и профзаболеваний. Будущий специалист должен быть способен идентифицировать опасные и вредные производственные факторы (ОВПФ), причины несчастных случаев и профзаболеваний для дальнейшей разработки организационно-технических мероприятий, направленных на их профилактику, и обоснования предложений по вопросам функционирования СУОТ; должен быть готов осуществлять взаимодействие с работниками, комитетами по охране труда, надзорными органами, комиссиями по расследованию несчастных случаев на производстве и профзаболеваний; а также к проведению инструктажей, консультированию, организации обучения и проверке знаний руководителей и специалистов по охране труда, к разработке мероприятий по повышению уровня мотивации работников к безопасному труду [4]. Общетрудовыми функциями выпускника по профилю ПБптс является анализ пожарной безопасности, разработка решений по противопожарной защите и обеспечение противопожарного режима на объектах, что предполагает выполнение таких трудовых функций, как обеспечение противопожарных мероприятий, предусмотренных правилами, нормами и стандартами, контроль выполнения проектных решений по пожарной безопасности и содержания в исправном состоянии систем и средств противопожарной защиты, инструктирование, организация обучения персонала, членов добровольных пожарных дружин (ДПД) и проверка знаний по вопросам пожарной безопасности, проведение противопожарной пропаганды, тренировок; специалист должен быть готов к осуществлению общего руководства по тушению пожара и спасению людей в случае угрозы их жизни до прибытия пожарных и к содействию пожарной охране после их прибытия к месту пожара [5]. Функциями выпускника по профилю ЗЧСптх является разработка решений и выполнение мероприятий по гражданской обороне (ГО) и защите от ЧС в организации, что предполагает разработку, планирование и проведение комплекса организационно-технических мероприятий по защите работников и материальных ценностей организации, по повышению устойчивости функционирования эксплуатируемых объектов в ЧС; организацию создания, подготовки и поддержания в готовности сил ГО, нештатных аварийно-спасательных формирований (НАСФ) организации, предназначенных для предупреждения и ликвидации ЧС; должен быть готов к взаимодействию с органами местного самоуправления по вопросам согласования и разработки плановых документов, к осуществлению контроля и координации деятельности формирований и служб ГО организации; способен осуществлять подготовку работников, НАСФ и должностных лиц организаций в области защиты в ЧС (ЗЧС), проводить комплексные, командно-штабные, тактико-специальные учения и тренировки, осуществлять пропаганду знаний в области ЗЧС (разрабатывать памятки по действиям в ЧС, проводить конкурсы, тренинги и др.) [6]. Проведенный анализ профессиональных стандартов позволил выделить несколько групп трудовых действий будущего специалиста в области техносферной безопасности, требующих знаний, умений и навыков, относящихся к области психологической науки:

1) выполнение повседневных профессиональных обязанностей, связанных с переработкой больших объемов информации, подготовкой отчетной документации, разработкой организационно-технических мероприятий и соответствующей планирующей документации, требует специальных знаний, умений и навыков из области общей психологии, психологии личности, инженерной психологии, которые повысят не только эффективность разрабатываемых мероприятий по снижению профессиональных рисков и мотивации работников к безопасному труду, но и позволят самому специалисту более эффективно справляться с эмоционально-психологической нагрузкой, управлять своим

временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития, анализировать и оценивать свою деятельность в профессиональной сфере;

2) при выполнении профессиональных обязанностей, связанных с социальным взаимодействием с персоналом, комитетами, комиссиями, надзорными органами, а также функциями контроля за соблюдением нормативных требований необходимы знания в области социальной психологии для повышения эффективности межличностного взаимодействия и делового общения, создания доверительных конструктивных отношений, формирования благоприятного психологического климата в коллективе;

3) организация и проведение пропаганды, консультирования, инструктажей, обучения, тренировок требует знаний, умений и навыков из области педагогической психологии;

4) при возникновении несчастного случая, аварии или ЧС на специалиста возлагаются обязанности по организации расследования их причин, по оказанию первой помощи пострадавшим, по эвакуации и спасению персонала, организации тушения пожаров, локализации аварий до прибытия соответствующих служб, по содействию им в случае необходимости и другое, что требует знаний, умений и навыков из области психологии экстремальных и чрезвычайных состояний, а также развития определенных профессионально-важных качеств (ПВК), обеспечивающих эффективность деятельности в подобных ситуациях.

В целях формирования указанных выше психологических знаний, умений и навыков учебным планом для всех направлений (профилей) подготовки предусмотрены дисциплины «Психолого-педагогические и социальные основы безопасности», «Организация профессиональной деятельности в сфере безопасности», «Планирование и организация обучения персонала в области защиты в ЧС», «Планирование профессиональной деятельности», в которые включены вопросы психологии безопасности деятельности, в том числе специалистов экстремального профиля, психологии экстремальных ситуаций, психологические основы делового общения и социальных коммуникаций в контексте решения профессиональных задач, методические и психолого-педагогические аспекты обучения в области охраны труда, пожарной безопасности и защиты в ЧС и др. Но эффективность деятельности специалиста в области техносферной безопасности определяется не только совокупностью его теоретических знаний, практических умений и навыков в области психологии, но и его индивидуально-психологическими особенностями, относящимися к категории ПВК, которые также необходимо формировать и развивать в процессе подготовки в вузе.

Профессиональная деятельность специалиста в области техносферной безопасности осуществляется не только в режиме нормального функционирования объекта, но и в аварийных и ЧС, которые характеризуются внезапностью воздействия опасных факторов с угрозой для жизни и здоровья, неопределенностью оперативной обстановки, высоким психофизиологическим напряжением, повышенной личной ответственностью за исход ситуации, дефицитом времени на принятие решений. Особым психическим состоянием, развивающимся под влиянием подобных ситуаций профессиональной деятельности, является стресс, отрицательное влияние которого отражается на процессах восприятия, мышления, внимания; часто доминирует поведение с повышением возбудимости, выражающееся в его дезорганизации; в результате чрезмерного нервно-эмоционального возбуждения (или торможения) вследствие неадекватной субъективной оценки опасности ситуации поведение может приобретать беспорядочный характер или развивается состояние оцепенения, что приводит к ошибкам [9].

Способность организма сохранять нормальную работоспособность во время действия стрессора обеспечивает стрессоустойчивость [10], определяемая исследователями как «комплексное свойство человека, которое характеризуется необходимой степенью адаптации индивида к воздействию экстремальных или кумулятивных внешних и внутренних факторов в процессе жизнедеятельности, обусловленное уровнем активации ресурсов организма

и психики индивида, проявляющееся в показателях его функционального состояния и работоспособности» [11, с. 158]; как «интегративное качество личности, способствующее успешному осуществлению деятельности в напряженных условиях» [12]; как «частный случай психической устойчивости, проявляющейся при наличии стресс-факторов» [13].

Бодров В.А. указывает, что стрессоустойчивость определяется уровнем функциональной надежности субъекта деятельности и развития психических, физиологических и социальных механизмов регуляции текущего функционального состояния и поведения в этих условиях [9].

Психограмма специалиста в области техносферной безопасности помимо устойчивости функций анализаторов, качеств восприятия, внимания, физической выносливости, хорошей координации движений, высокого уровня субъективного контроля, умеренной склонности к риску, уверенности в себе и умения работать в команде и другие также включает такие ПВК, как эмоциональная стабильность, устойчивость к стрессу, стеничность реакций на опасность; о непригодности к данной профессиональной деятельности свидетельствует нервно-психическая и эмоциональная неустойчивость [14].

Нервно-психическая устойчивость (НПУ) – совокупность приобретенных или врожденных личностных качеств, психофизиологических резервов и мобилизационных ресурсов организма, которые обеспечивают оптимальное функционирование индивида в экстремальных и неблагоприятных условиях [15].

Ильин Е.П. отмечает, что лица с высокой выраженностью силы нервных процессов проявляют более высокую устойчивость к значительной психоэмоциональной нагрузке [16].

### Материалы и результаты исследования

На базе индустриально-педагогического факультета Курского государственного университета было проведено исследование НПУ среди обучающихся 2–4 курсов очной и заочной формы обучения по направлению подготовки 20.03.01 «Техносферная безопасность» с применением методики «Прогноз-2»; результаты исследования представлены в табл. 2.

Таблица 2. Результаты исследования НПУ обучающихся по направлению подготовки 20.03.01 «Техносферная безопасность»

Направленность (профиль)	Всего, человек	Уровень НПУ		
		1 (высокий) 9–10 стен	2 (хороший) 6–8 стен	3 (удовлетворительный) 3–5 стен
Количество обучающихся с различным уровнем НПУ, %				
БТиТП	32	9 %	61 %	30 %
ЗЧСпгх	28	14 %	70 %	16 %
ПБптс	30	19 %	66 %	15 %

По результатам проведенной психодиагностики можно сделать следующие выводы:

– в группах обучающихся большинство (от 61 до 70 % респондентов) имеет хороший (2-й) уровень НПУ, характеризующийся низкой вероятностью нервно-психических срывов, адекватными самооценкой и оценкой окружающей действительности; возможны единичные, кратковременные нарушения поведения в экстремальных ситуациях;

– обнаружены статистически значимые отличия в уровне развития НПУ у обучающихся по профилям подготовки «БТиТП» и «ПБптс» (применение критерия  $\chi^2$  для определения степени значимости различий показало, что число степеней свободы равно 2; значение критерия  $\chi^2$  составляет 8,768; критическое значение  $\chi^2$  при уровне значимости  $p=0,05$  составляет 5,991; связь между факторным и результативным признаками статистически значима при уровне значимости  $p<0,05$ ; уровень значимости  $p=0,013$ ); в группе обучающихся по профилю «ПБптс» значительно больше обучающихся имеет

высокий уровень НПУ и значительно меньше имеет удовлетворительный уровень НПУ, что может объясняться тем, что в группах заочной формы обучения есть студенты, которые входят в состав ДПД вуза и спасательного отряда факультета (то есть проходят дополнительную подготовку, в том числе психологическую), а также занимаются профессиональной деятельностью в данной области и, в силу своей профессиональной подготовки, имеют более высокий уровень НПУ (точная связь этих факторов не установлена, так как исследование проводилось анонимно).

Для сравнения полученных результатов проведена оценка НПУ у студентов, образовательная программа которых не связана с обеспечением безопасности (табл. 3).

Таблица 3. Результаты исследования НПУ обучающихся по направлению подготовки 44.03.04 «Профессиональное обучение» (по отраслям) и 43.03.01 «Сервис»

Среднее количество обучающихся с различным уровнем НПУ, %	Всего, человек	Уровень НПУ		
		1 (высокий) 9–10 стен	2 (хороший) 6–8 стен	3 (удовлетворительный) 3–5 стен
	90	4 %	47 %	49 %

В результате обнаружены статистически значимые отличия в уровне развития НПУ у обучающихся по направлению подготовки 20.03.01 «Техносферная безопасность» (по средним показателям) и обобщенной группы обучающихся по направлению подготовки 44.03.04 «Профессиональное обучение» (по отраслям) и 43.03.01 «Сервис» (рис. 2) (число степеней свободы равно 2; значение критерия  $\chi^2$  составляет 20,939; критическое значение  $\chi^2$  при уровне значимости  $p=0,01$  составляет 9,21; связь между факторным и результативным признаками статистически значима при уровне значимости  $p<0,01$ ; уровень значимости  $p<0,001$ ). В отличие от обучающихся по направлению «Техносферная безопасность», где в группах большинство имеет хороший уровень развития НПУ, обучающиеся по направлению подготовки 44.03.04 «Профессиональное обучение» и 43.03.01 «Сервис» практически в равных процентных значениях имеют хороший и удовлетворительный уровень развития НПУ, в этой группе значительно меньше выявлено обучающихся с высоким уровнем развития НПУ. Выявленные отличия могут быть связаны с тем, что НПУ – это совокупность не только врожденных личностных качеств, но и приобретенных, которые могли сформироваться в ходе обучения в вузе, в том числе в ходе психологической подготовки в рамках дисциплин, предусмотренных учебным планом; а также быть обусловлены наличием опыта действий в соответствующих ситуациях в силу профессиональной деятельности.

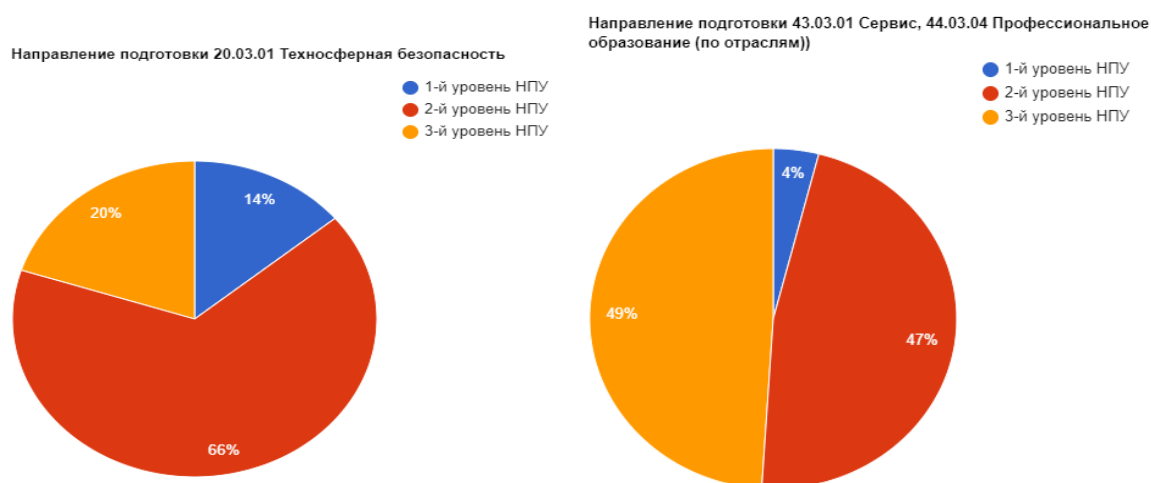


Рис. 2. Результаты психодиагностики уровня НПУ



Таким образом, в ходе осуществления подготовки обучающихся по направлению 20.03.01 «Техносферная безопасность» необходимо вести работу по развитию НПУ, поскольку у 15–30 % студентов выявлен 3-й (удовлетворительный) уровень ее развития, что может в условиях осуществления профессиональной деятельности при возникновении несчастных случаев, аварий или ЧС привести к умеренным нарушениям психической деятельности, сопровождающимся неадекватным поведением, самооценкой и восприятием окружающей действительности, вероятны нервно-психические срывы. НПУ является одной из составляющих стрессоустойчивости, которая уменьшает отрицательное воздействие сильных эмоциональных явлений, способствует проявлению готовности к действиям в напряженной ситуации. Недостаточное развитие НПУ может снизить эффективность профессиональной деятельности специалиста в области техносферной безопасности, профессиональная деятельность которого содержит элементы экстремальности.

### Заключение

Основными направлениями формирования и повышения уровня развития НПУ и в целом стрессоустойчивости специалистов в области техносферной безопасности являются:

– работа с когнитивной сферой, поскольку стресс «в большой степени является продуктом когнитивных процессов, образа мыслей и оценки ситуации, знания собственных ресурсов, степени обученности способам управления и стратегии поведения» [9]; согласно когнитивной теории стресса (Р. Лазарус), важную роль играет субъективная познавательная оценка угрозы неблагоприятного воздействия и своей возможности преодоления стресса [9]; формирование когнитивной основы НПУ возможно в рамках изучения теоретической части дисциплин, в том числе психологической направленности;

– формирование способности к саморегуляции (в том числе эмоционально-психологического состояния) и управлению эмоциональным состоянием персонала в экстремальных ситуациях, поскольку негативное эмоциональное состояние зачастую влечет совершение ошибок в действиях или дезорганизацию деятельности. Широко известны исследования [17–19], в которых показано, что механизм саморегуляции заключается в том, что «действие, которое представляется оператору сложным или опасным, от выполнения которого зависит успех деятельности, порождает у него эмоции и связанную с ними энергетическую мобилизацию организма, что способствует успешному выполнению такого действия», но по такому «сценарию» события развиваются лишь при стеническом характере эмоций – в противном случае подобные условия сопровождаются ростом ошибочных действий и иногда отказом в работе системы. Работа в данном направлении может осуществляться в ходе проведения практических занятий в рамках дисциплины «Психолого-педагогические и социальные основы безопасности», в которую включены такие темы, как «Техники экстренной психологической помощи», «Психическая саморегуляция деятельности и негативных функциональных состояний», «Поведение в стрессовых ситуациях. Профилактика стресса», или в ходе организации тренинга эмоциональной устойчивости, который позволит «прожить» различные ситуации и осознать опыт;

– практическая отработка (проигрывание) сформированных когнитивных моделей поведения в экстремальных ситуациях в условиях, максимально приближенным к реальным, что будет способствовать не только доведению действий до автоматизма, приобретению опыта позитивного решения проблемных ситуаций, но и развитию субъективной ответственности (внутреннего локуса контроля), осознанию ответственности за характер своих действий при руководстве персоналом, ДПД, НАСФ объекта (установлено, что фактором формирования НПУ является развитие субъективной ответственности, которая включает функцию саморегуляции социальной и биологической основы НПУ [20]); данное направление работы возможно реализовать во внеаудиторной форме, посредством вовлечения студентов в деятельность ДПД вуза, спасательного отряда факультета,

в волонтерскую деятельность, привлечения к агитационной работе, к участию в конкурсах и соревнованиях соответствующей направленности, что позволит не только обобщить и закрепить навыки, приобрести опыт, уверенность в своей способности и готовности к эффективным действиям в экстремальной ситуации, но и создаст мотивацию для дальнейшего личностного развития.

### Литература

1. Статистика травматизма на производстве // Онлайн-журнал «Attek experts». URL: <https://www.centrattek.ru/info/statistika-proizvod-travmatizm-po-miru-rossija/> (дата обращения: 20.06.2021).
2. ФСС: Производственный травматизм и профессиональная заболеваемость // Труд-Эксперт. Управление Онлайн сервис № 1 для управления охраной труда в организации. URL: <https://www.trudcontrol.ru/press/statistics/29909/fss-proizvodstvenniy-travmatizm-i-professionalnaya-zabolevaemost> (дата обращения: 20.06.2021).
3. О состоянии защиты населения и территорий Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в 2020 году: Гос. доклад. М.: МЧС России. ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2021. 264 с.
4. Об утверждении профессионального стандарта «Специалист в области охраны труда» (зарег. в Минюсте России 20 авг. 2014 г. № 33671): приказ Минтруда России от 4 авг. 2014 г. № 524н (в ред. от 12 дек. 2016 г.). Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
5. Об утверждении профессионального стандарта «Специалист по противопожарной профилактике» (зарег. в Минюсте России 21 нояб. 2014 г. № 34822): приказ Минтруда России от 28 окт. 2014 г. № 814н (в ред. от 12 дек. 2016 г.). Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
6. Об утверждении профессионального стандарта «Специалист по гражданской обороне» (зарег. в Минюст Рос. Федерации 2 дек. 2020 г., рег. № 61199): приказ Министерства труда и социальной защиты Рос. Федерации от 27 окт. 2020 г. № 748н // Официальный интернет портал правовой информации. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202012020044/> (дата обращения: 21.06.2021).
7. Об утверждении федерального государственного образовательного стандарта высшего образования – бакалавриат по направлению подготовки 20.03.01 «Техносферная безопасность» (зарег. Минюстом Рос. Федерации 6 июня 2020 г., рег. № 58837): приказ Министерства науки и высшего образования Рос. Федерации от 25 мая 2020 г. № 680. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
8. Психодиагностика стресса: практикум / сост. Р.В. Куприянов, Ю.М. Кузьмина. Казань: КНИТУ, 2012. 212 с.
9. Бодров В.А. Психология профессиональной пригодности: учеб. пособие для вузов. М.: ПЕР СЭ, 2017. 511 с.
10. Трошин В.Д. Стресс и стрессогенные расстройства. Диагностика, лечение и профилактика. М.: Медицинское информационное агентство, 2007. 778 с.
11. Лозгачева О.В. Формирование стрессоустойчивости на этапе профессионализации (на примере юридического вуза): дис. ... канд. психол. наук. Екатеринбург, 2004. 222 с.
12. Азаренкова Т.Г. Особенности профессиональных стрессоров у лётного состава гражданской авиации // Современные подходы в оказании экстренной психологической помощи: сб. трудов молодых ученых (Экспериментальная платформа – 2018) / под общ. ред. А.В. Кокурина. М.: ИП Сигитов Т.М., 2018. 201 с.
13. Андреева А.А. Стрессоустойчивость как фактор развития позитивного отношения к учебной деятельности у студентов: дис ... канд. психол. наук. Тамбов, 2009. 219 с.
14. Методические сценарии учебных занятий по психологической подготовке специалистов МЧС России: метод. рекомендации / И.Н. Елисеева [и др.]. М., 2011. 496 с.

15. Берг Т.Н. Нервно-психическая неустойчивость и способы ее выявления. Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2005. 63 с.
16. Ильин Е.П. Дифференциальная психология профессиональной деятельности. СПб.: Питер, 2008. 432 с.
17. Котик М.А. Саморегуляция и надежность человека-оператора. Таллинн: Валгус, 1974. 168 с.
18. Котик М.А. Психология и безопасность. Таллинн: Валгус, 1987. 440 с.
19. Котик М.А., Емельянов А.М. Природа ошибок человека-оператора. М.: Транспорт, 1993. 252 с.
20. Комарова Н.Г. Формирование пригодности к военной службе как результат личностного саморазвития курсанта военного вуза: автореф. дис. ... канд. психол. наук. СПб., 2016.

### References

1. Statistika travmatizma na proizvodstve // Onlajn-zhurnal «Attek experts». URL: <https://www.centrattek.ru/info/statistika-proizvod-travmatizm-po-miru-rossija/> (data obrashcheniya: 20.06.2021).
2. FSS: Proizvodstvennyj travmatizm i professional'naya zaboлеваemost' // Trud-Ekspert. Upravlenie Onlajn servis № 1 dlya upravleniya ohranoj truda v organizacii. URL: <https://www.trudcontrol.ru/press/statistics/29909/fss-proizvodstvennyj-travmatizm-i-professionalnaya-zaboлеваemost> (data obrashcheniya: 20.06.2021).
3. O sostoyanii zashchity naseleniya i territorij Rossijskoj Federacii ot chrezvychajnyh situacij prirodnoho i tekhnogennogo haraktera v 2020 godu: Gos. doklad. M.: MCHS Rossii. FGBU VNII GOCHS (FC), 2021. 264 s.
4. Ob utverzhdenii professional'nogo standarta «Specialist v oblasti ohrany truda» (zareg. v Minyuste Rossii 20 avg. 2014 g. № 33671): prikaz Mintruda Rossii ot 4 avg. 2014 g. № 524n (v red. ot 12 dek. 2016 g.). Dostup iz sprav.-pravovoj sistemy «Konsul'tantPlyus».
5. Ob utverzhdenii professional'nogo standarta «Specialist po protivopozharnoj profilaktike» (zareg. v Minyuste Rossii 21 noyab. 2014 g. № 34822): prikaz Mintruda Rossii ot 28 okt. 2014 g. № 814n (v red. ot 12 dek. 2016 g.). Dostup iz sprav.-pravovoj sistemy «Konsul'tantPlyus».
6. Ob utverzhdenii professional'nogo standarta «Specialist po grazhdanskoj oborone» (zareg. v Minyust Ros. Federacii 2 dek. 2020 g., reg. № 61199): prikaz Ministerstva truda i social'noj zashchity Ros. Federacii ot 27 okt. 2020 g. № 748n // Oficial'nyj internet portal pravovoj informacii. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202012020044/> (data obrashcheniya: 21.06.2021).
7. Ob utverzhdenii federal'nogo gosudarstvennogo obrazovatel'nogo standarta vysshego obrazovaniya – bakalavriat po napravleniyu podgotovki 20.03.01 «Tekhnosfernaya bezopasnost'» (zareg. Minyust Ros. Federacii ot 6 iyunya 2020 g., reg. № 58837): prikaz Ministerstva nauki i vysshego obrazovaniya Ros. Federacii ot 25 maya 2020 g. № 680. Dostup iz sprav.-pravovoj sistemy «Konsul'tantPlyus».
8. Psihodiagnostika stressa: praktikum / sost. R.V. Kupriyanov, YU.M. Kuz'mina. Kazan': KNITU, 2012. 212 s.
9. Bodrov V.A. Psihologiya professional'noj prigodnosti: ucheb. posobie dlya vuzov. M.: PER SE, 2017. 511 s.
10. Troshin V.D. Stress i stressogennye rasstrojstva. Diagnostika, lechenie i profilaktika. M.: Medicinskoje informacionnoje agentstvo, 2007. 778 s.
11. Lozgacheva O.V. Formirovanie stressoustojchivosti na etape professionalizacii (na primere yuridicheskogo vuz): dis. ... kand. psihol. nauk. Ekaterinburg, 2004. 222 s.
12. Azarenkova T.G. Osobennosti professional'nyh stressorov u lyotnogo sostava grazhdanskoj aviacii // Sovremennye podhody v okazanii ekstremnoj psihologicheskoy pomoshchi: sb. trudov molodyh uchenyh (Eksperimental'naya platforma – 2018) / pod obshch. red. A.V. Kokurina. M.: IP Sigitov T.M., 2018. 201 s.

13. Andreeva A.A. Stressoustojchivost' kak faktor razvitiya pozitivnogo otnosheniya k uchebnoj deyatel'nosti u studentov: dis ... kand. psihol. nauk. Tambov, 2009. 219 s.
14. Metodicheskie scenarii uchebnyh zanyatij po psihologicheskoj podgotovke specialistov MCHS Rossii: metod. rekomendacii / I.N. Eliseeva [i dr.]. M., 2011. 496 s.
15. Berg T.N. Nervno-psihicheskaya neustojchivost' i sposoby ee vyyavleniya. Vladivostok: Mor. gos. un-t, 2005. 63 s.
16. Il'in E.P. Differencial'naya psihologiya professional'noj deyatel'nosti. SPb.: Piter, 2008. 432 s.
17. Kotik M.A. Samoregulyaciya i nadezhnost' cheloveka-operatora. Tallinn: Valgus, 1974. 168 s.
18. Kotik M.A. Psihologiya i bezopasnost'. Tallin: Valgus, 1987. 440 s.
19. Kotik M.A., Emel'yanov A.M. Priroda oshibok cheloveka-operatora. M.: Transport, 1993. 252 s.
20. Komarova N.G. Formirovanie prigodnosti k voennoj sluzhbe kak rezul'tat lichnostnogo samorazvitiya kursanta voennogo vuza: avtoref. dis. ... kand. psihol. nauk. SPb., 2016.

УДК 796.922

## **БЛОЧНО-МОДУЛЬНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ РАЗВИТИЯ ОБЩЕЙ И СПЕЦИАЛЬНОЙ ФИЗИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВЛЕННОСТИ БИАТЛОНИСТОВ**

**А.А. Бобрищев, доктор психологических наук, профессор;**

**К.В. Мотовичев.**

**Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России.**

**Т.А. Сагиев, кандидат педагогических наук.**

**Омский государственный технический университет**

Описывается блочно-модульная педагогическая технология развития общей и специальной физической подготовленности биатлонистов в бесснежный период подготовки. Дается описание и результаты педагогического эксперимента, направленного на проверку эффективности разработанной технологии. Для оценки эффективности используется сравнительный анализ полученных показателей общей и специальной физической подготовленности биатлонистов в возрасте 13–14 лет, вошедших в экспериментальную и контрольную группы. По итогам анализа результатов педагогического эксперимента доказывается высокая эффективность разработанной блочно-модульной педагогической технологии.

*Ключевые слова:* блочно-модульная педагогическая технология, физическая подготовленность, спортсмены-биатлонисты, педагогический эксперимент, эффективность, сравнительный анализ, учебно-тренировочная деятельность, подготовительный период

## **BLOCK-MODULAR TECHNOLOGY FOR THE DEVELOPMENT OF GENERAL AND SPECIAL PHYSICAL FITNESS OF BIATHLETES**

A.A. Bobrishev; K.V. Motovichev.

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

T.A. Sagiev. Omsk state technical university

The article describes a block-modular pedagogical technology for the development of general and special physical readiness of biathletes during the snowless period of training. A description and results of a pedagogical experiment aimed at testing the effectiveness of the developed technology are given. To assess the effectiveness, a comparative analysis of the obtained indicators of general and special physical fitness of biathletes at the age of 13–14 years old, included in the experimental and control groups, is used. Based on the results of the analysis of the results of the pedagogical experiment, the high efficiency of the developed block-modular pedagogical technology is proved.

*Keywords:* block-modular pedagogical technology, physical fitness, biathlete athletes, pedagogical experiment, effectiveness, comparative analysis, educational and training activities, preparatory period

Соревновательная деятельность в любых видах спорта требует развития и формирования общей и специальной физической подготовленности для достижения успеха. В полной мере данное положение относится и к подготовке спортсменов-биатлонистов, однако до сих пор не имеет однозначного решения педагогическая проблема, связанная с соотношением общей и специальной физической нагрузки, формирования отдельных проявлений физических качеств и комплексного формирования гармоничной

мышечной системы спортсмена. Особенно актуальным становится данный вопрос при многолетнем развитии спортивного мастерства, начиная с возраста 13–14 лет [1–3], который считается наиболее благоприятным для развития общей и специальной физической подготовленности биатлониста, опирающейся на общий уровень развития силовой выносливости и комплексных скоростно-силовых качеств [4–7].

Ряд авторов отмечают проблему ранней специализации в работе с юными спортсменами, заключающейся в концентрации преимущественно на специальных упражнениях, что в дальнейшем приводит к задержке прогресса достигаемых результатов [4, 8]. Данная проблема возникает при отсутствии системного подхода при организации тренировочного процесса юных спортсменов, когда для достижения высоких результатов необходимо всячески разнообразить тренировочный процесс [5].

При этом является важным учёт возрастных психологических особенностей подростков, поскольку длительное повторение однообразных специальных нагрузок влечёт за собой потерю интереса к занятиям и эмоциональному выгоранию, что приводит к потере веры в себя, депрессивным переживаниям, стрессовым состояниям, страху перед соревнованиями и уходу из спорта [9]. Данное явление связано с тем, что у подростков продолжается формирование психики, она достаточно неустойчива и ранима, поэтому далеко не все талантливые юные спортсмены способны справляться с длительными однообразными и монотонными действиями и с тяжёлыми нагрузками [10].

В связи с этим при работе с подростками необходимо уделять много внимания психологической закалке, в том числе и за счёт разносторонней общей физической подготовки, требующей волевых усилий для выполнения, состоящей из разнообразных упражнений на силу, ловкость, быстроту и гибкость, позволяющей укрепить все группы мышц, связки и сухожилия [9–11]. В дальнейшем необходимо постепенно добавлять специальные упражнения на группы мышц, задействованных при передвижении на лыжах, что вносит разнообразие в тренировочный процесс, способствует снижению однообразия и связанного с ним повышенного психического напряжения. При хорошем общефизическом развитии биатлонист более адаптивен, уверен в себе, психологически устойчив, легче переносит разнородные физические нагрузки при передвижении как по равнинным участкам трассы, так и на подъемах. В целом повышаются функциональные резервы организма, формируется база для развития специальной физической подготовленности, укрепляется физическое и психическое здоровье юных спортсменов [9–12].

Помимо вышесказанного, необходимо учитывать опыт подготовки юных спортсменов за рубежом, прежде всего в Норвегии, биатлонисты которой длительное время занимают лидирующие позиции по биатлону во всём мире. При изучении норвежского опыта подготовки биатлонистов можно отметить, что проблема ранней специализации у них отсутствует, поскольку тренировочный процесс разнообразных форм и методов строится на основе многолетней планомерной организации. До 17-летнего возраста юные спортсмены тренируются по месту жительства в привычных условиях, подготовка к высшим достижениям начинается лишь с 19 лет. Тренировочная нагрузка в области специальной физической подготовки достигает максимума лишь к 21–22 годам. Достигшие наилучших результатов спортсмены приглашаются в сборную Норвегии в возрасте 23–25 лет. В общем применяемый в Норвегии подход ориентирован на спортивное долголетие и перспективный рост спортивных достижений и позволяет успешно выступать норвежским биатлонистам на соревнованиях мирового уровня вплоть до возраста 35–40 лет [11, 13, 14].

Для решения вышеназванных проблем была использована основанная на принципах системности и целостности организации тренировочного процесса педагогическая технология модульного планирования, состоящая из блокомодулей [5, 15–17]. Использование модульной технологии позволяет хорошо структурировать тренировочный процесс, последовательно осуществлять подготовку с учётом дидактических принципов этапности подготовки от простого к сложному и возрастных психофизических возможностей и особенностей спортсменов.

В понимании авторов блок является составной частью предварительной бесснежной подготовки, а в качестве модулей рассматривались компоненты общей и специальной физической подготовленности [5, 11]. Выделение данных компонентов основывалось на результатах теоретического анализа имеющейся научной литературы и собственного эмпирического опыта организации тренировочного процесса. Прежде всего, учитывали биомеханику движений при беге коньковым ходом, а также энергетические затраты мышечной деятельности спортсменов биатлонистов на разных этапах проходимой дистанции, в зависимости от её сложности и протяжённости [5, 11].

При этом скорость освоения компонентов специальной подготовленности, технико-тактической и функциональной зависит в первую очередь от уровня развития общей физической подготовленности и силовой выносливости [5, 18].

В ходе анализа общепринятых педагогических подходов в учебно-тренировочной деятельности при подготовке спортсменов биатлонистов был выявлен ряд недостатков [5]:

- объём силовой подготовки в течение всего подготовительного периода был явно недостаточным;
- используются однотипные упражнения на протяжении всего подготовительного периода, без внесения какого-либо разнообразия, лишь увеличивается количество повторений;
- при использовании циклических упражнений нагрузка на силовую выносливость увеличивается лишь за счёт увеличения объема и интенсивности;
- тренировка, направленная на развитие общей физической подготовленности, проводилась фрагментарно и бессистемно лишь в первые два месяца подготовительного периода;
- преждевременное использование лыжероллерной подготовки в подготовительном периоде в избыточных объёмах;
- скоростные и скоростно-силовые упражнения проводятся сразу после дней с тяжёлой общефизической нагрузкой без учёта её воздействия на мышцы, связки и сухожилия [5, 11].

Результаты предварительного исследования были положены в основу при разработке блочно-модульной педагогической технологии подготовки юных биатлонистов. Модель строилась с учётом психофизических и возрастных особенностей спортсменов, приоритетными задачами являлись учёт этапности подготовки и формирования двигательных действий соревновательного бега, акцентированное и дифференцированное развитие компонентов общей и специальной физической подготовленности в течение предварительного бесснежного периода подготовки. Ещё одним преимуществом предлагаемой педагогической технологии является возможность целенаправленно развивать либо некоторый конкретный компонент на отдельном тренировочном занятии, либо в одном блоке целостное проявление общей и специальной физической подготовленности и силовой выносливости [5].

Принципиальным отличием разработанной блочно-модульной технологии от общепринятых педагогических подходов в учебно-тренировочной деятельности является планирование отдельных занятий на развитие общей и специальной физической подготовленности в условиях существенного мышечного напряжения с преодолением внешнего сопротивления в течение всего бесснежного периода подготовки.

Апробация и внедрение строились, не касаясь разделов стрелковой, комплексной и технико-тактической подготовки, проводились в ходе освоения раздела физической подготовки биатлонистов учебно-тренировочных групп второго года обучения.

Разработанная технология состоит из трёх основных блоков – «базового», «развивающего» и «реализационного» [5, 11].

«Базовый» блок ориентирован на использование недельного микроцикла силовой аэробики и стретчинга, взамен используемых традиционно низкоинтенсивных беговых упражнений на развитие общей выносливости, что позволило увеличить объём силовой подготовки до 60 % нагрузки, оставшаяся нагрузка распределялась на развитие общей выносливости и ловкости. Блок состоит из двух модулей: локальная анаэробная статодинамическая силовая выносливость и общая аэробная силовая выносливость. Модуль анаэробной выносливости ориентирован в первую очередь на общее развитие мышечного корсета юного спортсмена, позволяющего снижать риски возникновения травматизма, связанного с предстоящей далее интенсификацией тренировочной нагрузки, создания прочной основы для дальнейшего повышения силовой аэробной и силовой анаэробной выносливости [5]. В ходе реализации модулей блока происходит рост мышечной массы, силы, укрепление связок и сухожилий с помощью изометрических и статодинамических упражнений, стретчинга. Длительность тренировок в рамках «базового» блока составила один месяц (с 15 июня по 15 июля), разбитый на четыре недельных микроцикла.

«Трансформирующий» блок включает в себя три модуля: помимо двух ранее описанных модулей «базового» блока добавляется модуль взрывной силовой выносливости. Объём силовой подготовки повышается до 65 %, остальной объём нагрузки также отводится на развитие ловкости, общей и специальной выносливости. Реализация модулей блока ориентирована на локальное развитие анаэробной смешанной силовой выносливости спортсменов в условиях незначительного «за кислнения» мышц, обеспечивающего увеличение поперечника окислительных мышечных волокон [5]. Длительность «трансформирующего» блока составила шесть недельных микроциклов и занятия проводились с 15 июля до конца августа шесть раз в неделю.

«Реализационный» блок отводит 70 % на силовую подготовку за счет добавления упражнений на лыжероллерах и имитации лыжных ходов. В ходе реализации модулей блока предполагается развитие силы определённых мышечных групп, участвующих в передвижении на лыжах с использованием специально-подготовительных средств, а также беговых и имитационных упражнений со скандинавскими палками [5]. Длительность тренировок в рамках «реализационного» блока составила также шесть недель с начала сентября до середины октября по шесть раз в неделю.

В ходе всего тренировочного процесса юные спортсмены, входящие в состав экспериментальной группы (ЭГ), после выполнения каждого силового упражнения (во время отдыха между упражнениями), а также в конце каждого тренировочного занятия на развитие силы растягивали работающие мышцы, применяя «стретчинг» и принципы рационального дыхания в момент выполнения силовых циклических и ациклических упражнений, что способствовало ускорению процессов восстановления, профилактике возникновения травм во время выполнения силовых упражнений [5, 11].

Для проверки эффективности разработанной блочно-модульной педагогической технологии развития общей и специальной физической подготовленности биатлонистов 13–14 лет был проведен педагогический эксперимент с использованием ЭГ и контрольной групп (КГ).

Учебно-тренировочная деятельность с ЭГ проводилась по разработанной педагогической технологии, а с КГ – по общепринятой методике, изложенной в программе детско-юношеской спортивной школы (М.И. Шикунев и др., 2005 г.) [19]. Основными критериями оценки эффективности разработанной технологии явились объективные показатели тестов, а также результативность соревновательной деятельности.

Предварительная диагностика с использованием педагогических тестов общей физической подготовленности перед началом педагогического эксперимента показала примерно равный (без достоверных отличий) уровень развития общей физической подготовленности у биатлонистов ЭГ и КГ (рис. 1).



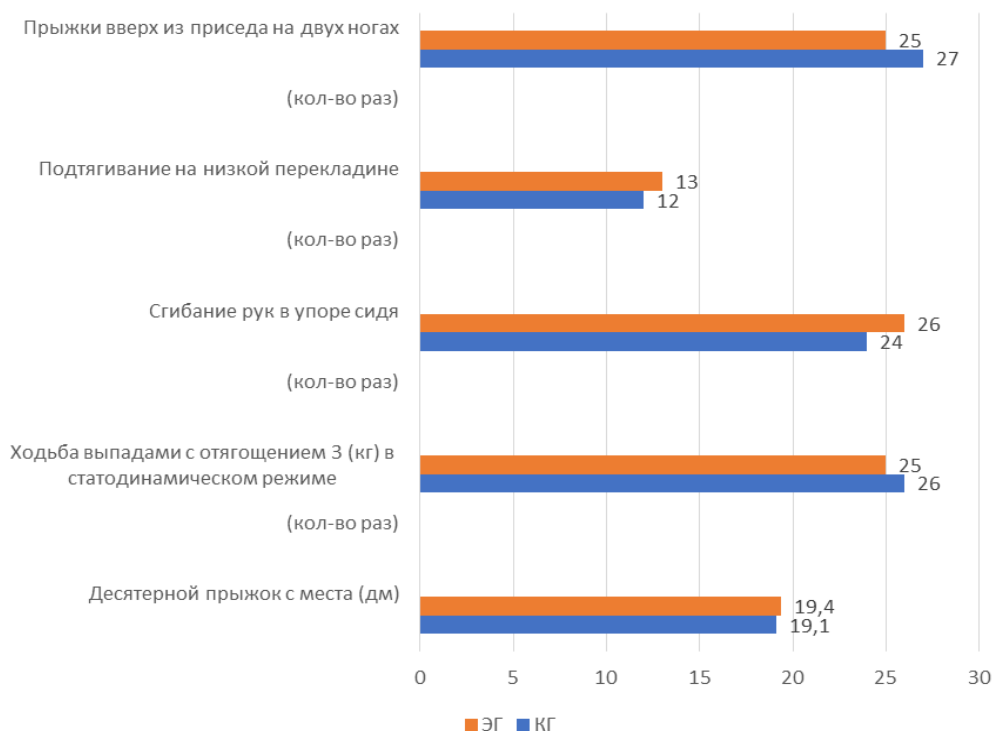


Рис. 1. Показатели общей физической подготовленности биатлонистов ЭГ и КГ перед началом педагогического эксперимента

Результаты педагогического эксперимента оценивались после окончания подготовительного периода и отработки всех блоков разработанной технологии с ЭГ путём сравнительного анализа показателей общей физической подготовленности юных биатлонистов, вошедших в ЭГ и КГ, представлены на рис. 2.

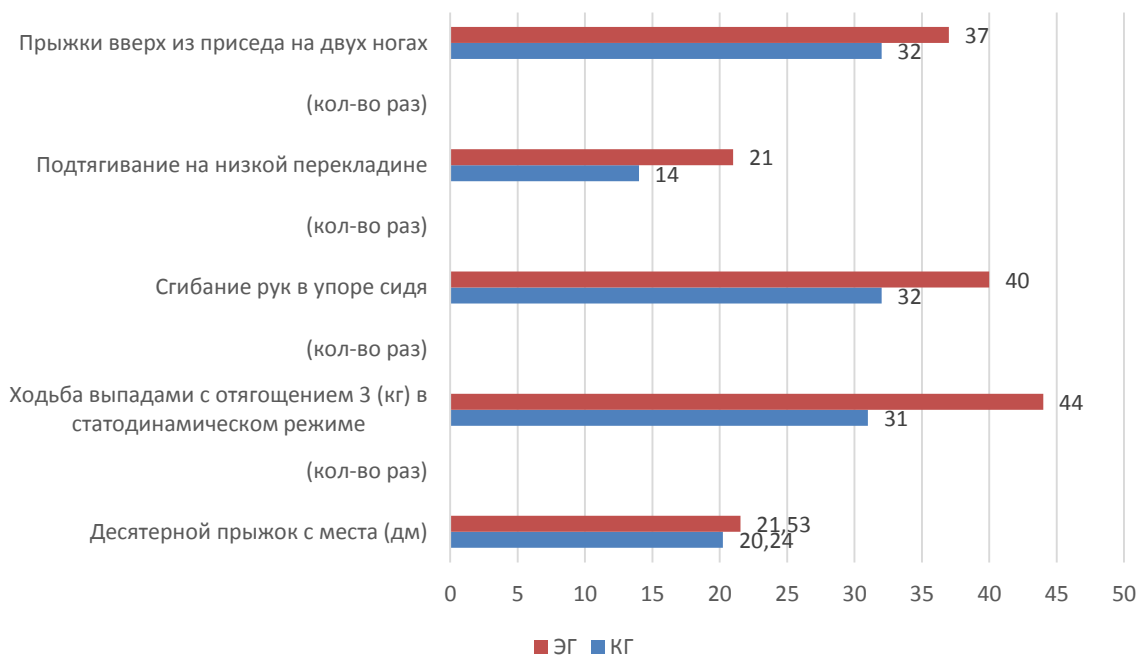


Рис. 2. Показатели общей физической подготовленности биатлонистов ЭГ и КГ после педагогического эксперимента

Сравнительный анализ показателей общей физической подготовленности биатлонистов ЭГ и КГ после педагогического эксперимента позволил установить достоверно более высокие показатели ( $p < 0,001$ ) по всем тестовым упражнениям за исключением «десятерного прыжка с места», что свидетельствует о большей эффективности разработанной блочно-модульной технологии развития общей и специальной физической подготовленности юных биатлонистов.

Для количественной оценки эффективности разработанной технологии на рис. 3 представлено сравнение прироста показателей тестов общей физической подготовленности биатлонистов ЭГ и КГ после педагогического эксперимента.

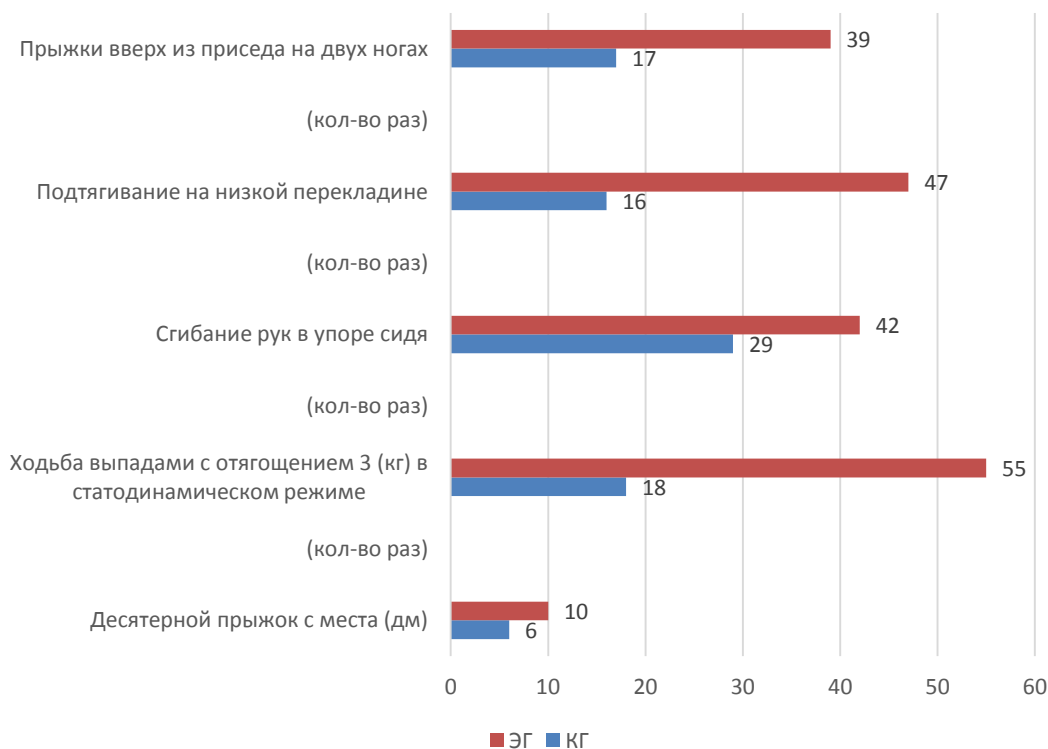


Рис. 3. Прирост показателей общей физической подготовленности биатлонистов ЭГ и КГ после педагогического эксперимента (в %)

Как видно из рис. 3, максимальный прирост показателей биатлонистов в КГ составил 29 %, тогда как в ЭГ составил 55 %. Кроме того, общий средний прирост по всем показателям КГ составил 17 %, а в ЭГ – 38 %. Полученные результаты свидетельствуют о практически в двое большем приросте показателей общей физической подготовленности биатлонистов ЭГ, что подтверждает её более высокую эффективность.

Для оценки специальной физической подготовленности перед началом и после педагогического эксперимента использовались специальные тесты на лыжероллерах, при этом не было выявлено достоверных отличий между спортсменами ЭГ и КГ перед началом педагогического эксперимента по данным тестам (рис. 4).

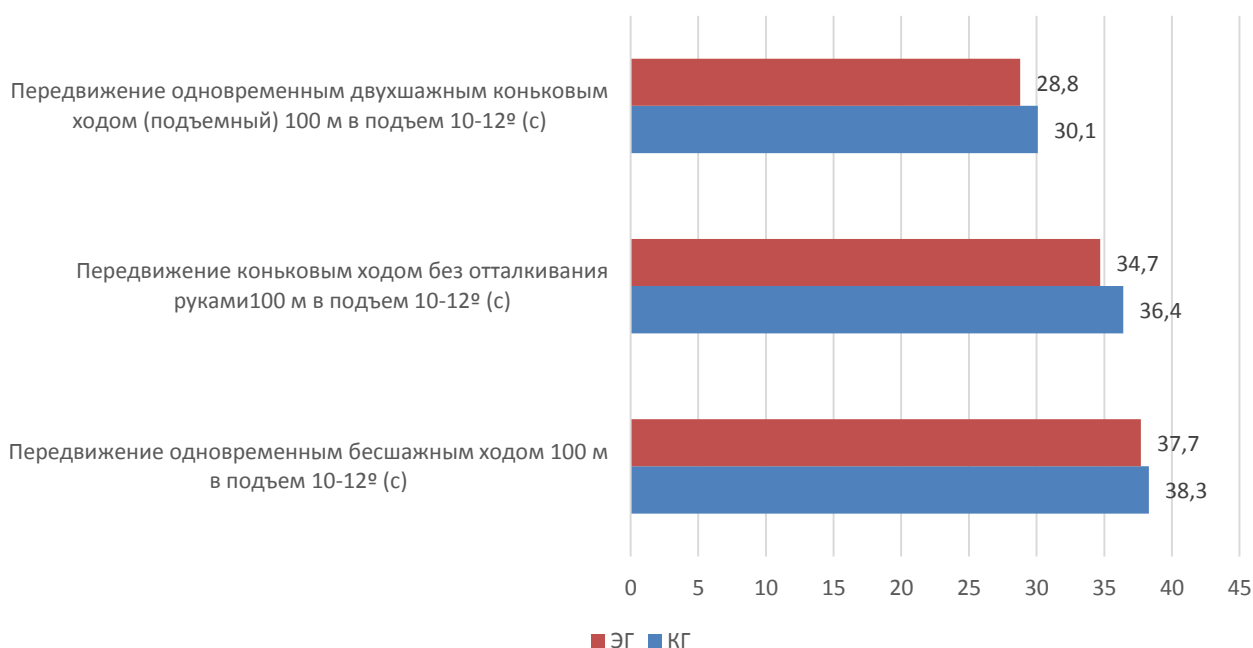


Рис. 4. Показатели специальной физической подготовленности биатлонистов ЭГ и КГ перед началом педагогического эксперимента

Результаты сравнительного анализа показателей специальной физической подготовленности юных биатлонистов, вошедших в ЭГ и КГ, после завершения педагогического эксперимента представлены на рис. 5.

Как видно из рис. 5, по результатам сравнительного анализа показателей специальной физической подготовленности биатлонистов ЭГ и КГ после педагогического эксперимента выявлены достоверно более высокие показатели ( $p < 0,001$ ) по всем тестам, что свидетельствует о большей эффективности разработанной блочно-модульной технологии развития общей и специальной физической подготовленности юных биатлонистов по сравнению с общепринятой.

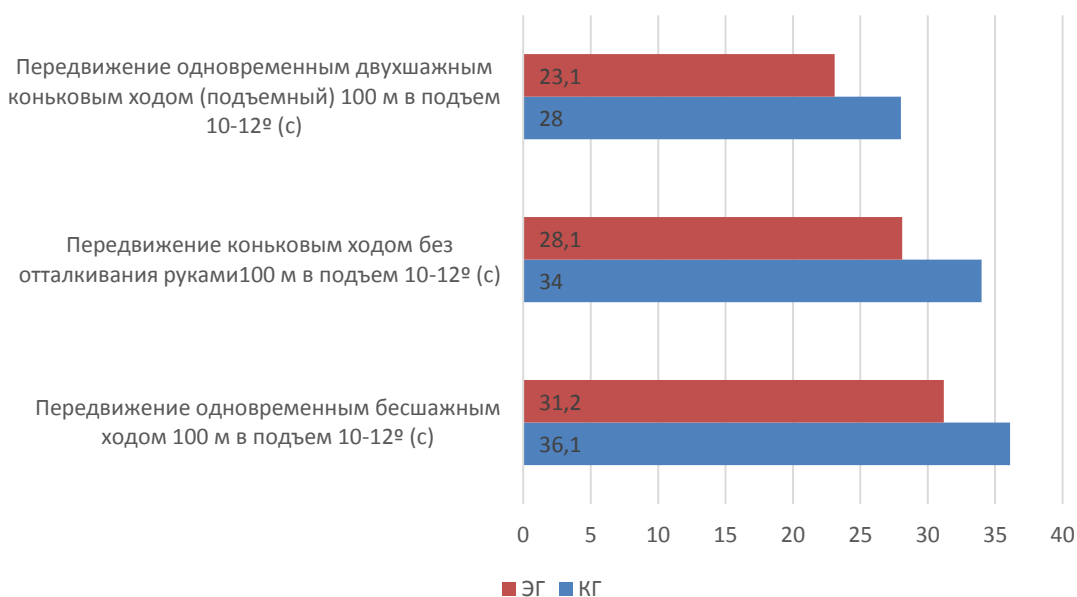
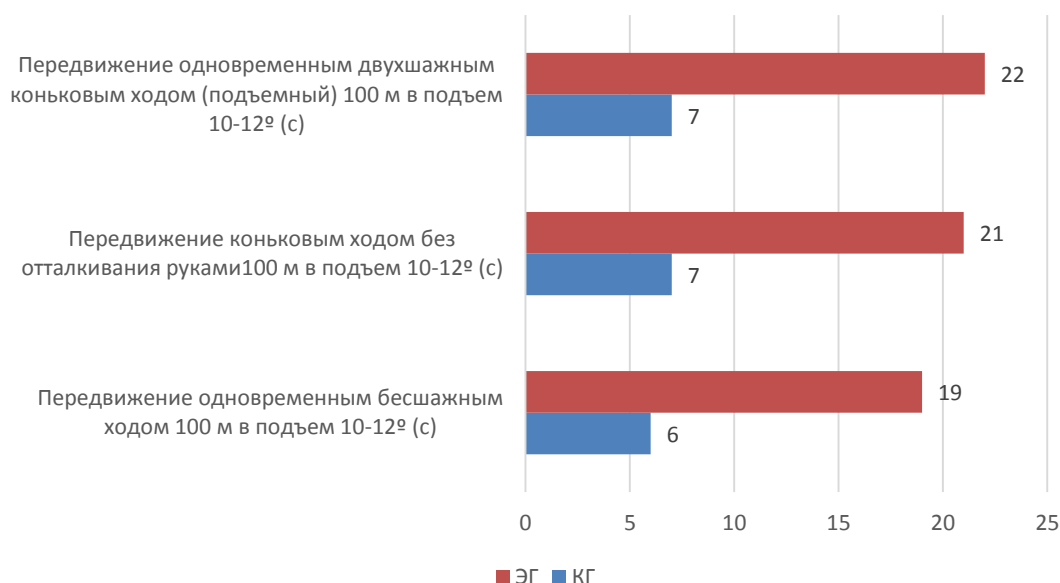


Рис. 5. Показатели специальной физической подготовленности биатлонистов ЭГ и КГ после педагогического эксперимента

Для количественной оценки эффективности разработанной технологии на рис. 6 представлено сравнение прироста показателей тестов специальной физической подготовленности биатлонистов ЭГ и КГ после педагогического эксперимента.



**Рис. 6. Прирост показателей специальной физической подготовленности биатлонистов ЭГ и КГ после педагогического эксперимента (в %)**

Как видно из рис. 6, максимальный прирост показателей биатлонистов в КГ составил 7 %, тогда как в ЭГ составил 22 %. Кроме того, общий средний прирост по всем показателям КГ составил 6,7 %, а в ЭГ – 20,7 %. Полученные результаты свидетельствуют о практически троекратном приросте показателей специальной физической подготовленности биатлонистов ЭГ, что подтверждает её более высокую эффективность.

Ещё одним подтверждением высокой эффективности разработанной блочно-модульной педагогической технологии подготовки биатлонистов в возрасте 13–14 лет служат результаты спортсменов по итогам соревновательной деятельности после завершения педагогического эксперимента, в частности, спортсмены, входившие в ЭГ, завоевали в зимний период больше призовых мест на соревнованиях разного уровня и стабильно оказывались в первой десятке итогового протокола. На городских соревнованиях по лыжным гонкам два юных биатлониста из ЭГ выполнили нормативы II взрослого разряда, а пять выполнили норматив III разряда по биатлону, что в очередной раз подтверждает достоверность полученных данных об эффективности разработанной педагогической технологии [5, 11].

Подводя итог вышесказанному, можно отметить, что результатами педагогического эксперимента и соревновательной деятельности доказана более высокая эффективность разработанной блочно-модульной педагогической технологии подготовки юных биатлонистов во время бесснежного периода подготовки (с июня по октябрь), что обеспечивает более чем двукратный прирост их общей и трёхкратный специальной физической подготовленности.

### Литература

1. Верхошанский Ю.В. Основы специальной силовой подготовки в спорте. М.: Изд-во «Советский спорт», 2013. 216 с.

2. Губа Д.В. Дифференцированный подход при развитии специальных физических качеств и оздоровлении подростков 12–14 лет, занимающихся в секциях по баскетболу: автореф. дис. ... канд. пед. наук. М., 2003. 22 с.
3. Платонов В.Н. Система подготовки спортсменов в олимпийском спорте. Общая теория и ее практические приложения. К.: Олимпийская литература, 2004. 808 с.
4. Безмельницын Н.Г. Специальные тренировочные средства в подготовке юных биатлонистов // Современная система спортивной подготовки в биатлоне: материалы Всерос. науч. практ. конф. СибГУФК. Омск, 2012. С. 34–51.
5. Сагиев Т.А. Модель подготовки биатлонистов 13–14 лет на основе применения блочно-модульной технологии развития силовой выносливости: автореф. дис. ... канд. пед. наук. СПб.: Рос. гос. пед. ун-т им. А.И. Герцена, 2019. 25 с.
6. Фарбей В.В. Системно-целевое управление многолетней подготовкой спортсменов в лыжных многоборьях: автореф. дис. ... д-ра пед. наук. СПб., 2015. 42 с.
7. Paugschova V., Gerekova J., Ondraček K. Biorythmic changes in the development of velocity and power abilities in biathlon // *Studia sportive*. 2010. 4 (1). P. 25–34.
8. Попов Д.В., Грушин А.А., Виноградова О.Л. Физиологические основы оценки аэробных возможностей и подбора тренировочных нагрузок в лыжном спорте и биатлоне. М.: Советский спорт, 2014. 78 с.
9. Кузнецова А.В., Богданович Н.Г. Психологические проблемы ранней специализации юных спортсменов, занимающихся дзюдо // Сборник трудов студентов и молодых ученых РГУФКСМиТ: материалы науч. конф. студ. и молод. ученых. М.: РГУФКСМиТ, 2016. С. 255–260.
10. Competition load and stress in sports: A preliminary study in biathlon / F. Manfredini [et al.] // *International Journal of Sports Medicine*. 2000. 5. P. 348–352.
11. Бобрищев А.А., Сагиев Т.А., Мотовичев К.В. Подготовка биатлонистов 13–14 лет на основе применения блочно-модульной технологии развития силовой выносливости: учеб. пособие. СПб.: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России, 2020. 162 с.
12. Hofman M.D., Street G.M. Characterization of the heart rate response during biathlon // *International Journal of Sports Medicine*. 2002. 13 (5). P. 390–394.
13. Mojzis M. Analysis of multi-annual endurance abilities level of young biathletes in decade 2001–2011 // *Acta Universitatis Matthiae Belii, Physical Education and Sport*. 2011. Vol. III. № 2. P. 60–68.
14. Stöggel T., Stöggel E. Müller S. Lindinger Biomechanical comparison of the doublepush technique and the conventional skate skiing technique in cross-country sprint skiing // *Journal of Sports Sciences*. 2008. 26 (11). P. 1225–1233.
15. Обухова Н.Б. Стимулируемое развитие скоростно-силовых качеств у детей 9–10 лет с использованием специализированного учебно-тренировочного модуля: дис. ... канд. пед. наук. Сургут, 2002. 149 с.
16. Стефаниди Л.Ю. Модульный метод преподавания профессиональной физической культуры: дис. ... канд. пед. наук. М., 2002. 164 с.
17. Чернякова Ю.С. Индивидуализация начального обучения баскетболу в общеобразовательной школе на основе модульной технологии: дис. ... канд. пед. наук. Екатеринбург, 2003. 155 с.
18. Дунаев К.С., Алексахин Д.Я. Вопросы развития силовой выносливости у биатлонистов в подготовительном периоде // Совершенствование научных основ физического воспитания и спорта: сб. науч. трудов Междунар. науч. практ. конф. М., 2006. С. 100–103.
19. Биатлон: Примерная программа спортивной подготовки для детско-юношеских спортивных школ, специализированных детско-юношеских школ олимпийского резерва / М.И. Шикунов [и др.]. М.: Советский спорт, 2005. 88 с.

## References

1. Verhoshanskij Yu.V. Osnovy special'noj silovoj podgotovki v sporte. M.: Izd-vo «Sovetskij sport», 2013. 216 s.
2. Guba D.V. Differencirovannyj podhod pri razvitii special'nyh fizicheskikh kachestv i ozdorovlenii podrostkov 12–14 let, zanimayushchihся v sekciyah po basketbolu: avtoref. dis. ... kand. ped. nauk. M., 2003. 22 s.
3. Platonov V.N. Sistema podgotovki sportsmenov v olimpijskom sporte. Obshchaya teoriya i ee prakticheskie prilozheniya. K.: Olimpijskaya literatura, 2004. 808 s.
4. Bezmel'nicyn N.G. Special'nye trenirovochnye sredstva v podgotovke yunyh biatlonistov // Sovremennaya sistema sportivnoj podgotovki v biatlone: materialy Vseros. nauch. prakt. konf. SibGUFK. Omsk, 2012. S. 34–51.
5. Sagiev T.A. Model' podgotovki biatlonistov 13–14 let na osnove primeneniya blochno-modul'noj tekhnologii razvitiya silovoj vynoslivosti: avtoref. dis. ... kand. ped. nauk. SPb.: Ros. gos. ped. un-t im. A.I. Gercena, 2019. 25 s.
6. Farbej V.V. Sistemno-celevoe upravlenie mnogoletnej podgotovkoj sportsmenov v lyzhnyh mnogobor'yah: avtoref. dis. ... d-ra ped. nauk. SPb., 2015. 42 s.
7. Paugschova B., Gerekova J., Ondraček K. Biorythmic changes in the development of velocity and power abilities in biathlon // *Studia sportive*. 2010. 4 (1). P. 25–34.
8. Popov D.V., Grushin A.A., Vinogradova O.L. Fiziologicheskie osnovy ocenki aerobnyh vozmozhnostej i podbora trenirovochnyh nagruzok v lyzhnom sporte i biatlone. M.: Sovetskij sport, 2014. 78 s.
9. Kuznecova A.V., Bogdanovich N.G. Psihologicheskie problemy rannej specializacii yunyh sportsmenov, zanimayushchihся dzyudo // Sbornik trudov studentov i molodyh uchenyh RGUFKSMiT: materialy nauch. konf. stud. i molod. uchenyh. M.: RGUFKSMiT, 2016. S. 255–260.
10. Competition load and stress in sports: A preliminary study in biathlon / F. Manfredini [et al.] // *International Journal of Sports Medicine*. 2000. 5. P. 348–352.
11. Bobrishchev A.A., Sagiev T.A., Motovichev K.V. Podgotovka biatlonistov 13–14 let na osnove primeneniya blochno-modul'noj tekhnologii razvitiya silovoj vynoslivosti: ucheb. posobie. SPb.: S.-Peterb. un-t GPS MCHS Rossii, 2020. 162 s.
12. Hofman M.D., Street G.M. Characterization of the heart rate response during biathlon // *International Journal of Sports Medicine*. 2002. 13 (5). P. 390–394.
13. Mojzis M. Analysis of multi-annual endurance abilities level of young biathletes in decade 2001–2011 // *Acta Universitatis Matthiae Belii, Physical Education and Sport*. 2011. Vol. III. № 2. P. 60–68.
14. Stöggel T., Stöggel E., Müller S., Lindinger S. Biomechanical comparison of the doublepush technique and the conventional skate skiing technique in cross-country sprint skiing // *Journal of Sports Sciences*. 2008. 26 (11). P. 1225–1233.
15. Obuhova N.B. Stimuliruemoe razvitie skorostno-silovyh kachestv u detej 9–10 let s ispol'zovaniem specializirovannogo uchebno-trenirovochnogo modulya: dis. ... kand. ped. nauk. Surgut, 2002. 149 s.
16. Stefanidi L.Yu. Modul'nyj metod prepodavaniya professional'noj fizicheskoy kul'tury: dis. ... kand. ped. nauk. M., 2002. 164 s.
17. Chernyakova Yu.S. Individualizaciya nachal'nogo obucheniya basketbolu v obshcheobrazovatel'noj shkole na osnove modul'noj tekhnologii: dis. ... kand. ped. nauk. Ekaterinburg, 2003. 155 s.
18. Dunaev K.S., Aleksashin D.Ya. Voprosy razvitiya silovoj vynoslivosti u biatlonistov v podgotovitel'nom periode // *Sovershenstvovanie nauchnyh osnov fizicheskogo vospitaniya i sporta: sb. nauch. trudov Mezhdunar. nauch. prakt. konf. M., 2006. S. 100–103.*
19. Biatlon: Primernaya programma sportivnoj podgotovki dlya detsko-yunosheskih sportivnyh shkol, specializirovannyh detsko-yunosheskih shkol olimpijskogo rezerva / M.I. Shikunov [i dr.]. M.: Sovetskij sport, 2005. 88 s.

УДК 37.026.1

## ПСИХОЛОГО-ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ КАК СИСТЕМЫ

**А.А. Грешных, доктор педагогических наук, кандидат юридических наук, профессор, заслуженный работник высшей школы Российской Федерации;  
Ю.М. Булатова;  
Ю.В. Рева, кандидат военных наук, доцент.  
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Рассмотрена деятельность как одно из фундаментальных научных, в том числе психологических понятий, которые формировались в философии, социологии, психологии. Показано, что в научном описании какого-либо объекта обычно рассматривают его состав и структуру, а в сложных объектах, к числу которых относится человеческая деятельность, можно и нужно выделять различные составы и структуры.

*Ключевые слова:* образовательный процесс, подготовка специалистов, профессиональное воспитание, теория воспитания, профессиональная деятельность, актуальные потребности, воспитательные цели, мотивационная деятельность, объекты деятельности, субъекты деятельности, аксиология деятельности, антицели деятельности, онтология деятельности, организация деятельности

## PSYCHOLOGICAL AND PEDAGOGICAL FOUNDATIONS OF ACTIVITY AS A SYSTEM

A.A. Greshnykh; Yu.M. Bulatova; Yu.V. Reva.  
Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

Activity is considered as one of the fundamental scientific, including psychological, concepts that were formed in philosophy, sociology, psychology. It is shown that in the scientific description of an object, its composition and structure are usually considered, and in complex objects, which include human activity, it is possible and necessary to distinguish various compositions and structures.

*Keywords:* educational process, training of specialists, professional education, theory of education, professional activity, actual needs, educational goals, motivational activity, objects of activity, subjects of activity, axiology of activities, anti-goals of activities, ontology of activities, organization of activities

Управление повседневной деятельностью подразделениями Государственной противопожарной службы МЧС России – это в первую очередь управление людьми. Поэтому твердость и гибкость в управлении зависит от личностных качеств руководителей и должностных лиц органов управления. Профессиональная подготовка, уверенность в правильности действий, высокая требовательность и близость к людям позволяют руководителю подчинить своей воле большие коллективы, максимально мобилизовать их творческие возможности, физические, интеллектуальные и духовные силы на успешное выполнение поставленных задач.

Деятельность является одним из фундаментальных научных, в том числе психологических, понятий, которое формировалось в философии, социологии, психологии и в результате перекрестных заимствований приобрело четыре взаимосвязанных значения: актуальность, работа, труд и поведение, которые составляют группу синонимий. Полисемия

трактовок деятельности создает немалую путаницу и препятствует адекватному пониманию многообразия форм и видов деятельности.

Во избежание этого необходимо и можно построить иерархию понятий, которые служат семантическим эквивалентом понятия «деятельность», но относятся к разным уровням движения материи и раскрывают смысл друг друга в системе соподчиненных дефиниций.

Мир деятельности обширен и глубок. Деятельность людей сложна по своему строению, многообразна по свойствам и отношениям, функциям и результатам, условиям и формам существования и познания. Чтобы представить этот мир в научных моделях необходимо рассмотреть его с мировоззренческих позиций, в данном случае с точки зрения «воззрений на мир деятельностей», в тех аспектах, в которых трактуется основной вопрос философии как фундамента мировоззрения.

Таких аспектов четыре: морфологический, аксиологический, праксиологический, онтологический (в широком смысле включающий в себя и гносеологию). Следовательно, необходимо определить формальный базис системных описаний деятельности. В формальном базисе выделяются:

- составы и структуры, определяющие морфологию деятельностей;
- потребности, удовлетворяющие их ценности и отражающие их оценки в аксиологии деятельностей;
- развитие и функционирование, которые характеризуют праксиологию деятельностей;
- бытие, характеристики и познание, выражающие онтологический и гносеологический аспекты мира деятельностей.

Мировоззренческий смысл формального базиса обеспечивает возможность создания адекватных, пробных и конструктивных психологических и математических моделей деятельности [1].

В научном описании какого-либо объекта обычно рассматривают его состав и структуру. Но в сложных объектах, к числу которых относится человеческая деятельность, можно и нужно выделять различные составы и структуры.

Составы деятельности должны рассматриваться по крайней мере в трех разных аспектах, как субъект-объектные отношения, в двух планах изображения, в качестве алгебраической системы. В первом из них выделяются субъекты, объекты и взаимодействия между ними.

В качестве субъектов деятельности могут выступать: человечество, общество в целом, социальные общности, группы и коллективы, животные, психический или физиологический процессы и даже функциональная система или орган тела. Такое разнообразие обусловлено трактовкой деятельности как активности и охватывает не только психологию, но и социологию и биологию.

Объектами деятельности служат предметы, орудия и процессы, а также люди, оказывающиеся в роли предметов и орудий педагогической, политической или иной деятельности.

Среди субъект-объектовых взаимодействий целесообразно выделить натурономические, социономические, технономические, сигнономические и артономические взаимодействия. Они определяются отношениями в системах «человек-природа», «человек-человек», «человек-техника», «человек-знакомая система» и «человек-художественный образ».

В психическом и непсихическом компонентах деятельности выделяются два плана изображения – внешний и внутренний. В первом анализируются уровни достижений, а во втором – уровни формирования и выполнения деятельности.

С целью формализации и дальнейшей математизации деятельность полезно интерпретировать как алгебраическую систему. В математике под такой системой понимают множество с определенными операциями и отношениями. Нетрудно видеть, что компоненты



составов деятельности, рассмотренные выше, можно интерпретировать в качестве множеств объектов, то есть предметов, которые преобразуются в деятельности; множеств операций или действий, посредством которых преобразуются объекты; множеств отношений и оценок, которые сопоставляют предметы и действия друг с другом, с целями деятельности, а цели с результатами.

Аксиология деятельности раскрывается в системе понятий, определяемых противопоставлениями: ожидаемое – фактическое, частное – общее, полезное – вредное. При этом выясняются человеческие потребности, отвечающие им ценности и связывающие их оценки.

Деятельность должна быть результативна. В соответствии с оппозицией «ожидаемое – фактическое» противопоставляются субъективно-предвидимые и объективные результаты, а в соответствии с оппозицией «частное – общее» те и другие результаты могут быть конкретными или абстрактными, обобщенными.

Противопоставление «полезное – вредное» позволяет различать результаты как ценности или антиценности деятельности, при этом субъективно-предвидимые конкретные полезные результаты представляют собой цели, а также вредные результаты – антицели деятельности. Например, правильные действия – это цели, а ошибки – антицели. К целям стремятся, антицелей избегают.

Субъективно-предвидимые абстрактные полезные результаты психологически интерпретируются как мотивы, такие же вредные результаты – как антимотивы. К примеру, мотив врача – вылечить больного, антимотив – «не навредить». Обычно в качестве мотивов выступают социально-одобренные нормативы действий и поступков, а в качестве антимотивов – нормативные запреты [2].

Объективные абстрактные полезные результаты называют функциями деятельности.

Оценки деятельности опосредуют общественные и личные потребности и антипотребности субъектов, их мотивы и антимотивы, цели и антицели. Оценками деятельность иницируется, интенсифицируется либо замедляется и прекращается, то есть практически управляется изнутри.

Говоря о праксиологии деятельности, речь идет о человеческой практике, о развитии и функционировании систем деятельности. Деятельности развиваются, функционируя, и функционируют, развиваясь в филогенезе, онтогенезе и актуальгенезе.

Филогенез – это историческое развитие деятельности. Они возникают благодаря творчеству людей, в результате открытий и изобретений. Они развиваются в процессах онтогенеза профессионалов и актуальгенеза новых действий и приемов, и, в конце концов, из-за новых открытий или изобретений исчезают и сменяются новыми деятельностями. Типичный пример – превращение ручного труда в механизированный, затем в автоматизированный и компьютеризированный труд, в котором рабочий или служащий становится человеком-оператором [3].

Нужно отличать развитие деятельности под влиянием извне от саморазвития деятельности под влиянием новаций изнутри, возникающих в процессе деятельности рационализаций.

Порождение и рутинизация новаций происходит и при обучении деятельности. В процессе передачи общеобразовательных и профессиональных знаний от обучающего к обучающемуся некоторая часть информации неизбежно теряется, и обучающийся вынужден самостоятельно восстанавливать потерянную информацию. При этом возникают не только многочисленные ошибки, но и новации индивидуального плана, которые закрепляются в виде индивидуального стиля деятельности. Аналогично формируется и коллективный стиль деятельности подразделений и других субъектов коллективного труда [4].

Любая деятельность практически реализуется в процессах решения задач, которые состоят из последовательностей действий и взаимодействий. Такая последовательность –

суть алгоритмы. Поэтому всякая деятельность алгоритмична по сути. Но далеко не все деятельности алгоритмизированы.

Многие психологи отрицают алгоритмичность деятельности человека, особенно деятельности, имеющих творческий или малорегламентированный характер, – они не учитывают отличие человеческих алгоритмов от алгоритмов машинных. Человеческие алгоритмы сложнее, они вариативны и стохастичны, некоторые из них эвристичны; в решении сложных задач, в режимах работы и в деятельности в целом они образуют особые алгоритмические структуры [5].

Понятие «организация деятельности» двусмысленно. Оно отражает ее наличные структурные свойства и процессы управления этими свойствами – поддержание или целесообразное изменение структуры деятельности. И в том и другом смысле организация деятельности на разных уровнях ее внешнего и внутреннего планов осуществляется в нескольких взаимосвязанных пространственно-временных континуумах, различающихся содержанием процессов и масштабами пространства и времени.

Рассматривая онтологию деятельности, необходимо отметить, что она отражает бытие и познание, а также характеристики деятельности. Если ограничиться человеческими деятельностями, то формы их бытия или существования можно классифицировать по нескольким основаниям.

По принадлежности к внешнему миру объектов или внутреннему миру субъектов выделяются объектно или субъектно бытие деятельности. Объектно существующая деятельность – это реальная целенаправленная активность работающих людей, развертывающаяся в функциональном метаконтинууме «пространство-время» и преобразующая природу и общество. В отличие от этого субъектно существующая деятельность – это психическая активность работающего либо думающего о работе человека [6].

Бытие деятельности познается в науке и на практике через посредство характеристик, которые отражают всевозможные свойства деятельности. Не существует достаточно полного перечня этих характеристик. Пожалуй, в общем виде его и нельзя представить. Однако можно систематизировать классы характеристик деятельности, выделяемые по ряду из десяти оснований.

Первое основание – принадлежность. По принадлежности выделяются характеристики морфологии, аксиологии, праксиологии и онтологии деятельности, а затем – характеристики соответствующих компонентов, например, составов, структур, потребностей, ценностей и т.д.

Второе основание – аспект мировоззренческого осмысления деятельности и их компонентов. Это морфологический, аксиологический, праксиологический и онтологический аспекты. Например, к морфологическому относятся составные структурные, субъективные и объективные, предметные и орудийные характеристики; к аксиологическому – потребностные и ценностные, мотивационные и целевые; к праксиологическому – генетические, пространственно-временные, ресурсные, исполнительские; к онтологическому – сущностные и когнитивные, технологические и многие другие характеристики.

Третье основание – научная этимология. Деятельность изучается во многих науках. И следует различать экономические, социологические, демографические, психологические, технические, технологические и многие другие характеристики [7].

Четвертое основание – сложность. Она определяется числом отношений, в которых рассматривается деятельность либо ее элемент. Взятая в каком-нибудь одном отношении характеристика оказывается простой, а взятая в нескольких – сложной. Конечно, это соотносительные, но необходимые в познании понятия. Из нескольких принятых за основные простых характеристик синтезируются производные сложные характеристики. В естественных и технических науках предпочитается мультипликативный способ синтеза, а в психологии, педагогике и многих других науках – аддитивный способ. Однако

произведение логарифмированием преобразуется в сумму величин, что позволяет считать аддитивный способ синтеза сложных характеристик более общим.

Пятое, шестое, седьмое основания – это экстенсивность, эксплицированность и эмерджентность характеристик деятельности. Экстенсивность означает распространенность деятельности или ее компонентов: одни – массовые, другие – редкие. Эксплицированность характеристики определяется ее осмысленностью и отображением в языке и речи специалистов: многие характеристики сложных деятельности малоэксплицированы или неэксплицированы вообще. Эмерджентность или холичность означает присущность целому и неприсущность его частям. Например, престижность характеризует деятельность, но не отдельные действия, а своевременность характеризует действия, но не деятельность [8].

Остальные, с восьмого по десятое основания в систематике характеристик деятельности – интенсивность, квантифицированность и, наконец, способ и уровень квантификации. Интенсивность характеристики количественно определяет степень или уровень ее выраженности у деятельности либо ее компонентов и элементов. Квантификация – это измерение. Следовательно, квантифицированность – это измеренность характеристики. Способ квантификации определяется заданием упорядоченного множества градаций интенсивности характеристики и отображением этих градаций в подходящее числовое поле. Чем больше градаций, тем выше уровень квантификации. Но число градаций и уровней ограничено возможностями человека осуществлять органолептическое оценивание без грубых ошибок. Поэтому на практике используется от двух до семи градаций интенсивности характеристик [9].

Педагогическая и учебная деятельность естественным образом основываются на результатах научного познания конкретных деятельности, а в отсутствии таких результатов – на практическом опыте преподавателей, личной практике и тренаже учеников. До сих пор многие сложные виды деятельности в целом познаются практическим путем, хотя при этом их отдельные компоненты и характеристики предварительно изучаются в вузах.

Таким образом, познание деятельности осуществляется в моделях через посредство моделей, так что модель оказывается главной реальностью и центральным понятием в изучении деятельности. Можно охарактеризовать модель с разных сторон: по отличию от оригинала, по приближенности его отображения, по искусственности создания и особому назначению. Соответственно можно типологизировать модели деятельности по содержанию оригиналов, полноте моделирования, особенностям моделирующей системы, назначению, средствам и способам моделирования [10].

### Литература

1. Латышев О.М., Троянов О.М., Рева Ю.В. Основные направления оптимизации процесса обучения в высшей школе // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петербур. ун-та ГПС МЧС России». 2018. № 3. С. 97–108.
2. Грешных А.А., Рева Ю.В. Применение методов проблемного обучения в преподавании учебных дисциплин // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петербур. ун-та ГПС МЧС России». 2020. № 4. С. 207–210.
3. Рева Ю.В. Методика подготовки и проведения семинарского занятия // Психолого-педагогические проблемы безопасности человека и общества. 2018. № 4 (41). С. 41–48.
4. Скрипник И.Л., Воронин С.В. Современные альтернативные подходы обучения в сравнении с традиционными // Психолого-педагогические проблемы безопасности человека и общества. 2017. № 4 (37). С. 46–50.
5. Kahveci A. Assessing high school students' attitudes toward chemistry with a shortened semantic differential // Chemistry Education Research and Practice. 2015. № 16. P. 283–292.
6. Пермяков А.А., Подмарков В.В. Организация курсового проектирования в пожарно-технических вузах на основе использования учебно-деловых игр // Проблемы управления рисками в техносфере. 2014. № 3 (31). С. 102–111.

7. Медведева Л.В., Пермяков А.А., Кузьмин А.А. Педагогическая модель курсового проектирования на дидактической основе деловой игры / Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2016. № 2. С. 127–131.

8. Митина Н.А., Нуржанова Т.Т. Современные педагогические технологии в образовательном процессе высшей школы // Молодой ученый. 2013. № 1. С. 345–349.

9. Андриянец Я.А., Малыгина Е.А. Теоретические аспекты развития коммуникативной компетентности у курсантов в процессе профессиональной подготовки // Проблемы управления рисками в техносфере. 2013. № 4 (28). С. 119–123.

10. Болотин А.Э., Васильева В.С. Педагогическая модель профессиональной подготовки специалистов по защите в чрезвычайных ситуациях в вузе, с использованием служебной деятельности в добровольных пожарных командах // Ученые записки ун-та им. П.Ф. Лесгафта. 2013. № 2 (96). С. 14–19.

### References

1. Latyshev O.M., Troyanov O.M., Reva Yu.V. Osnovnye napravleniya optimizatsii rocessa obucheniya v vysshej shkole // Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MCHS Rossii». 2018. № 3. S. 97–108.

2. Greshnyh A.A., Reva Yu.V. Primenenie metodov problemnogo obucheniya v repodavanii uchebnyh disciplin // Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MCHS Rossii». 2020. № 4. S. 207–210.

3. Reva Yu.V. Metodika podgotovki i provedeniya seminarского zanyatiya // Psichologo-pedagogicheskie problemy bezopasnosti cheloveka i obshchestva. 2018. № 4 (41). S. 41–48.

4. Skripnik I.L., Voronin S.V. Sovremennye al'ternativnye podhody obucheniya v sravnenii s traditsionnymi // Psichologo-pedagogicheskie problemy bezopasnosti cheloveka i obshchestva. 2017. № 4 (37). S. 46–50.

5. Kahveci A. Assessing high school students' attitudes toward chemistry with a shortened semantic differential // Chemistry Education Research and Practice. 2015. № 16. P. 283–292.

6. Permyakov A.A., Podmarkov V.V. Organizatsiya kursovogo proektirovaniya v pozharno-tekhnicheskikh vuzakh na osnove ispol'zovaniya uchebno-delovyh igr // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2014. № 3 (31). S. 102–111.

7. Medvedeva L.V., Permyakov A.A., Kuz'min A.A. Pedagogicheskaya model' kursovogo proektirovaniya na didakticheskoy osnove delovoy igry // Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MCHS Rossii». 2016. № 2. S. 127–131.

8. Mitina N.A., Nurzhanova T.T. Sovremennye pedagogicheskie tekhnologii v obrazovatel'nom processe vysshej shkoly // Molodoj uchenyj. 2013. № 1. S. 345–349.

9. Andriyanc Ya.A., Malygina E.A. Teoreticheskie aspekty razvitiya kommunikativnoj kompetentnosti u kursantov v processe professional'noj podgotovki // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2013. № 4 (28). S. 119–123.

10. Bolotin A.E., Vasil'eva V.S. Pedagogicheskaya model' professional'noj podgotovki specialistov po zashchite v chrezvychajnyh situatsiyah v vuze, s ispol'zovaniem sluzhebnoj deyatel'nosti v dobrovol'nyh pozharnykh komandah // Uchenye zapiski un-ta im. P.F. Lesgafta. 2013. № 2 (96). S. 14–19.

УДК 159.9:37.8

## **ПСИХОЛОГО-ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ОЧНОЙ ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ДИСТАНЦИОННЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

**Р.Е. Булат, доктор педагогических наук, доцент;**

**А.Ю. Лебедев, кандидат технических наук.**

**Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России.**

**Х.С. Байчорова, кандидат педагогических наук.**

**Военная академия материально-технического обеспечения**

**им. генерала армии А.В. Хрулева**

Проблемы в адаптации к дистанционному формату образовательного процесса психологического характера детерминируют разработку систем мер психологической поддержки участников образовательного процесса. Авторы доказывают, что прямой перенос учебных занятий и их апробированного в учебной аудитории слайдового сопровождения в вебинарную комнату мог быть оправдан крайней мерой экстренного перевода на дистанционный формат обучения, но в настоящем и будущем должен стать основой для постановки и решения важной психолого-педагогической проблемы для новой цифровой дидактики.

*Ключевые слова:* электронная информационно-образовательная среда, качество образования, дистанционное обучение, готовность обучающихся, психолого-педагогические ресурсы

## **PSYCHOLOGICAL AND PEDAGOGICAL FEATURES OF FULL-TIME EDUCATION WITH THE USE OF DISTANCE LEARNING TECHNOLOGIES**

R.E. Bulat; A.Yu. Lebedev.

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

Kh.S. Baychorova. Military academy of logistics them general of the Army A.V. Khruleva

Issues in adapting to the distance format of the educational process of a psychological nature define the design of systems of measures of psychological support for participants in the educational process. The authors prove that the direct transfer of training sessions and their slide accompaniment tested in the classroom to the webinar room could be justified as an extreme measure of emergency transfer to a distance learning format, but in the present and future it should become the basis for the formulation and solution of an important psychological and pedagogical problem for the new digital didactics.

*Keywords:* electronic information and educational environment, quality of education, distance learning, readiness of students, psychological and pedagogical resources

Студенческие годы являются весьма чувствительным этапом жизненного цикла, на котором нередко возникают эмоциональные проблемы и психические расстройства. В течение жизни человека около 75 % психических расстройств начинаются в раннем взрослом возрасте, и эти случаи часто характеризуются сложными последствиями. Вместе

с тем именно этот этап развития человека связан с его пренебрежительным отношением к своему здоровью и склонностью к риску в своём поведении.

В отечественных и зарубежных источниках проблематика психологического благополучия студентов представлена через такие направления исследований, как психологическое здоровье и неравенство студентов, связь физического и психического здоровья с академической успеваемостью студентов, психические расстройства, суицидальные мысли и соответствующее поведение, психопатология и самоповреждение, влияние тревоги и учебного стресса на академические успехи, игровая зависимость среди студентов, депрессия и др. В настоящее время примеров осознания проблемы психологического состояния студентов становится все больше. Многие иностранные университеты традиционно считают заботу о психологическом состоянии обучающихся важной составляющей академической успеваемости и имеют соответствующие службы – *Counselling & Psychological Services*.

По аналитическим данным, потребность в активизации работы этих служб значительно возросла в период пандемии. Как показала ситуация с коронавирусом, поддержка психологической устойчивости крайне важна при длительной самоизоляции. Студенты в условиях пандемии и изоляции, при депривации физической активности, вынужденном одиночестве и излишней свободе, к которой человек, как правило, не готов, испытывали определённые симптомы, такие как стресс, страх, панику, тревогу, цинизм и отрицание.

Согласно аналитическому докладу «Высшее образование: уроки пандемии», психологические сложности студентов стали самым главным вызовом, в полной мере коснувшимся образовательных организаций высшего образования, особенно в начале пандемии. В нём было отмечено, что в ситуации пандемии данные закономерности усугублялись, изменилось просоциальное поведение личности человека.

Это подтверждается выводами из проведённого Центром экстренной психологической помощи МЧС России анализа суицидальных инцидентов с личным составом в системе МЧС России в конце 2020 г. Так, в условиях распространения в нашей стране новой коронавирусной инфекции COVID-19, необходимость соблюдения мер безопасности и самоизоляции, изменение привычного уклада жизни большинства населения существенно повлияло на общее психологическое самочувствие как населения в целом, так и личного состава МЧС России [1]. Условия пандемии стали отягчающим фактором, способствующим росту общей напряжённости, снижению адаптивных возможностей, эскалации внутрисемейных конфликтов и, как следствие, ухудшения качества личностных отношений [1].

Необходимость решения психолого-педагогических вопросов образования и разрешения проблем личностного характера была отмечена на видеоконференции Специальной группы министров образования, проведённой ЮНЕСКО в начале марта 2020 г. [2]. В ходе обсуждения Специальной группой министров образования состояния дел в различных странах в период пандемии первой волны было отмечено, что:

– внимание должно уделяться не только принятию решений по внедрению дистанционного формата обучения, но и оказанию педагогам и обучающимся как академической, так и эмоциональной поддержки (С. Джаннини, заместитель генерального директора ЮНЕСКО по вопросам образования);

– поддержанию уровня мотивации педагогов, обучающихся и их родителей (законных представителей) (М.Х. Мирзайе, министр образования Ирана);

– расширению государственной поддержки педагогов, самостоятельно разрабатывающих учебные материалы, берущих на себя ответственность за образовательный процесс и чувствующих себя комфортно в цифровой среде (Б. Дивьяк, министр науки и образования Хорватии) [2].

Поэтому среди 10 рекомендаций созданной ЮНЕСКО Специальной группы министров образования [3] по обеспечению непрерывности образовательного процесса в экстремальной ситуации отмечена необходимость:

- уделения приоритетного внимания решениям психосоциальных проблем;
- оказания помощи педагогам в подготовке базовых условий, необходимых для обеспечения непрерывности процесса обучения, например, решений по использованию мобильных данных с целью проведения прямых трансляций учебных занятий;
- определения продолжительности единиц дистанционного обучения на основе навыков саморегуляции обучающихся;
- поддержания ритма обучения в соответствии с уровнем саморегуляции и метакогнитивных навыков обучающихся;
- поддержания социальных связей [3].

Наряду с этим, следует отметить, что принятые в марте 2020 г. ограничения, связанные с угрозой распространения коронавирусной инфекции COVID-19, предопределили именно экстренный перевод обучающихся очной формы на дистанционный формат обучения [4–6]. В Российской Федерации перевод обучающихся очной формы обучения (ОФО) осуществлялся в середине семестра.

В период экстренных мер по нераспространению новой коронавирусной инфекции Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России (университет) стал одной из тех образовательных организаций высшего образования, которые не допустили ни одного пропуска учебных занятий, перейдя на удалённый формат работы в виде вебинаров. Реализация рабочих программ дисциплин осуществлялась без внесения изменений и переносов, обеспечив безостановочный переход к взаимодействию обучающихся и педагогов на основе применения дистанционных образовательных технологий (ДОТ). Именно благодаря применению ДОТ удалось обеспечить непрерывность образовательного процесса. Обучающиеся образовательных организаций высшего образования «переместились» из учебных аудиторий в удалённую электронно-информационную среду.

При этом участники образовательного процесса не были готовы к экстренным переменам, причём не столько к цифровой трансформации как таковой, сколько к резким изменениям в привычных повседневных процессах, к которым никто не готовился заранее. Карантинные меры коснулись не столько процесса обучения и работы участников образовательных отношений, сколько всего образа их жизнедеятельности. Распространение вируса поставило под угрозу как их физическое, так и психологическое здоровье [7, 8].

При этом общеизвестно, что важнейшим условием, при котором осуществляется та или иная деятельность, в том числе и образовательная, является физиологическое функциональное состояние человеческого организма. От оптимальности этого состояния зависит успешность, эффективность и в значительной степени физическая и психологическая безопасность образовательной деятельности.

В предыдущих исследованиях авторов [9, 10] было подтверждено, что в сложившейся во время пандемии обстановке многие участники образовательного процесса столкнулись с проблемами личностного характера, связанными с резкой перестройкой уклада своей жизнедеятельности в целом и профессиональной деятельности в частности.

Для анализа затруднений адаптации обучающихся к дистанционным условиям образования в период пандемии коронавируса авторами были проведены опросы обучающихся ОФО университета в дистанционном формате. Проведение исследований включило взаимосвязанные этапы: разработку анкет и их согласование на основе экспертного опроса, их заполнение обучающимися в запрограммированном виде, дистанционную электронную реализацию анкет, сбор и обобщение полученной информации, интерпретацию результатов, формулировку выводов и рекомендаций.

Целью работы стало исследование психолого-педагогических особенностей деятельности участников образовательного процесса ОФО в дистанционном формате.

В опросе приняли участия 1 243 обучающихся ОФО университета. В ходе опроса на начальном этапе исследования были выявлены затруднения, с которыми столкнулись обучающиеся в период дистанционного формата обучения (табл. 1, рис. 1).

Таблица 1. Сложности дистанционного формата обучения

Отрицательные моменты дистанционного формата обучения по мнению обучающихся ОФО	Кол-во ответов	Доля ответов, %
Отсутствие привычной студенческой жизни, личного общения	416	23,3 %
Отсутствие «живого» общения с преподавателями	492	27,6 %
Дистанционный формат обучения значительно снижает физическую активность	443	24,8 %
Увеличение объёма самостоятельной работы	332	18,6 %
Конфликты дома, в общежитии	11	0,6 %
Дополнительные финансовые затраты на техническое оборудование, качественный интернет	91	5,1 %

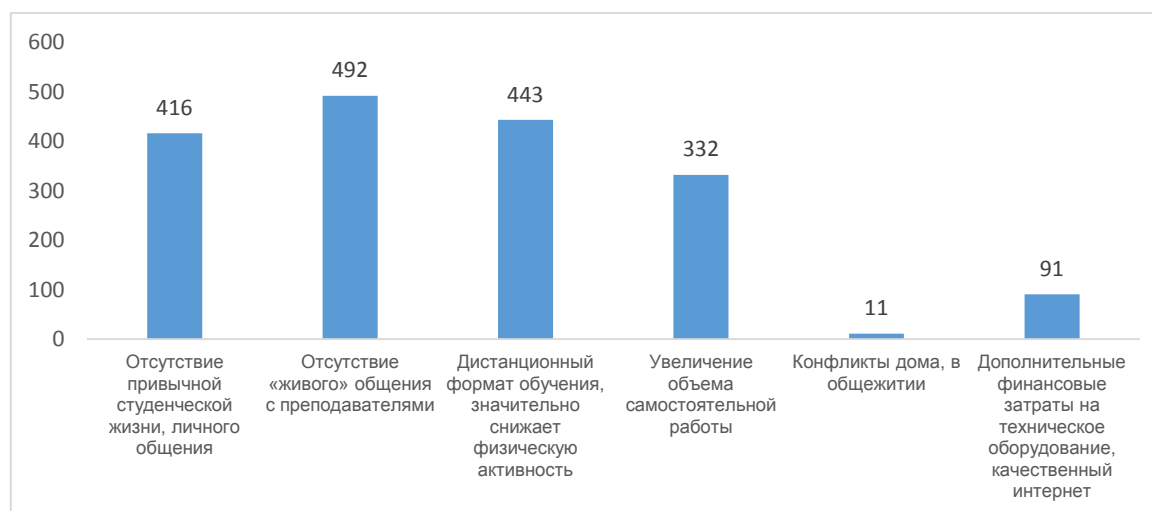


Рис. 1. Отрицательные моменты дистанционного формата обучения (по мнению обучающихся ОФО)

Представленные данные доказывают, что за 2020 г. на первый план вышла трансформация взаимоотношений обучающегося и педагога. Данное положение подтверждается М.Н. Дудиной, которая отмечает, что участники образовательного процесса столкнулись с реальной опасностью, психологической отчуждённостью: объективация качеств и результатов деятельности, человеческих отношений – превращение из субъекта в объект – отчуждение, обособленность, отвыкание от живого общения. Это конфликт между актуальным существованием человека и его потенциальным бытием, между возможным и реализованным [11].

Другим важным для исследования результатом опроса стали факты, которые, по мнению авторов, не всегда объективно представляются в различных докладах. Они состоят в том, что наличие оборудования и программного обеспечения у обучающегося не всегда являлось гарантом его готовности к учебному занятию. Так, например, значительное число обучающихся не имело персонального (своего собственного) оборудованного рабочего места. В период пандемии, когда даже в собственной квартире удалённый формат свёл вместе профессиональную деятельность родителей и учебную деятельность детей, персональное рабочее место стало наиболее востребованным местом в этом пространстве.



В этой ситуации отдельной категорией раздражителей стали дети младшего возраста, домашние животные, ремонтные работы у соседей и т.д. Это привело к дискомфорту, отвлечениям и отсутствию сконцентрированности обучающихся на учебном материале занятия. Согласно данным опроса, подобные проблемы испытали более 18 % обучающихся: 224 из 1 243 опрошенных (табл. 2).

Таблица 2. Проблемы при оборудовании рабочего места в домашних условиях

Проблемы при организации рабочего места	Кол-во респондентов	Доля респондентов, %
Рабочее место оборудовано, но приходится его делить с братом/сестрой, которые также учатся в школе, или родителями, соседями по комнате в общежитии	172	13,8 %
Домашние условия не позволяют оборудовать рабочее место, используя места вне дома: кафе, друзья, родственники	52	4,2 %

13,8 % (172) из числа опрошенных столкнулись с проблемами деления рабочего места с братом (сестрой), родителями либо соседями по комнате в общежитии. 4,2 % (52) обучающихся из числа опрошенных испытали проблемы при оборудовании рабочего места и вынуждены были использовать для обучения места вне дома.

Перечисленные сложности негативно повлияли на существующую и ранее в педагогике высшей школы проблему мотивации к обучению. Снижение мотивации отметили 974 обучающихся из 1 243 опрошенных. Поэтому авторами были выявлены основные причины снижения у обучающихся мотивации к обучению в дистанционном формате (табл. 3 и рис. 3).

Таблица 3. Причины снижения мотивации обучающихся ОФО к обучению в дистанционном формате

Причины снижения мотивации к обучению в дистанционном формате	Кол-во респондентов	Доля респондентов, %
Наличие постоянных технических проблем со связью, с персональным компьютером, с программным обеспечением	304	24,5 %
Бытовые причины, преобладающие над желанием присутствовать на удалённом занятии (причины, которые бы отсутствовали при очном посещении университета)	92	7,4 %
Трудности самоорганизации под воздействием отвлекающих факторов бытового характера во время вебинара	86	6,9 %
Монотония, вызванная перевоплощением лектора в «диктора», рассеивание внимания после первых 15–20 мин занятия	113	9,1 %
Отсутствие обратной связи (отставание во времени диалогового окна от темпа чтения лекции)	43	3,4 %
Отставание во времени пользованием диалоговым окном от темпа чтения лекции	52	4,2 %
Отсутствие живого обсуждения с другими обучающимися	101	8,1 %
Отсутствие визуального контроля педагогом и возможность технического лукавства при автоматизированном контроле (регистрация только ради проверки присутствия)	109	8,8 %
Зрительная усталость вследствие длительной работы за компьютером	74	6 %



**Рис. 3. Причины снижения мотивации обучающихся ОФО к обучению в дистанционном формате**

О проблемах с мотивацией к учебным занятиям сообщили 974 обучающихся из 1 243, что составило 78,4 %. Основной причиной, снижающей мотивацию, по мнению обучающихся, стало наличие постоянных технических проблем со связью, с персональным компьютером и с программным обеспечением: 304 респондента (24,5 %) отметили данную проблему. О бытовых причинах, снижающих желание присутствовать на удалённом занятии, сообщили 92 респондента, что составило 7,4 %. Около 7 % (86 респондентов) причину снижения мотивации видят в трудностях самоорганизации под воздействием отвлекающих факторов бытового характера во время вебинара. 113 респондентов, что составило 9,1 %, причиной указали монотонию, вызванную перевоплощением преподавателя в «диктора», что приводило к рассеиванию внимания и потере концентрации уже после 15–20 мин начала учебного занятия. На снижение мотивации по причине отсутствия привычной обратной связи и отставание во времени при пользовании диалоговым окном от темпа чтения лекции указали 43 и 52 респондента соответственно. Для 101 респондента (8,1 %) потерей мотивации послужило отсутствие «живого» обсуждения с другими обучающимися. 109 респондентов (8,8 %) указали на возможность технического лукавства при автоматизированном контроле (регистрация только ради проверки присутствия) в результате отсутствия визуального контроля со стороны педагога.

Отмечено, что 6 % респондентов (74 обучающихся) причиной снижения мотивации обозначили зрительную усталость, вызванную длительной сконцентрированностью на экран

компьютера. Поэтому авторы согласны с мнением руководителя Роспотребнадзора, главного государственного санитарного врача Российской Федерации А. Поповой (Москва, 25 марта 2021 г. INTERFAX.RU) в том, что необходимо заниматься изучением проблемы растущих миопий, близорукости у детей, которые долгое время учатся дистанционно. Кроме того, в своём выступлении на расширенной коллегии Роспотребнадзора, посвящённой итогам работы в 2020 г., А. Попова отметила, что «очевидны и другие нарушения здоровья».

Для данного исследования особо важными являются полученные данные о том, что прямой перенос лекций со слайдовым сопровождением из аудитории в вебинарную комнату может быть оправдан крайней мерой экстренного перевода на дистанционный формат обучения. Однако в дальнейшем он должен стать основой для постановки и решения важной психолого-педагогической проблемы для новой цифровой дидактики [10].

Вместе с этим следует отметить, экстренный перевод в середине семестра, потребовавший перестройки привычных навыков учебной деятельности обучающихся, в наибольшей степени повлиял на подготовку выпускниками выпускных квалификационных работ. В табл. 4 приведены результаты самооценки уровня психологической готовности 507 выпускников 2020 г. к сдаче государственного экзамена и защите выпускной квалификационной работы (ВКР) в дистанционном формате.

Таблица 4. Самооценка выпускников уровня психологической готовности к защите ВКР в дистанционном формате

Уровень готовности	Кол-во респондентов	Доля респондентов, %
Полная готовность	263	51,9 %
Недостаточная готовность	196	38,7 %
Крайне низкая готовность	48	9,4 %

В табл. 5 приведены результаты анализа ответов обучающихся на вопрос о влиянии отсутствия «живого» общения с научным руководителем на трудозатраты при разработке ВКР.

Таблица 5. Оценка влияния отсутствия «живого» общения с научным руководителем на трудозатраты при разработке ВКР

Влияние отсутствия «живого» общения на трудозатраты при разработке ВКР	Кол-во респондентов	Доля респондентов, %
Никак не повлияло	219	44,7 %
Положительно	32	6,5 %
Отрицательно	156	31,9 %
Крайне отрицательно	83	16,9 %

Анализ данных, приведённых в табл. 5, позволяет сделать вывод в том, что, по мнению 239 выпускников (48,8 % от общего числа респондентов), отсутствие «живого» общения с научным руководителем отрицательно повлияло на трудозатраты при написании ВКР и его качество. При этом положительную динамику отметили лишь 32 выпускника (6,5 % от общего числа респондентов).

Вместе с тем перевод всех видов учебных занятий в удалённый режим в процессе действующего семестра стал экстремальной ситуацией и для большинства педагогических работников и потребовал перестройки материально-технической, методической, социально-психологической, педагогической и других составляющих их профессиональной деятельности [12–16]. Для того чтобы справиться с задачей экстренной мобилизации к работе в новых условиях, педагогами были задействованы сверхнормативные ресурсы

времени, приложены дополнительные усилия, израсходованы незапланированные финансовые средства и т.д. [12, 13, 16, 17].

При этом было отмечено, что значительная часть педагогов, успешно решив задачи технического оснащения удалённого рабочего места, работая в домашних условиях, испытывала социально-психологические трудности [6, 18, 19]. Более того, исследований ущерба здоровью педагогов от 6-часовых сеансов «работы диктором» с усиленной концентрацией зрения на экраны не всегда новых и безопасных домашних мониторов пока ещё не проведено [6, 12–14, 20].

Таким образом, исследование психолого-педагогических особенностей перевода ОФО в дистанционный формат в период пандемии показал:

- в начальном периоде пандемии одним из главных вызовов, с которым столкнулись образовательные организации высшего образования, стали психологические сложности обучающихся;

- в сложившейся во время пандемии обстановке многие участники образовательного процесса столкнулись с проблемами личностного характера, связанными с резкой перестройкой уклада своей жизнедеятельности, изменениями в привычных повседневных процессах, к которым никто не готовился заранее;

- в условиях пандемии и изоляции, при депривации физической активности, вынужденном одиночестве и излишней свободе часть обучающихся испытывали симптомы таких негативных состояний, как стресс, страх, паника, тревога, цинизм и отрицание, которые противоречат просоциальному поведению;

- меры по нераспространению инфекции негативно отразились на физиологическом функциональном состоянии как обучающихся, так и педагогов, что стало причиной снижения эффективности и в значительной степени физической и психологической безопасности их деятельности;

- необходимость решения психолого-педагогических вопросов образования в дистанционном формате и разрешение проблем личностного характера признана на мировом уровне и сформулирована созданной ЮНЕСКО Специальной группой министров образования в виде рекомендаций;

- отсутствие собственного персонального оборудованного рабочего места у значительного числа обучающихся негативно отразилось как на их физических возможностях, так и мотивации к продолжению обучения в дистанционном формате;

- в значительный спектр причин снижения мотивации к обучению вошли как объективные, так и субъективные факторы, психологические и физиологические потребности обучающихся к комфорту на вебинарах не были удовлетворены из-за воздействия значительного количества раздражителей технического, межличностного и методического характера;

- проблемы в адаптации к дистанционному формату образовательного процесса психологического характера детерминируют разработку системы мер психологической поддержки участников образовательного процесса;

- прямой перенос учебных занятий и их апробированного в учебной аудитории слайдового сопровождения в вебинарную комнату мог быть оправдан крайней мерой экстренного перевода на дистанционный формат обучения, но в настоящем и будущем должен стать основой для постановки и решения важной психолого-педагогической проблемы для новой цифровой дидактики.

## Литература

1. Анализ гибели (смерти) личного состава в системе МЧС России и анализ суицидальных происшествий с личным составом МЧС России за 1 квартал 2021 года: письмо МЧС России от 7 апр. 2021 г. № М-4-855 // МЧС России. URL: <https://mchs.fun> (дата обращения: 12.12.2021).

2. COVID-19: 1,3 миллиарда учащихся находятся на карантине в своих домах, в то время как министры расширяют подходы к дистанционному обучению для обеспечения непрерывности образования. URL: <https://ru.unesco.org/news/covid-19-13-milliarda-uchashchih-sya-nahodyatsya-na-karantine-v-svoih-domah-v-vremya-kak> (дата обращения: 13.04.2021).

3. Как планировать дистанционное обучение во время временных закрытий школ. URL: <https://ru.unesco.org/news/kak-planirovat-distancionnoe-obuchenie-vo-vremya-vremennyh-zakrytiy-shkol> (дата обращения: 14.04.2021).

4. Психолого-педагогические аспекты экстренного перехода обучающихся очной формы обучения на дистанционный формат подготовки и проведения государственных аттестационных испытаний / Р.Е. Булат [и др.] // Современные наукоемкие технологии. 2020. № 10. С. 140–147.

5. ЮНЕСКО COVID-19 Educational Disruption and Response. URL: <https://en.unesco.org/covid19/educationresponse> (дата обращения: 12.04.2021).

6. Особенности организации деятельности вуза в условиях пандемии / А.И. Минаев [и др.] // Современные проблемы науки и образования. 2020. № 4.

7. Уроки «стресс-теста». Вузы в условиях пандемии и после нее / Н.Ю. Анисимов [и др.]. URL: [http://www.tsu.ru/upload/medialibrary/add/uroki-stress\\_testa-vuzy-v-usloviyakh-randemii-i-posle-nee.pdf](http://www.tsu.ru/upload/medialibrary/add/uroki-stress_testa-vuzy-v-usloviyakh-randemii-i-posle-nee.pdf) (дата обращения: 12.04.2021).

8. Обучение продолжается: ЮНЕСКО объединяет международные организации, гражданское общество и партнеров из частного сектора в широкую Коалицию по вопросам образования. URL: <https://ru.unesco.org/news/obuchenieprodolzhaetsya-yunesko-obedinyayet-mezhdunarodnye-organizacii-grazhdanskoe-obshchestvo> (дата обращения: 13.04.2021).

9. Оценка уровня готовности педагогических работников к реализации дистанционных образовательных технологий в очной форме обучения / Р.Е. Булат [и др.] // Человеческий капитал. 2021. № 1 (145). С. 56–65. DOI: 10.25629/НС.2021.01.05.

10. Проблемные вопросы качества профессионального образования при применении дистанционных образовательных технологий в очной форме обучения / Р.Е. Булат [и др.] // Человеческий капитал. 2021. № 3 (147). С. 57–111. DOI: 10.25629/НС.2021.03.09.

11. Дудина М.Н. Образовательный процесс: таким, каким был, уже не будет // Профессиональное образование и рынок труда. 2020. № 2. С. 44–45.

12. Общество и пандемия: опыт и уроки борьбы с COVID-19 в России. М., 2020. 744 с. ISBN 978-5-85006-256-9. URL: <https://mgimo.ru/upload/2020/10/COVID.pdf> (дата обращения: 14.04.2021).

13. Raes A., Vanneste P., Pieters M., Windey I., Van den Noortgate W. & Depaepe F. Learning and instruction in the hybrid virtual classroom: An investigation of students' engagement and the effect of quizzes // *Computers & Education*. 2019. 143. 103682. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103682>.

14. Шмурыгина О.В. Образовательный процесс в условиях пандемии // Профессиональное образование и рынок труда. 2020. № 2. С. 51–52. DOI: 10.24411/2307-4264-2020-10210.

15. Nyquist J.G., Jubran R. How Learning Works: seven research-based principles for smart teaching // *The Journal of Chiropractic Education*. 2012. Vol. 26 (2). Pp. 192–193. DOI: <https://doi.org/10.7899/JCE-12-022>.

16. Zydney J.M., McKimmy P.B., Lindberg R., & Schmidt M. Here or There Instruction: Lessons Learned in Implementing Innovative Approaches to Blended Synchronous Learning // *TechTrends*. 2019. Vol. 63. No. 2.

17. Анализ затруднений при реализации дистанционных образовательных технологий у различных категорий педагогических работников / Р.Е. Булат [и др.] // Современные наукоемкие технологии. 2021. № 12. С. 116–123.

18. Palmer Parker J. The Courage to Teach: Exploring the Inner Landscape of a Teacher's Life // *Journal of Applied Learning & Teaching*. 2018. Vol. 1. No 2.

19. Психолого-педагогические ресурсы повышения готовности обучающихся к образовательному процессу в условиях электронной информационно-образовательной среды / Р.Е. Булат [и др.] // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петербур. ун-та ГПС МЧС России». 2020. № 3. С. 172–178.

20. Lahcen R. Ait M., Mohapatra R., Chen B. Prioritizing Strategies for a Better Transition to Remote Instruction // *Teaching & Learning*. 2020. URL: <https://er.educause.edu/articles/2020/11/prioritizing-strategies-for-a-better-transition-to-remoteinstruction> (дата обращения: 09.04.2021).

## References

1. Analiz gibeli (smerti) lichnogo sostava v sisteme MCHS Rossii i analiz suicidal'nyh proisshestvij s lichnym sostavom MCHS Rossii za 1 kvartal 2021 goda: pis'mo MCHS Rossii ot 7 apr. 2021 g. № М-4-855 // MCHS Rossii. URL: <https://mchs.fun> (дата обращения: 12.12.2021).

2. SOVID-19: 1,3 milliarda uchashchihsya nahodyatsya na karantine v svoih domah, v to vremya kak ministry rasshiryayut podhody k distancionnomu obucheniyu dlya obespecheniya nepreryvnosti obrazovaniya. URL: <https://ru.unesco.org/news/covid-19-13-milliarda-uchashchihsya-nahodyatsya-na-karantine-v-svoih-domah-v-vremya-kak> (дата обращения: 13.04.2021).

3. Kak planirovat' distancionnoe obuchenie vo vremya vremennyh zakrytij shkol. URL: <https://ru.unesco.org/news/kak-planirovat-distancionnoe-obuchenie-vo-vremya-vremennyh-zakrytij-shkol> (дата обращения: 14.04.2021).

4. Psihologo-pedagogicheskie aspekty ekstremnogo perekhoda obuchayushchihsya ochnoj formy obucheniya na distancionnyj format podgotovki i provedeniya gosudarstvennyh attestacionnyh ispytaniy / R.E. Bulat [i dr.] // *Sovremennye naukoemkie tekhnologii*. 2020. № 10. S. 140–147.

5. YUNESKO COVID-19 Educational Disruption and Response. URL: <https://en.unesco.org/covid19/educationresponse> (дата обращения: 12.04.2021).

6. Osobennosti organizacii deyatel'nosti vuza v usloviyah pandemii / A.I. Minaev [i dr.] // *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*. 2020. № 4.

7. Uroki «stress-testa». Vuzy v usloviyah pandemii i posle nee / N.Yu. Anisimov [i dr.]. URL: [http://www.tsu.ru/upload/medialibrary/add/uroki-stress\\_testa-vuzy-v-usloviyakh-pandemii-i-posle-nee.pdf](http://www.tsu.ru/upload/medialibrary/add/uroki-stress_testa-vuzy-v-usloviyakh-pandemii-i-posle-nee.pdf) (дата обращения: 12.04.2021).

8. Obuchenie prodolzhaetsya: YUNESKO ob"edinyayet mezhdunarodnye organizacii, grazhdanskoe obshchestvo i partnerov iz chastnogo sektora v shirokuyu Koalitsiyu po voprosam obrazovaniya. URL: <https://ru.unesco.org/news/obuchenieprodolzhaetsya-yunesko-obedinyayet-mezhdunarodnye-organizacii-grazhdanskoe-obshchestvo> (дата обращения: 13.04.2021).

9. Ocenka urovnya gotovnosti pedagogicheskikh rabotnikov k realizacii distancionnyh obrazovatel'nyh tekhnologij v ochnoj forme obucheniya / R.E. Bulat [i dr.] // *Chelovecheskij kapital*. 2021. № 1 (145). S. 56–65. DOI: 10.25629/HC.2021.01.05.

10. Problemnye voprosy kachestva professional'nogo obrazovaniya pri primenenii distancionnyh obrazovatel'nyh tekhnologij v ochnoj forme obucheniya / R.E. Bulat [i dr.] // *Chelovecheskij kapital*. 2021. № 3 (147). S. 57–111. DOI: 10.25629/HC.2021.03.09.

11. Dudina M.N. Obrazovatel'nyj process: takim, kakim byl, uzhe ne budet // *Professional'noe obrazovanie i rynek truda*. 2020. № 2. S. 44–45.

12. Obshchestvo i pandemiya: opyt i uroki bor'by s COVID-19 v Rossii. M., 2020. 744 s. ISBN 978-5-85006-256-9. URL: <https://mgimo.ru/upload/2020/10/COVID.pdf> (дата обращения: 14.04.2021).

13. Raes A., Vanneste P., Pieters M., Windey I., Van den Noortgate W. & Depaep F. Learning and instruction in the hybrid virtual classroom: An investigation of students' engagement and the effect of quizzes // *Computers & Education*. 2019. 143. 103682. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103682>.

14. Shmurygina O.V. *Obrazovatel'nyj process v usloviyah pandemii // Professional'noe obrazovanie i rynek truda*. 2020. № 2. S. 51–52. DOI: 10.24411/2307-4264-2020-10210.
15. Nyquist J.G., Jubran R. *How Learning Works: seven research-based principles for smart teaching // The Journal of Chiropractic Education*, 2012. Vol. 26 (2). Pp. 192–193. DOI: <https://doi.org/10.7899/JCE-12-022>.
16. Zydney J.M., McKimmy P.B., Lindberg R., & Schmidt M. *Here or There Instruction: Lessons Learned in Implementing Innovative Approaches to Blended Synchronous Learning // TechTrends*. 2019. Vol. 63. No. 2.
17. *Analiz zatrudnenij pri realizacii distancionnyh obrazovatel'nyh tekhnologij u razlichnyh kategorij pedagogicheskikh rabotnikov / R.E. Bulat [i dr.] // Sovremennye naukoemkie tekhnologii*. 2021. № 12. S. 116–123.
18. Palmer Parker J. *The Courage to Teach: Exploring the Inner Landscape of a Teacher's Life // Journal of Applied Learning & Teaching*. 2018. Vol. 1. No 2.
19. *Psichologo-pedagogicheskie resursy povysheniya gotovnosti obuchayushchihsya k obrazovatel'nomu processu v usloviyah elektronnoj informacionno-obrazovatel'noj sredy / R.E. Bulat [i dr.] // Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MCHS Rossii»*. 2020. № 3. S. 172–178.
20. Lahcen R. Ait M., Mohapatra R., Chen B. *Prioritizing Strategies for a Better Transition to Remote Instruction // Teaching & Learning*. 2020. URL: <https://er.educause.edu/articles/2020/11/prioritizing-strategies-for-a-better-transition-to-remoteinstruction> (data obrashcheniya: 09.04.2021).

---

---

## ТРУДЫ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ

---

---

УДК 378

### **ТЕХНОЛОГИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ГОТОВНОСТИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ОЧНОЙ ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ К ОСВОЕНИЮ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ ДИСТАНЦИОННЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

**Н.А. Никитин.**

**Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Пандемия коронавируса выявила проблему готовности участников образовательного процесса к экстренному переводу очной формы обучения на дистанционный формат с сохранением количества и продолжительности учебных занятий. Наряду с психологическими затруднениями и техническими трудностями при адаптации к данному формату обучения выявлен недостаточный уровень способностей обучающихся очной формы обучения к образованию с применением дистанционных образовательных технологий.

В данной статье автором предложена научно обоснованная, разработанная и апробированная педагогическая технология, позволяющая сформировать готовность обучающихся очной формы обучения к освоению образовательной программы с применением дистанционных образовательных технологий.

*Ключевые слова:* очная форма обучения, технология формирования готовности обучающихся, дистанционные образовательные технологии

### **TECHNOLOGY FOR FORMING THE READINESS OF STUDENTS OF THE ESSENTIAL FORM OF LEARNING TO LEARN THE EDUCATIONAL PROGRAM WITH THE APPLICATION OF DISTANCE EDUCATIONAL TECHNOLOGIES**

**N.A. Nikitin. Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia**

The coronavirus pandemic has revealed the problem of the readiness of participants in the educational process for an emergency transfer of full-time form to study in a distance format, while maintaining the number and duration of training sessions. Along with psychological difficulties and technical difficulties in adapting to this format of education, we have identified an insufficient level of ability of full-time students to education with the use of distance learning technologies.

In this article, the author proposes a scientifically grounded, developed and tested pedagogical technology that allows to form the readiness of full-time students to master the educational program using distance learning technologies.

*Keywords:* full-time education, technology for the formation of students' readiness, distance educational technologies



Исследования особенностей образовательного процесса в условиях пандемии коронавируса показали, что в цифровую эпоху необходимо развивать не столько операционные ИТ-навыки обучающихся и педагогов, сколько педагогические технологии личностного совершенствования и развития, основанные на достижениях цифровой дидактики как области современной педагогики [1–9].

Данное положение находит своё подтверждение в проведённом Высшей школой экономики анализе исследований проблем, требующих оперативного внимания в масштабах системы образования. Так, в аналитическом отчёте к рассматриваемым проблемам относят: качественное обучение по направлениям, требующим практических навыков, а также формирование самоорганизации и саморазвития у обучающихся младших курсов [10]. Поэтому актуальность проводимого исследования на тему «Формирование готовности обучающихся к очной форме обучения с применением дистанционных образовательных технологий» обусловлена объективной потребностью в повышении качества образования с применением дистанционных образовательных технологий (ДОТ).

Цель данного исследования заключалась в обеспечении повышения качества образования обучающихся очной формы обучения (ОФО) Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России при использовании ДОТ в процессе реализации образовательных программ.

Для достижения поставленной цели была разработана педагогическая технология формирования готовности обучающихся очной формы обучения к освоению образовательной программы с применением ДОТ с учётом созданных условий для функционирования электронной информационно-образовательной среды (ЭИОС). Существуют различные принципы системы дистанционного формата обучения, которые подробно изложены в трудах Е.С. Полат, А.А. Андреева и др. [11–13].

Авторы выделяют такие специфичные принципы дистанционного формата обучения, как:

– принцип интерактивности. Данный принцип основан на общении обучающихся и педагогов, а также обучающихся друг с другом посредством ДОТ;

– принцип стартовых знаний. Эффективность обучения в дистанционном формате определяют некоторые начальные знания, владение персональным компьютером и программным обеспечением. Например, при «удалённом» формате необходимо обладать навыками работы в сети Интернет. Поэтому эффективность обучения может определяться предварительной подготовкой обучающегося;

– принцип индивидуализации. Выполнение данного принципа основано на проведении входного и текущего контроля знаний. Полученные результаты позволяют в дальнейшем либо составлять индивидуальный план обучения, либо провести дополнительную подготовку в целях получения недостающих знаний и умений, позволяющих успешно проходить обучение в дистанционном формате;

– принцип идентификации. Он является наиболее актуальным, так как дистанционный формат обучения предоставляет больше возможностей для фальсификации (выполнение заданий другим человеком). Образовательные организации осуществляют контроль самостоятельности обучения с помощью технических средств (видеоконференция, прокторинг);

– принцип регламентности обучения. Принцип основан на различных мнениях о том, что время обучения в дистанционном формате жёстко не регламентировано и нет необходимости вводить временные рамки проведения самостоятельной подготовки. Вместе с тем педагогическая практика показывает, что организация и проведение самостоятельной подготовки обучающихся (особенно младших курсов) должны жёстко планироваться и контролироваться;

– принцип педагогической целесообразности применения средств новых информационных технологий. Данный принцип является одним из ведущих педагогических принципов дистанционного формата обучения. Несмотря на то, что процесс обучения в дистанционном формате предполагает применение инновационных технологий и средств, их следует использовать в рамках разумности и целесообразности;

– принцип развития личности. Дистанционный формат обучения предусматривает активную самостоятельную познавательную деятельность обучающегося. Познавательная деятельность определяется внутренней мотивацией к данному формату обучения, выраженной желанием получать новые знания.

В исследовании автор солидарен с точкой зрения Е.С. Полат и А.А. Андреева. Вместе с тем он определил следующие специфичные принципы, на которых основывалась технология формирования готовности обучающихся очной формы обучения к освоению образовательной программы с применением ДОТ:

- принцип интерактивности;
- принцип идентификации;
- принцип педагогической целесообразности применения технических средств обучения;
- принцип развития личности.

На основании результатов научных трудов А.И. Жилиной, М.И. Дьяченко, Н.Н. Силкина, Л.С. Узуна и др. [14–17] в данном исследовании принято, что структура готовности представляет собой операционно-функциональную готовность, психологическую готовность, методическую готовность и материально-техническую готовность. Содержание готовности обучающихся ОФО к освоению образовательной программы с применением дистанционных образовательных технологий представляет совокупность способностей, стадии формирования которых определены последовательно усложняющимися требованиями образовательной деятельности в дистанционном формате.

Готовность к освоению образовательной программы с применением ДОТ является результатом разрабатываемой технологии, способной обеспечить достижение цели данного исследования – повышения качества образования обучающихся ОФО Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России с применением ДОТ. Формирование готовности к освоению образовательной программы с применением ДОТ в технологии осуществляется в три этапа: подготовительный, основной и контрольно-оценочный (рис. 1).

Таким образом, формирование готовности к экстренному переходу освоения образовательной программы с применением ДОТ представляет собой неоднородный процесс, который обуславливает необходимость в определении его последовательности. Так как именно при опосредованном (на расстоянии) взаимодействии обучающихся и педагогических работников организуется и проводится обучение, подготовительный этап включил разработку:

- минимальных, рекомендуемых требований к персональному компьютеру обучающегося;
- презентационного материала для проведения инструкторско-методического занятия с обучающимися;
- инструкций (по порядку регистрации в ЭИОС университета и заполнению личных данных; по обучению на платформе для проведения вебинаров; по использованию спектра возможностей онлайн-платформы для проведения вебинаров; по прохождению компьютерного тестирования в режиме асинхронного прокторинга; по установке программы удаленного доступа к ПК обучающегося и др.);
- видеоуроков по порядку прохождения промежуточной аттестации (ПА) в режиме асинхронного прокторинга;
- группового чата в ЭИОС для осуществления технической поддержки обучающихся;
- пробного тестирования без фиксации результата в режиме демонстрационного теста.

Основной этап технологии формирования готовности к экстренному переходу освоения образовательной программы с применением ДОТ включил три стадии:

- формирования готовности к применению ДОТ;
- формирования готовности к обучению с применением ДОТ;
- формирования готовности к прохождению промежуточной аттестации с применением ДОТ.



Рис. 1. Технология формирования готовности обучающихся очной формы обучения к освоению образовательной программы с применением дистанционных образовательных технологий

Стадия формирования готовности к применению ДОТ предполагала регистрацию в ЭИОС и ознакомление с её возможностями. На данной стадии обучающимся рекомендовалось действовать по разработанной пошаговой инструкции. Согласно данной инструкции необходимо запустить веб-браузер и ввести адрес сайта университета <https://edu.igps.ru/>, далее заполнить требуемые поля и «зарегистрироваться» для получения доступа к персонализированной части ЭИОС.

Пройдя процедуру регистрации, обучающийся создаёт личный профиль в ЭИОС и проходит верификацию (подтверждение) своей электронной почты: со своего почтового ящика необходимо отправить письмо на адрес [a@igps.ru](mailto:a@igps.ru), в теме которого указать номер мобильного телефона, указанный при регистрации.

После процедуры регистрации в ЭИОС и верификации электронной почты обучающийся отмечает в меню «Обучение» необходимый уровень своего образования: выбор программы и формы обучения. Далее требуется заполнить заявку на обучение в приёмную комиссию с указанием персональных данных.

В персональном профиле, во вкладке «Обучение» обучающийся знакомится с перечнем «текущих» дисциплин (на первом и последующих курсах) (рис. 2, 3).

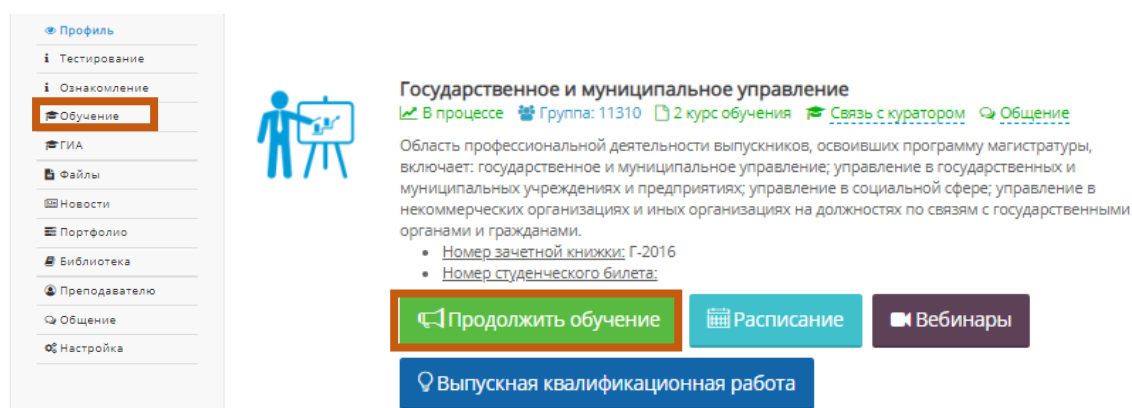


Рис. 2. Функционал вкладки «Обучение»

Название дисциплины	Рейтинг	Прогресс	Контроль
<a href="#">Антикризисное управление развитием территорий</a>	★★★★★	<div style="width: 100%;"></div>	
<a href="#">Иностранный язык в профессиональной сфере</a>	☆☆☆☆☆	<div style="width: 0%;"></div>	
<a href="#">Информационные технологии государственного и муниципального управления</a>	★★★★★	<div style="width: 0%;"></div>	
<a href="#">Мировая экономика</a>	★★★★★	<div style="width: 20%;"></div>	
<a href="#">Муниципальное управление и местное самоуправление</a>	★★★★★	<div style="width: 20%;"></div>	
<a href="#">Педагогика и психология высшей школы</a>	★★★★★	<div style="width: 0%;"></div>	
<a href="#">Проблемы правового регулирования предоставления гарантий и компенсаций</a>	★★★★★	<div style="width: 0%;"></div>	
<a href="#">Проектный менеджмент в государственном управлении</a>	☆☆☆☆☆	<div style="width: 0%;"></div>	
<a href="#">Стратегическое планирование в государственном управлении</a>	★★★★★	<div style="width: 20%;"></div>	
<a href="#">Теории и механизмы современного государственного управления</a>	★★★★★	<div style="width: 100%;"></div>	
<a href="#">Теория государства и права</a>	★★★★★	<div style="width: 0%;"></div>	

Рис. 3. Список дисциплин, доступных для изучения на первом и последующих курсах

Перейдя к конкретной дисциплине, обучающийся может ознакомиться с наличием текущего контроля (тестирования) по той или иной теме (при необходимости пройти его и получить процентный результат), а также с материалами учебно-методического комплекса, такими как учебный план, рабочая программа дисциплины и презентационными материалами к занятиям при их наличии (рис. 4).

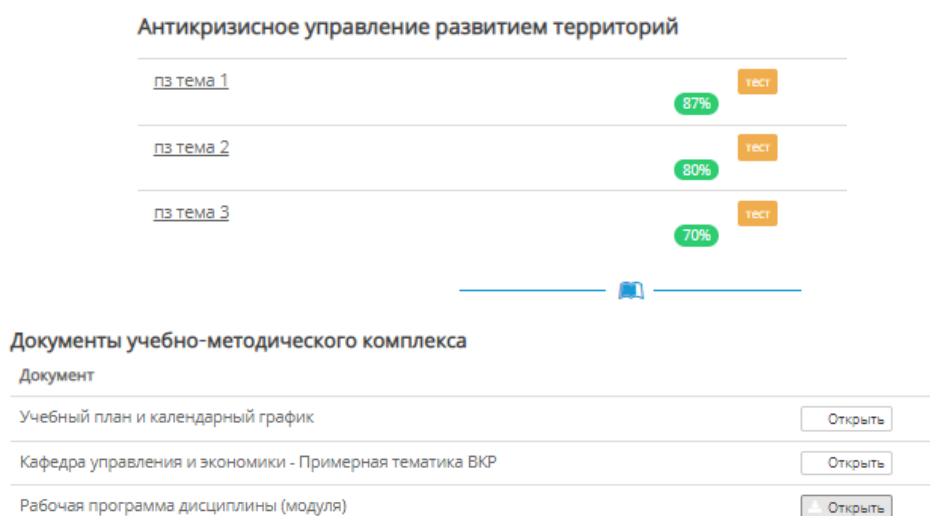


Рис. 4. Материалы дисциплины

В разделе обучение, во вкладке «Расписание» обучающийся получает сведения о количестве учебных занятий, времени их проведения и типе занятия на каждый учебный день.

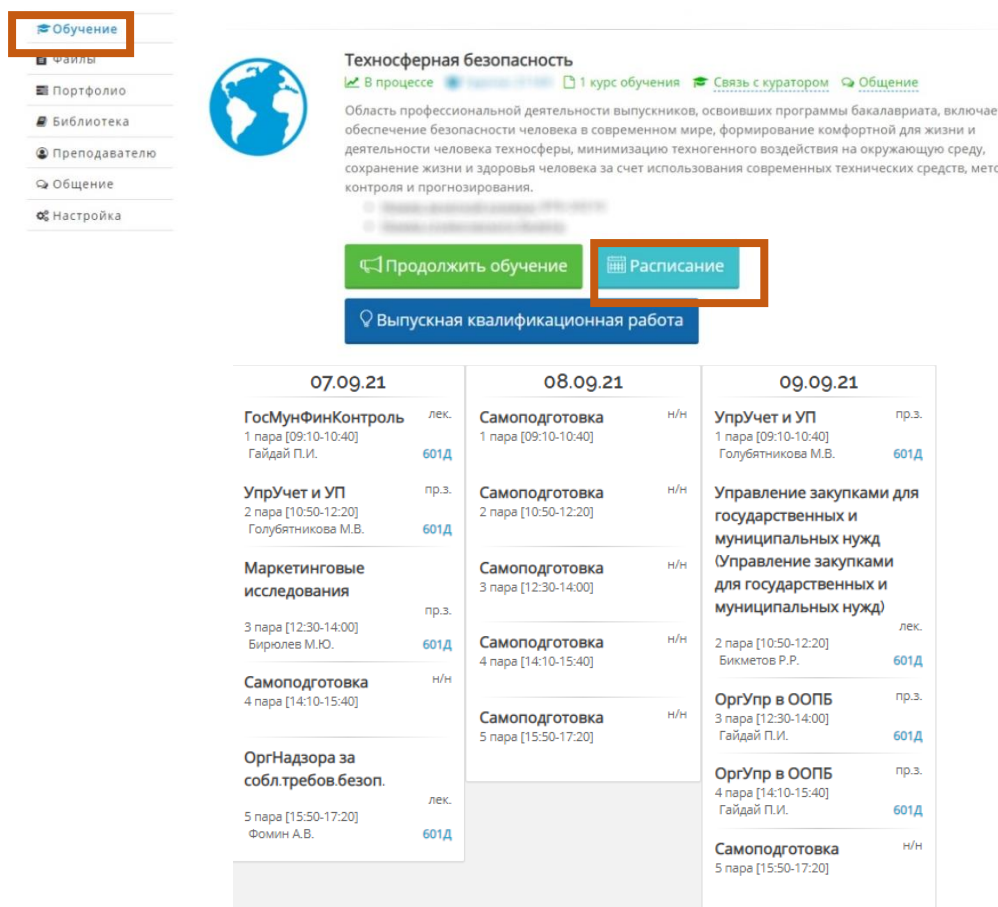


Рис. 5. Расписание занятий

Во вкладке «библиотека» обучающемуся (под своим логином и паролем) представлен доступ в одну из трёх электронных библиотек (рис. 6).

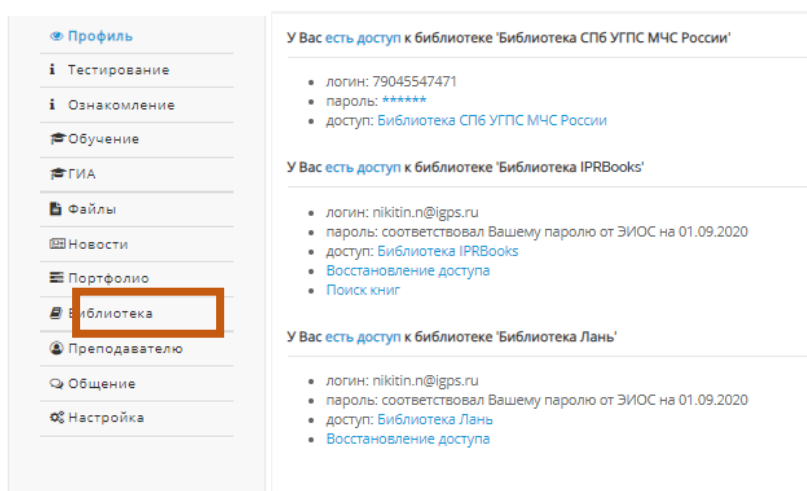


Рис. 6. Библиотечный ресурс

Используя вкладку «общение», обучающийся получает возможность задать вопрос любому преподавателю. Для этого ему необходимо открыть список профессорско-преподавательского состава требуемой кафедры и напротив нужной фамилии перейти во вкладку «общение». Далее обучающийся переходит в интерфейс общения с преподавателем, в текстовом поле вводит интересующий вопрос и нажимает на кнопку «Add Comment» (рис. 7 а, 7 б).

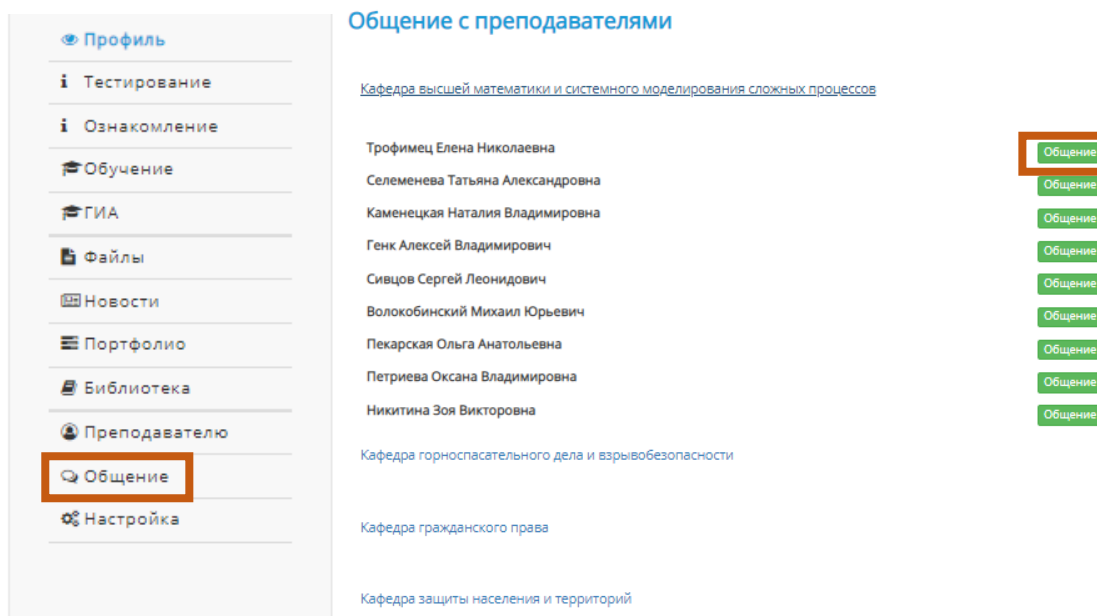


Рис. 7 а. Общение с преподавателем

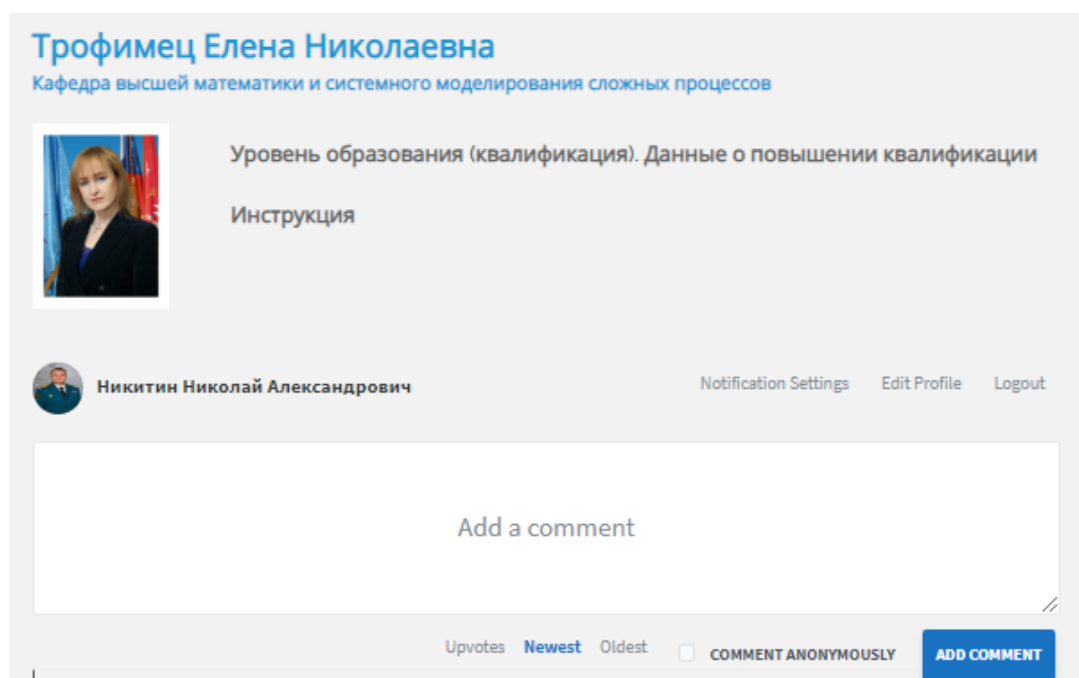


Рис. 7 б. Общение с преподавателем

Стадия формирования готовности к обучению с применением ДОТ направлена на подготовку к образовательному процессу в дистанционном формате. Дистанционный формат обучения реализовывался на образовательных платформах для проведения вебинаров. Для участия в образовательном процессе с применением ДОТ каждый обучающийся действовал по разработанной пошаговой инструкции, в которой сообщалось о необходимости наличия персонального компьютера с соответствующими характеристиками и свободным доступом в интернет. Кроме того, инструкция предопределяет порядок участия в дистанционном формате учебного занятия (вебинаре), который предполагает получение интернет-ссылки на верифицированную в ЭИОС университета электронную почту с указанием даты и времени проведения вебинара.

За 30 мин до начала вебинара на верифицированную электронную почту поступало письмо с напоминанием и актуальной ссылкой. Переходя по ссылке, указанной в письме, и нажатием кнопки «Участвовать», обучающемуся для «входа на вебинар» предлагалось ввести имя и отчество (без фамилии) в окне запроса и подтвердить их.

Для активного участия в вебинаре обучающиеся использовали спектр возможностей онлайн платформы. К примеру, для того чтобы задать вопрос, адресованный преподавателю, в текстовом чате обучающиеся переходили во вкладку «Чат», нажимали на пиктограмму «?» и в текстовом поле вводили вопрос. Если необходимо было задать вопрос преподавателю голосом, обучающиеся переходили на вкладку «Вопрос голосом», нажимали кнопку «Позвонить» и ждали подтверждения преподавателя, после чего задавали вопрос, который транслировался на всю аудиторию.

Для получения раздаточного материала обучающиеся переходили на вкладку «Материалы» и загружали на компьютер файлы для скачивания.

При проведении занятий семинарского типа (практические и семинары) обучающиеся имеют возможность выступить с докладом со слайдовым сопровождением. Кроме того, во время своего доклада могли воспользоваться функцией «Суфлер», которая позволяла прописывать подсказки к необходимым слайдам. Для выступления обучающиеся ждали передачи «роли ведущего» на вебинаре от преподавателя. Далее необходимо было «разрешить доступ к камере и микрофону» своего оборудования, а также загрузить презентацию к докладу.

При выступлении на практическом занятии или семинаре обучающиеся акцентировали внимание аудитории на важных деталях. Для этого они задействовали такие инструменты, как кисть, карандаш, формы, текст, иллюстрации и другие функции рисования.

Кроме того, обучающиеся использовали такие функции, как показ экрана своего компьютера в режиме онлайн, использование видеороликов и аудиозаписей. Для демонстрации экрана своего компьютера они открывали вкладку «Демонстрация экрана» и далее включали трансляцию своего рабочего стола. Для загрузки видео- или аудиоматериала переходили во вкладку «Видео фрагменты» и загружали необходимое видео с YouTube.

Стадия формирования готовности к прохождению промежуточной аттестации с применением ДОТ в режиме асинхронного прокторинга предусматривала использование ЭИОС университета, образовательной платформы для проведения вебинаров Etutorium, а также пошаговой инструкции для обучающихся. В своём профиле обучающемуся необходимо было перейти в раздел «Обучение» и в навигационной панели выбрать специальность/направление подготовки, затем нажать кнопку «Продолжить обучение» (рис. 8).

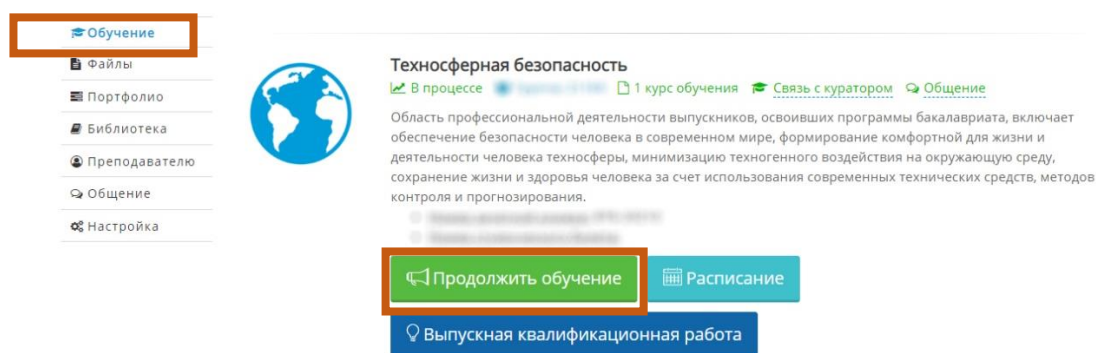


Рис. 8. Схема прохождения промежуточной аттестации с применением ДОТ в режиме асинхронного прокторинга

В открывшемся меню обучающийся переходил вниз страницы, выбирал контрольное мероприятие из списка и включал систему прокторинга. Выполнение перехода в вебинарную комнату сопровождалось открытием новой вкладки в интернет браузере (рис. 9).


Контрольные мероприятия		
Название дисциплины	Срок сдачи	Форма сдачи
Зачет с оценкой: Автоматические установки пожаротушения	04.04.2020-04.04.2020, 04.04.2020-04.04.2020	 Пройти тест
Зачет с оценкой: Актуальные вопросы пожарной безопасности технологических процессов и производств	18.03.2020-25.03.2020	Доступ запрещен 27% 50% Попытки кончились

Рис. 9. Схема перехода в вебинарную комнату

Далее обучающийся настраивал вебинарную комнату. Для корректной настройки вебинарной комнаты (системы прокторинга) обучающийся добавлял ведущего, выбрав свою фамилию, имя, отчество, включал камеру, микрофон и демонстрацию экрана (рис. 10).



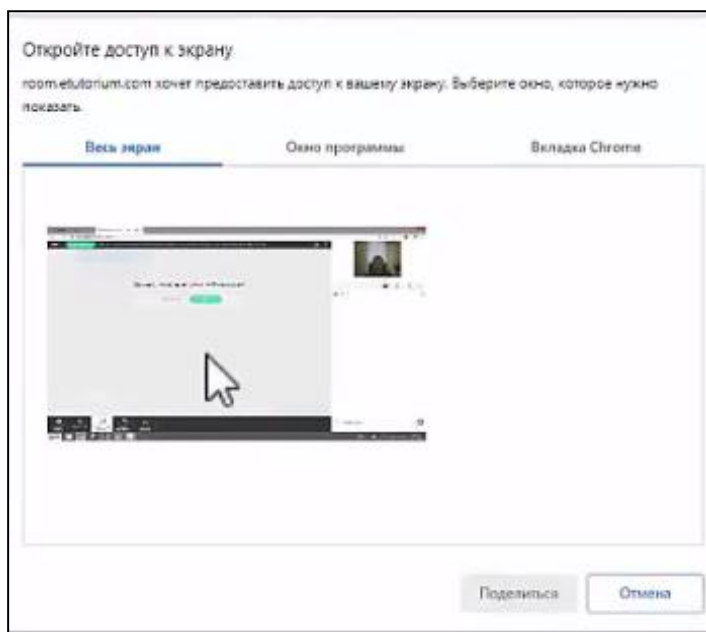


Рис. 10. Фрагмент дизайна функционала вебинарной комнаты

После выполнения операционно-технических действий обучающийся переходил к процедуре идентификации и прохождению зачетно-экзаменационных тестов (рис. 11). Во время тестирования, сдачи зачета или экзамена система прокторинга фиксировала видео с веб-камеры, звук микрофона и трансляцию рабочего стола.


Контрольные мероприятия		
Название дисциплины	Срок сдачи	Форма сдачи
Зачет с оценкой: Автоматические установки пожаротушения	04.04.2020-04.04.2020, 04.04.2020-04.04.2020	 <a href="#">Пройти тест</a>
Зачет с оценкой: Актуальные вопросы пожарной безопасности технологических процессов и производств	18.03.2020-25.03.2020	<a href="#">Доступ запрещен</a> 27% 50% <a href="#">Попытки кончились</a>

Рис. 11. Схема перехода к прохождению тестирования

После сдачи экзамена обучающийся завершал процедуру асинхронного прокторинга. Для завершения процедуры ему необходимо было вернуться в вебинарную комнату и закрыть нажатием на кнопку «Закончить вебинар», а во всплывающем окне выбрать «Завершить вебинар» нажатием на кнопку «ОК».

Таким образом, закрытие вебинарной комнаты предопределяло завершение тестирования в режиме асинхронного прокторинга.

Контрольно-оценочный этап внедрения технологии формирования готовности обучающихся ОФО к освоению образовательной программы с применением ДОТ включил в себя следующие действия:

- анкетирование обучающихся;
- оценка педагогами уровня готовности обучающихся экспериментальной и контрольной групп к обучению в дистанционном формате;
- проведение срезов причин аннулирования результатов тестирования экспериментальной и контрольной групп в период прохождения промежуточной аттестации с применением ДОТ в процессе асинхронного прокторинга;

- оценка педагогами уровня готовности обучающихся экспериментальной и контрольной групп к прохождению промежуточной аттестации в дистанционном формате;
- проведение срезов результатов тестирования экспериментальной и контрольной групп в период прохождения промежуточной аттестации с применением ДОТ в процессе асинхронного прокторинга.

В условиях внедрения дистанционного формата обучения участники образовательного процесса для обеспечения доверия к результатам обучения и/или научных (творческих) достижений должны соблюдать определённые требования:

- особенности настройки и средства идентификации образовательной платформы;
- особенности организации и проведения промежуточной аттестации;
- использование дополнительных плагинов образовательной платформы.

Таким образом, технология формирования готовности обучающихся ОФО к освоению образовательной программы с применением ДОТ:

- направлена на достижение конечной цели исследования – повышения качества профессионального образования с применением ДОТ в Санкт-Петербургском университете ГПС МЧС России;

- реализует на практике научно-теоретическую модель педагогического воздействия на обучающихся ОФО;

- выступает как преднамеренное дистанционное взаимодействие участников образовательного процесса вне зависимости от расположения в пространстве и времени, которое реализуется в цифровой дидактической системе на основе ДОТ;

- является дополнительным педагогическим компонентом, внедрённым в образовательный процесс и применённым в рамках экстренной ситуации в период пандемии коронавируса;

- обеспечивает выполнение принципов интерактивности, идентификации, педагогической целесообразности применения средств новых информационных технологий образовательного процесса и развития личности, охватывая период поступления в образовательную организацию, весь период обучения, в том числе прохождения промежуточной аттестации и государственной итоговой аттестации;

- позволяет при экстренном переходе на дистанционный формат обучения без потерь времени перестроиться на образовательный процесс с применением ДОТ и без отвлечения на материально-технические, методические и психологические факторы.

## Литература

1. Психолого-педагогические ресурсы повышения готовности обучающихся к образовательному процессу в условиях электронной информационно-образовательной среды / Р.Е. Булат [и др.] // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2020. № 3. С. 172–178.

2. Психолого-педагогические аспекты экстренного перехода обучающихся очной формы обучения на дистанционный формат подготовки и проведения государственных аттестационных испытаний / Р.Е. Булат [и др.] // Современные наукоемкие технологии. 2020. № 10. С. 140–147.

3. Переход обучающихся очной формы обучения к дистанционным технологиям освоения образовательных программ как экстремальная ситуация / Р.Е. Булат [и др.] // Военный инженер. 2020. № 2 (16). С. 42–53.

4. Особенности уровня готовности к применению дистанционных образовательных технологий в очной форме обучения у различных категорий педагогических работников / Р.Е. Булат [и др.] // Современные проблемы науки и образования. 2021. № 2. С. 24.

5. Булат Р.Е., Байчорова Х.С., Никитин Н.А. Методические особенности дистанционной работы с обучающимися очной формы подготовки в условиях пандемии коронавируса // Вестник Военной академии материально-технического обеспечения им. генерала армии А.В. Хрулева. 2021. № 1 (25). С. 104–109.

6. Анализ затруднений при реализации дистанционных образовательных технологий у различных категорий педагогических работников / Р.Е. Булат [и др.] // Современные наукоемкие технологии. 2021. № 2. С. 116–123.

7. Оценка уровня готовности педагогических работников к реализации дистанционных образовательных технологий в очной форме обучения / Р.Е. Булат [и др.] // Человеческий капитал. 2021. № 1 (145). С. 56–65.

8. Проблемные вопросы качества профессионального образования при применении дистанционных образовательных технологий в очной форме обучения / Р.Е. Булат [и др.] // Человеческий капитал. 2021. № 3 (147). С. 97–113.

9. Апробация технологии формирования готовности обучающихся очной формы обучения к освоению образовательной программы с применением дистанционных образовательных технологий / Р.Е. Булат [и др.] // Мир науки, культуры, образования. 2021. № 3 (88). С. 47–52.

10. Шторм первых недель: как высшее образование шагнуло в реальность пандемии // Сер.: Современная аналитика образования. 2020. № 6. URL: [https://ioe.hse.ru/data/2020/05/26/1551527214/CAO%206\(36\)\\_электронный.pdf](https://ioe.hse.ru/data/2020/05/26/1551527214/CAO%206(36)_электронный.pdf) (дата обращения: 26.05.2021).

11. Полат Е.С., Бухаркина М.Ю., Моисеева М.В. Теория и практика дистанционного обучения: учеб. пособие для студ. высш. пед. учеб. заведений. М.: Изд-во Юрайт, 2020.

12. Андреев А.А. Дидактические основы дистанционного обучения. М., 1999.

13. Концепция дистанционного обучения. URL: <http://www.ctkurs.ru/do.html> (дата обращения: 26.05.2021).

14. Жилина А.И. Управление системой профессиональной подготовки и карьерой руководителей сферы образования: автореф. дис. ... д-ра пед. наук. СПб., 2002.

15. Дьяченко М.И., Кандыбович Л.А., Пономаренко В.А. Готовность к деятельности в напряженных ситуациях: Психол. аспект. Минск: Изд-во «Университетское», 1985. 206 с.

16. Силкин Н.Н. Формирование психологической подготовленности у сотрудников МВД к служебной деятельности в экстремальных условиях: автореф. дис. ... канд. пед. наук. СПб., 1996.

17. Узун Л.С. Тактика выживания военнослужащих и сотрудников МВД в экстремальных ситуациях: монография. СПб.: С.-Петербург. ун-т МВД России, 1998.

## References

1. Psihologo-pedagogicheskie resursy povysheniya gotovnosti obuchayushchihsya k obrazovatel'nomu processu v usloviyah elektronnoj informacionno-obrazovatel'noj sredy / R.E. Bulat [i dr.] // Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MCHS Rossii». 2020. № 3. S. 172–178.

2. Psihologo-pedagogicheskie aspekty ekstrennogo perekhoda obuchayushchihsya ochnoj formy obucheniya na distancionnyj format podgotovki i provedeniya gosudarstvennyh attestacionnyh ispytaniy / R.E. Bulat [i dr.] // Sovremennye naukoemkie tekhnologii. 2020. № 10. S. 140–147.

3. Perekhod obuchayushchihsya ochnoj formy obucheniya k distancionnym tekhnologiyam osvoeniya obrazovatel'nyh programm kak ekstremal'naya situaciya / R.E. Bulat [i dr.] // Voennyj inzhener. 2020. № 2 (16). S. 42–53.

4. Osobennosti urovnya gotovnosti k primeneniyu distancionnyh obrazovatel'nyh tekhnologij v ochnoj forme obucheniya u razlichnyh kategorij pedagogicheskikh rabotnikov / R.E. Bulat [i dr.] // Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya. 2021. № 2. S. 24.

5. Bulat R.E., Bajchorova H.S., Nikitin N.A. Metodicheskie osobennosti distancionnoj raboty s obuchayushchimisya ochnoj formy podgotovki v usloviyah pandemii koronavirusa // Vestnik Voennoj akademii material'no-tekhnicheskogo obespecheniya im. generala armii A.V. Hruleva. 2021. № 1 (25). S. 104–109.

6. Analiz zatrudnenij pri realizacii distancionnyh obrazovatel'nyh tekhnologij u razlichnyh kategorij pedagogicheskikh rabotnikov / R.E. Bulat [i dr.] // *Sovremennye naukoemkie tekhnologii*. 2021. № 2. S. 116–123.
7. Ocenka urovnya gotovnosti pedagogicheskikh rabotnikov k realizacii distancionnyh obrazovatel'nyh tekhnologij v ochnoj forme obucheniya / R.E. Bulat [i dr.] // *Chelovecheskij kapital*. 2021. № 1 (145). S. 56–65.
8. Problemye voprosy kachestva professional'nogo obrazovaniya pri primenenii distancionnyh obrazovatel'nyh tekhnologij v ochnoj forme obucheniya / R.E. Bulat [i dr.] // *Chelovecheskij kapital*. 2021. № 3 (147). S. 97–113.
9. Aprobaciya tekhnologii formirovaniya gotovnosti obuchayushchihsya ochnoj formy obucheniya k osvoeniyu obrazovatel'noj programmy s primeneniem distancionnyh obrazovatel'nyh tekhnologij / R.E. Bulat [i dr.] // *Mir nauki, kul'tury, obrazovaniya*. 2021. № 3 (88). S. 47–52.
10. Shtorm pervyh nedel': kak vysshee obrazovanie shagnulo v real'nost' pandemii // Ser.: *Sovremennaya analitika obrazovaniya*. 2020. № 6. URL: [https://ioe.hse.ru/data/2020/05/26/1551527214/SAO%206\(36\)\\_elektronnyj.pdf](https://ioe.hse.ru/data/2020/05/26/1551527214/SAO%206(36)_elektronnyj.pdf) (data obrashcheniya: 26.05.2021).
11. Polat E.S., Buharkina M.Yu., Moiseeva M.V. *Teoriya i praktika distancionnogo obucheniya: ucheb. posobie dlya stud. vyssh. ped. ucheb. zavedenij*. M.: Izd-vo YUrajt, 2020.
12. Andreev A.A. *Didakticheskie osnovy distancionnogo obucheniya*. M., 1999.
13. *Koncepciya distancionnogo obucheniya*. URL: <http://www.ctkurs.ru/do.html> (data obrashcheniya: 26.05.2021).
14. Zhilina A.I. *Upravlenie sistemoy professional'noj podgotovki i kar'eroj rukovoditelej sfery obrazovaniya: avtoref. d-ra ped. nauk*. SPb., 2002.
15. D'yachenko M.I., Kandybovich L.A., Ponomarenko V.A. *Gotovnost' k deyatel'nosti v napryazhennyh situacijah: Psihol. aspekt*. Minsk: Izd-vo «Universitetskoe», 1985. 206 s.
16. Silkin N.N. *Formirovanie psihologicheskoy podgotovlennosti u sotrudnikov MVD k sluzhebnoj deyatel'nosti v ekstremal'nyh usloviyah: avtoref. kand. ped. nauk*. SPb., 1996.
17. Uzun L.S. *Taktika vyzhivaniya voennosluzhashchih i sotrudnikov MVD v ekstremal'nyh situacijah: monografiya*. SPb.: S.-Peterb. un-t MVD Rossii, 1998.

УДК 614.843.9

## О ТАКТИКЕ ТУШЕНИЯ МОДУЛЬНЫХ АРКТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

**А.А. Таранцев.****Академия ГПС МЧС России**

Показана проблема тушения пожара в модуле арктического объекта в условиях экстремально низких температур. Рассмотрен способ сдерживания и тушения пожара в модуле посредством его оперативной продувки низкотемпературным наружным воздухом с дозированной подачей снега. Обоснована целесообразность применения такого способа для обеспечения живучести арктического объекта в условиях ограниченной транспортной доступности и невозможности оказания помощи извне. Приведены особенности тактики пожарных подразделений по ликвидации пожара в модуле.

*Ключевые слова:* арктический модуль, низкие температуры, пожар, продувка наружным воздухом, сдерживание пожара, ликвидация горения

### ABOUT THE TACTICS OF EXTINGUISHING MODULAR ARCTIC OBJECTS

A.A. Tarantsev. Academy of State fire service of EMERCOM of Russia

The problem of extinguishing a fire in the module of an Arctic object in conditions of extremely low temperatures is shown. A method of containment and extinguishing a fire in the module by means of its rapid purging with low-temperature outdoor air with a metered supply of snow is considered. The expediency of using such a method to ensure the survivability of an Arctic object in conditions of limited transport accessibility and the impossibility of providing external assistance is substantiated. The features of the tactics of fire departments for the elimination of fire in the module are given.

*Keywords:* arctic module, low temperatures, fire, outdoor air purging, fire containment, fire elimination

Современный этап развития нашей страны характеризуется интенсивным развитием Арктической зоны Российской Федерации и районов Крайнего Севера, что вызвано как экономическими, так и геополитическими причинами [1–9]. В этой связи осуществляется строительство новых арктических объектов (научно-исследовательских, гидрометеорологических, инфраструктурных и др.) и модернизация действующих. Значительное место занимают модульные объекты (рис. 1 а) как экономически обоснованные для экстремально холодного климата и позволяющие оперативно наращивать их структуру в виде сети модулей, связанных между собой или автономных.

В состав арктических объектов могут входить различные модули, наиболее характерные из которых – энергомодули (рис. 1 б); жилые (рис. 1 в), целевые (в них размещены аппаратура, оборудование и др., предназначенные для решения задач, для решения которых объект и предназначен); административные (с системой управления объектом, средствами связи и т.п.); складские; пищеблоки и др.

Как показано в работе [2], модули арктического объекта имеют энергонасыщенность (отношение обращаемой мощности к объёму помещения), которая более чем на порядок превышает энергонасыщенность аналогичных помещений в умеренном климате. Это, в свою очередь, приводит к повышенному риску пожаров (рис. 1 г), тушение которых в условиях экстремально холодного климата представляет значительную трудность [10].

Незначительные степени огнестойкости [11] модулей и их относительно небольшие объёмы приводят к быстрому и необратимому повреждению опасными факторами пожара (ОФП) конструкции модуля и находящегося в нём оборудования, а также риску для жизни и здоровья персонала. В итоге это может отрицательно сказаться на живучести объекта [12] как способности выполнять свои функции при повреждении ОФП каких-либо его модулей. На рис. 2 приведено условное ранжирование модулей по степени их значимости для живучести арктического объекта.

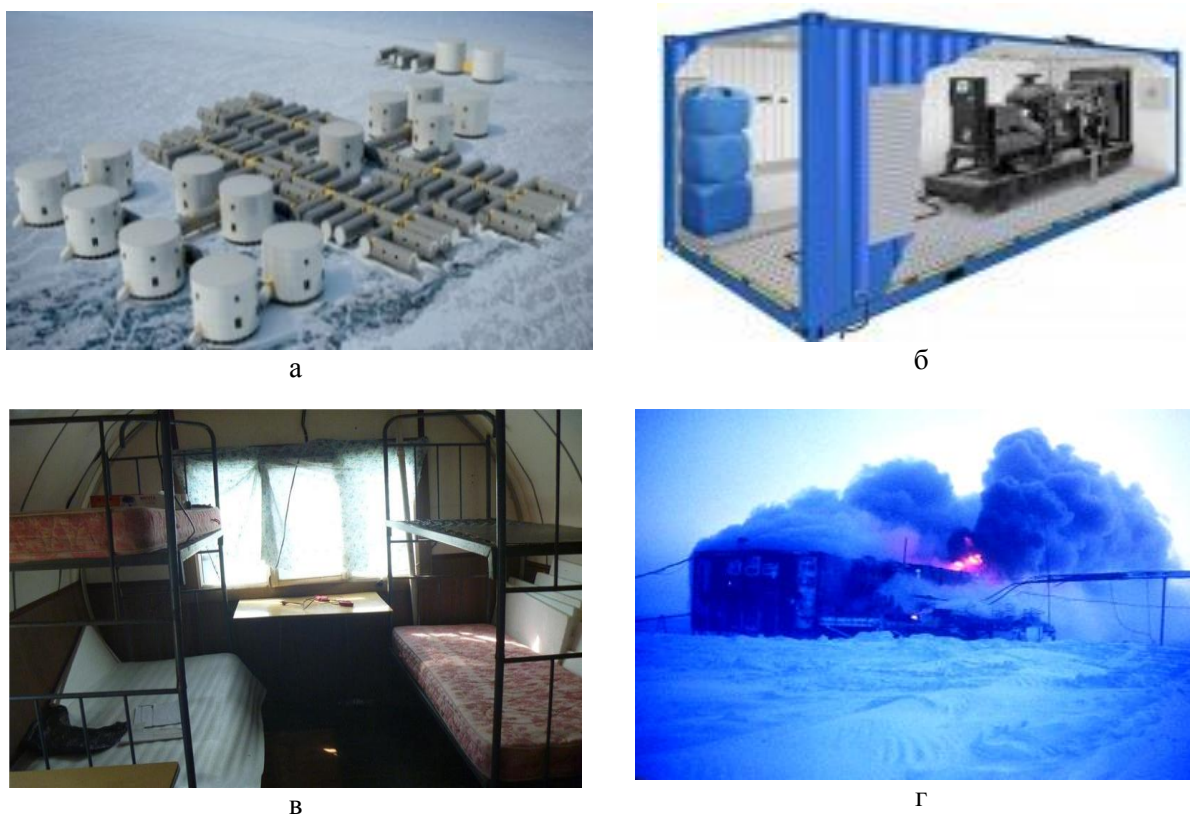


Рис. 1. Объекты в Арктике: а) модульная станция; б) энергомодуль; в) жилой модуль, вид изнутри; г) пожар модуля

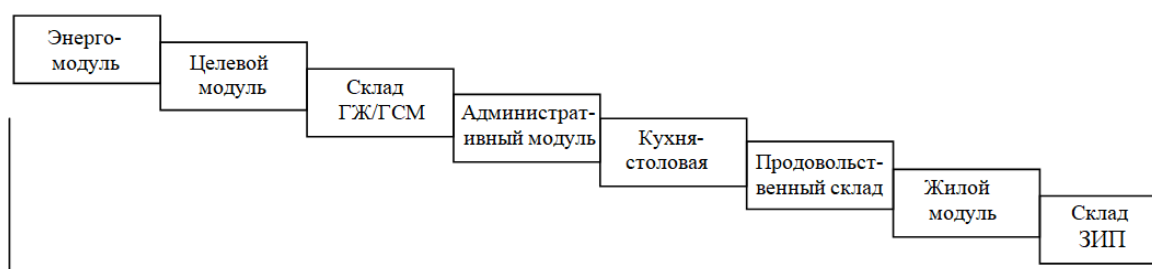


Рис. 2. Условное ранжирование модулей арктического объекта по степени влияния на его живучесть: ГЖ – горючая жидкость; ГСМ – горюче-смазочные материалы; ЗИП – запасные части, инструменты и принадлежности

В самом деле, выход энергомодуля (рис. 1 б) из строя угрожает как обесточиванием оборудования объекта (конечно, ограниченное время наиболее значимое оборудование сможет проработать на аккумуляторах), так и прекращением теплоснабжения, что при экстремально низких температурах и сильных ветрах представляет опасность для персонала. Живучесть объекта при этом резко снижается.

Также отрицательно влияет на живучесть пожар на целевом модуле, где находится оборудование, например, для метеоразведки, научно-исследовательских наблюдений, дальней связи и т.п. Риск для персонала при этом будет меньше, но существование арктического объекта как функциональной единицы окажется бесполезным до восстановления целевого модуля.

Не менее ощутимым для живучести объекта будет пожар модуля, где находятся запасы топлива (ГЖ). Если на объекте нет второго аналогичного склада, то энергомодуль сможет ещё проработать короткое время на оставшемся запасе, после чего, если запас топлива не будет оперативно подвезён, энергомодуль прекратит работу с вышеописанными последствиями для объекта и персонала.

Пожар административного модуля приведёт к временной дезорганизации управления объектом и потере связи с «большой землёй». Живучесть намного снижена не будет, поскольку сохранится энергоснабжение и функциональные возможности целевого модуля.

Также незначительное влияние на живучесть объекта окажет пожар модуля с кухней-столовой. Персоналу некоторое время придётся питаться сухим пайком. Пожар продовольственного склада в модуле также не очень критичен – что-то из продуктов удастся спасти (например, консервы), а персоналу временно будет сокращён паёк.

Пожар жилого модуля (рис. 1 в) скажется на живучести объекта незначительно при условии, что не застанет персонал в состоянии сна. При значительном повреждении жилого модуля персонал будет рассредоточен по другим модулям, пригодным для временного обитания.

Пожар складского модуля, где хранится запасной инвентарь и принадлежности (ЗИП), окажет незначительное влияние на живучесть арктического объекта в краткосрочной перспективе, но потребуются подвоз дополнительных ЗИП.

Однако наиболее опасным может оказаться случай одновременных пожаров в модулях. Тогда потребуются задействование сразу нескольких пожарных расчётов, что проблематично при ограниченной численности персонала объекта. Оценке необходимого количества сил и средств (СиС) для обеспечения пожарной безопасности объектов, функционирующих в условиях автономности и удалённости от арктических спасательных центров МЧС России и крупных населённых пунктов, посвящена работа [13].

В этой связи особую значимость приобретает проблема быстреего тушения пожара в модулях арктических объектов без угрозы для их живучести. Поскольку традиционные методы пожарной тактики [14], предполагающие использование воды и её растворов от автоцистерн арктического исполнения, применять для небольших арктических объектов (рис. 1 а) затруднительно, автором был предложен и запатентован [15, 16] принципиально новый способ сдерживания и тушения пожара в модуле.

Сущность способа заключается в оперативной продувке горящего объёма наружным низкотемпературным воздухом с дозированной подачей снега (воды при оттепели), последующим проникновением пожарных в модуль и действий там по ликвидации очагов горения и проведению аварийно-спасательных работ (АСР) [17] под защитой нагнетаемой низкотемпературной воздушной струи. Для этого модуль снабжён встроенным вентилятором и нормально закрытыми люками (рис. 3 а).

Общий порядок действий по сдерживанию и тушению пожара приведен на рис. 3. При возникновении пожара (рис. 3 б) один или оба люка вскрываются, вентилятор нагнетает внутрь низкотемпературный наружный воздух, продукты горения удаляются наружу (рис. 3 в, г). Среднеобъёмная температура в модуле падает, горение замедляется, развитие пожара тем самым сдерживается, а дозированная подача снега в нагнетаемую струю (рис. 3 в, г) ещё более усиливает эффект сдерживания пожара. Прибывший пожарный расчёт проникает в модуль и действует там (ликвидирует открытое горение, проводит АСР) под защитой нагнетаемой струи (рис. 3 д). При сдерживании и тушении пожара нагнетаемый наружный низкотемпературный воздух должен подаваться в верхнюю часть модуля, а попадания его в очаг пожара следует избегать.

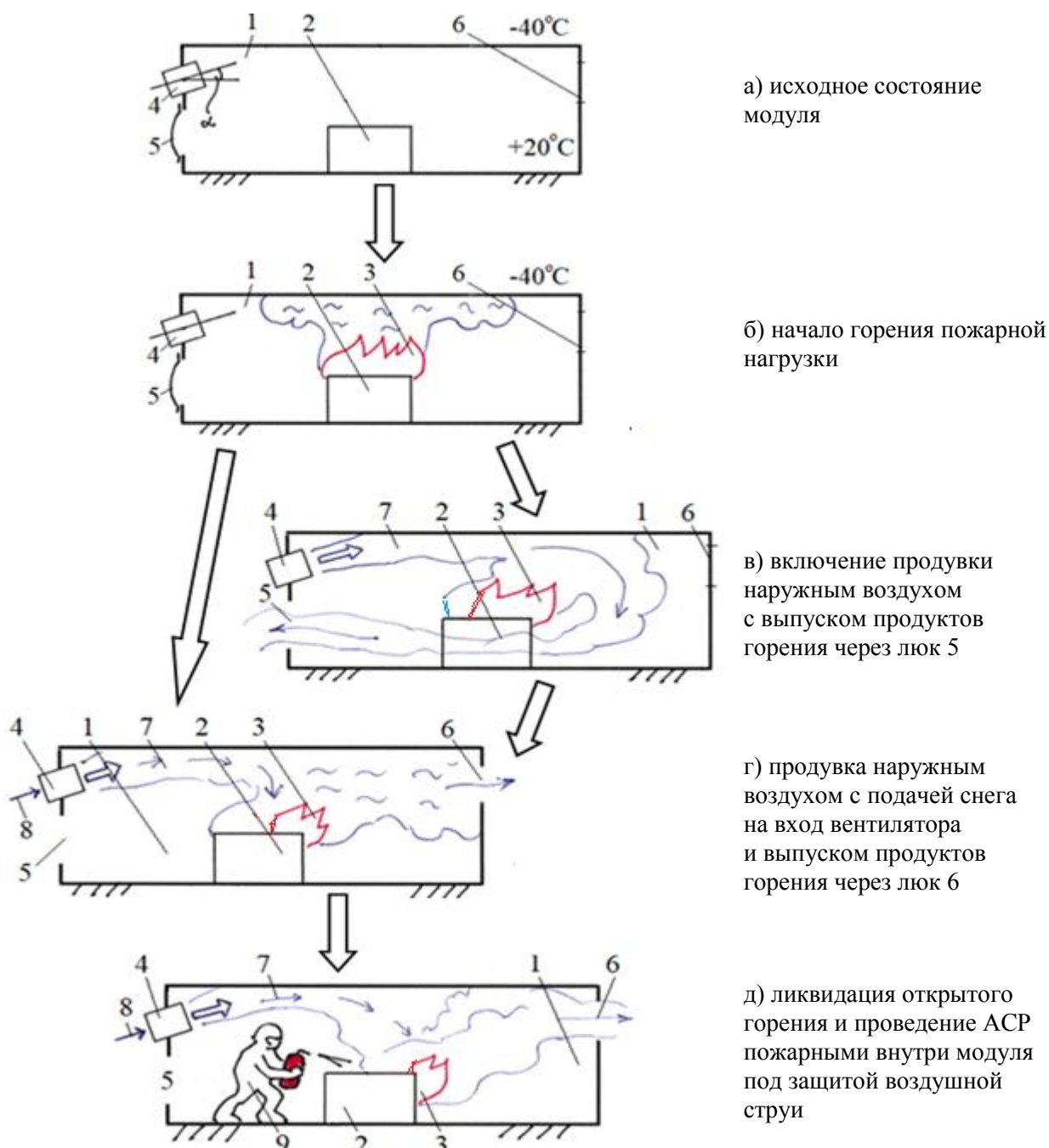


Рис. 3. Этапы тушения пожара в арктическом модуле посредством продувки наружным низкотемпературным воздухом с дозированной подачей снега/воды:

1 – модуль; 2 – пожарная нагрузка; 3 – продукты горения; 4 – вентилятор; 5, 6 – нормально закрытые люки; 7 – воздушная струя; 8 – подача снега/воды; 9 – пожарный;  $\alpha$  – угол управляемого отклонения оси вентилятора

Следует отметить, что схема с обратным выбросом продуктов горения (рис. 3 в) приводит к подавлению горения. Эффективность способа подтверждена теоретическими оценками [2], компьютерным моделированием с использованием полевой модели пожара [18], а также модельным [19] и натурным [20] экспериментами. Предложенный способ безопасен для участников тушения и обеспечивает минимальные повреждения конструкции модуля и оборудования в нём ОФП и излишками огнетушащего вещества.



Таким образом, вышеописанный способ сдерживания и тушения пожара в модуле арктического объекта экономичен (требуется минимальное доукомплектование действующих и проектируемых модулей), обеспечивает максимальную живучесть объекта и является новым пожарно-тактическим приёмом применительно к условиям экстремально низких температур и ограниченности СиС.

### Литература

1. Инфраструктура Сибири, Дальнего Востока и Арктики. Состояние и три этапа развития до 2050 года / под ред. чл.-корр. РАН А.А. Макоско. СПб.: ИПТ РАН, 2019. 468 с.
2. Таранцев А.А., Лосев М.А., Таранцев А.А. История и перспективы освоения Арктической зоны и Крайнего Севера. СПб.: ИПТ РАН, 2020. 48 с.
3. О стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечении национальной безопасности на период до 2035 г.: Указ Президента Рос. Федерации от 26 окт. 2020 г. № 645. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
4. О сухопутных территориях Арктической зоны Российской Федерации: Указ Президента Рос. Федерации от 27 июня 2017 г. № 287. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
5. Социально-экономическое развитие Арктической зоны Российской Федерации: Государственная программа Рос. Федерации (утв. постановлением Правительства Рос. Федерации от 21 апр. 2014 г. № 366; в ред. от 31 авг. 2017 г. № 1064). Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
6. Об исключительной экономической зоне Российской Федерации: Федер. закон от 17 дек. 1998 г. № 191-ФЗ (с изм. и доп.). Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
7. Основы государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2035 года (утв. Президентом Рос. Федерации 5 марта 2020 г. № 164). Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
8. О государственной комиссии по вопросам развития Арктики: Указ Президента Рос. Федерации от 3 февр. 2015 г. № 50. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
9. О Стратегии национальной безопасности Российской Федерации: Указ Президента Рос. Федерации от 31 дек. 2015 г. № 683. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
10. История развития технических средств борьбы с пожарами в условиях низких температур / М.В. Алешков [и др.] // Пожаровзрывобезопасность. 2016. № 11. Т. 25. С. 77–83.
11. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности: Федер. закон Рос. Федерации от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ (с изм.). Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
12. Ishchenko A.D., Tarantsev A.A., Tarantsev A.A. On the survivability of infrastructure facilities in the arctic during fires // CEUR Workshop Proceedings. 2021. Т. 2924. Р. 64–68, 2021 Workshop «Intelligent Transport Systems and Transport Security», ITSTS 2021, St. Petersburg, 14.05.2021 - null, 170904. ISSN 16130073.
13. Моделирование достаточности мобильных подразделений экстренных служб при возникновении ситуаций повышенной сложности / А.А. Таранцев [и др.] // Пожаровзрывобезопасность. 2016. Т. 25. № 10. С. 59–66.
14. Пожарная тактика: учеб. / под ред. Я.С. Повзика. М.: ВИПТШ МВД СССР, 1984. 480 с.
15. Способ тушения пожара в помещении в условиях низких температур и устройство для его реализации: пат. № 2714272 Рос. Федерации, заявл. 13.03.2018 № 2018109002 / А.А. Таранцев, А.А. Таранцев. URL: <https://patenton.ru/patent/RU2714272C2> (дата обращения: 11.08.2021).
16. Способ повышения эффективности тушения пожара в модуле: пат. № 2747410 Рос. Федерация, заявл. 05.08.2020 № 2020126126 / А.Д. Ищенко, А.А. Таранцев, А.А. Таранцев.

URL: <https://patent.ru/patent/RU2714272C2> (дата обращения: 11.08.2021).

17. Боевой устав подразделений пожарной охраны, определяющий порядок организации тушения пожаров и проведения аварийно-спасательных работ (утв. приказом МЧС России от 16 окт. 2017 г. № 444, зарег. в Минюсте Рос. Федерации 20 февр. 2018 г., рег. № 50100). Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

18. О проблеме подавления пожара на удаленных автономных объектах в условиях экстремально низких температур / А.А. Таранцев [и др.] // Пожары и ЧС: предотвращение, ликвидация. 2019. № 2. С. 30–40. DOI: 10.25257/FE.2019.2.30-40.

19. Таранцев А.А., Ищенко А.Д., Таранцев А.А. Об обосновании инновационного способа тушения пожара на объектах инфраструктуры в условиях низких температур // Морские информационные технологии. 2021. № 1 (51). Т. 1. С. 84–89.

20. О новом способе сдерживания и тушения пожаров в арктических модулях / Р.Ш. Бибарсов [и др.] // Актуальные проблемы пожарной безопасности: материалы XXXIII Междунар. науч.-практ. конф. М.: ВНИИПО МЧС России, 2021. С. 777–784.

### References

1. Infrastruktura Sibiri, Dal'nego Vostoka i Arktiki. Sostoyanie i tri etapa razvitiya do 2050 goda / pod red. chl.-korr. RAN A.A. Makosko. SPb.: IPT RAN, 2019. 468 s.

2. Tarancev A.A., Losev M.A., Tarancev A.A. Istoriya i perspektivy osvoeniya Arkticheskoy zony i Krajnego Severa. SPb.: IPT RAN, 2020. 48 s.

3. O strategii razvitiya Arkticheskoy zony Rossijskoj Federacii i obespechenii nacional'noj bezopasnosti na period do 2035 g.: Ukaz Prezidenta Ros. Federacii ot 26 okt. 2020 g. № 645. Dostup iz sprav.-pravovoj sistemy «Konsul'tantPlyus».

4. O suhoputnyh territoriyah Arkticheskoy zony Rossijskoj Federacii: Ukaz Prezidenta Ros. Federacii ot 27 iyunya 2017 g. № 287. Dostup iz sprav.-pravovoj sistemy «Konsul'tantPlyus».

5. Social'no-ekonomicheskoe razvitie Arkticheskoy zony Rossijskoj Federacii: Gosudarstvennaya programma Ros. Federacii (utv. postanovleniem Pravitel'stva Ros. Federacii ot 21 apr. 2014 g. № 366; v red. ot 31 avg. 2017 g. № 1064). Dostup iz sprav.-pravovoj sistemy «Konsul'tantPlyus».

6. Ob isklyuchitel'noj ekonomicheskoy zone Rossijskoj Federacii: Feder. zakon ot 17 dek. 1998 g. № 191-FZ (s izm. i dop.). Dostup iz sprav.-pravovoj sistemy «Konsul'tantPlyus».

7. Osnovy gosudarstvennoj politiki Rossijskoj Federacii v Arktike na period do 2035 goda (utv. Prezidentom Ros. Federacii 5 marta 2020 g. № 164). Dostup iz sprav.-pravovoj sistemy «Konsul'tantPlyus».

8. O gosudarstvennoj komissii po voprosam razvitiya Arktiki: Ukaz Prezidenta Ros. Federacii ot 3 fevr. 2015 g. № 50. Dostup iz sprav.-pravovoj sistemy «Konsul'tantPlyus».

9. O Strategii nacional'noj bezopasnosti Rossijskoj Federacii: Ukaz Prezidenta Ros. Federacii ot 31 dek. 2015 g. № 683. Dostup iz sprav.-pravovoj sistemy «Konsul'tantPlyus».

10. Istoriya razvitiya tekhnicheskikh sredstv bor'by s pozharami v usloviyah nizkih temperatur / M.V. Aleshkov [i dr.] // Pozharovzryvobezopasnost'. 2016. № 11. Т. 25. S. 77–83.

11. Tekhnicheskij reglament o trebovaniyah pozharnej bezopasnosti: Feder. zakon Ros. Federacii ot 22 iyulya 2008 g. № 123-FZ (s izm.). Dostup iz sprav.-pravovoj sistemy «Konsul'tantPlyus».

12. Ishchenko A.D., Tarantsev A.A., Tarantsev A.A. On the survivability of infrastructure facilities in the arctic during fires // CEUR Workshop Proceedings. 2021. Т. 2924. P. 64–68, 2021 Workshop «Intelligent Transport Systems and Transport Security», ITSTS 2021, St. Petersburg, 14.05.2021 - null, 170904. ISSN 16130073.

13. Modelirovanie dostatochnosti mobil'nyh podrazdelenij ekstrennyh sluzhb pri vozniknovenii situacij povyshennoj slozhnosti / A.A. Tarancev [i dr.] // Pozharovzryvobezopasnost'. 2016. Т. 25. № 10. S. 59–66.

14. Pozharnaya taktika: ucheb. / pod red. Ya.S. Povzika. М.: VIPTSH MVD SSSR, 1984. 480 s.

15. Sposob tusheniya pozhara v pomeshchenii v usloviyah nizkih temperatur i ustrojstvo dlya ego realizacii: pat. № 2714272 Ros. Federacii, zayav. 13.03.2018 № 2018109002 / A.A. Tarancev, A.A. Tarancev. URL: <https://patenton.ru/patent/RU2714272C2> (data obrashcheniya: 11.08.2021).

16. Sposob povysheniya effektivnosti tusheniya pozhara v module: pat. № 2747410 Ros. Federaciya, zayav. 05.08.2020 № 2020126126 / A.D. Ishchenko, A.A. Tarancev, A.A. Tarancev. URL: <https://patenton.ru/patent/RU2714272C2> (data obrashcheniya: 11.08.2021).

17. Boevoj ustav podrazdelenij pozharnoj ohrany, opredelyayushchij poryadok organizacii tusheniya pozharov i provedeniya avarijno-spasatel'nyh rabot (utv. prikazom MCHS Rossii ot 16 okt. 2017 g. № 444, zareg. v Minyuste Ros. Federacii 20 fevr. 2018 g., reg. № 50100). Dostup iz sprav.-pravovoj sistemy «Konsul'tantPlyus».

18. O probleme podavleniya pozhara na udalennyh avtonomnyh ob"ektah v usloviyah ekstremal'no nizkih temperatur / A.A. Tarancev [i dr.] // Pozhary i CHS: predotvrashchenie, likvidaciya. 2019. № 2. S. 30–40. DOI: 10.25257/FE.2019.2.30-40.

19. Tarancev A.A., Ishchenko A.D., Tarancev A.A. Ob obosnovanii innovacionnogo sposoba tusheniya pozhara na ob"ektah infrastruktury v usloviyah nizkih temperatur // Morskie informacionnye tekhnologii. 2021. № 1 (51). T. 1. S. 84–89.

20. O novom sposobe sderzhivaniya i tusheniya pozharov v arkticheskikh modulyah / R.Sh. Bibarsov [i dr.] // Aktual'nye problemy pozharnoj bezopasnosti: materialy HKHKHIII Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. M.: VNIPO MCHS Rossii, 2021. S. 777–784.

УДК 614.841.2.001.2

## КОМПЛЕКСНАЯ МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ СТЕПЕНИ ТЕРМИЧЕСКОГО ПОРАЖЕНИЯ СТАЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ АВТОТРАНСПОРТА

**Г.А. Сикорова.****Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Обосновывается применение комплексной методики исследования корпуса сгоревшего автомобиля для определения места возникновения пожара. Возможность достоверного установления очага пожара, позволит определить причину, приведшую к загоранию. Впоследствии, на основе анализа данной информации, можно делать выводы об эффективности всех мер, направленных на повышение пожарной безопасности транспортных средств.

*Ключевые слова:* очаг пожара, корпус автомобиля, термические изменения, полевые методы, комплексная методика, магнитные свойства, твёрдость

## COMPREHENSIVE METHOD OF STUDYING THE DEGREE OF THERMAL DAMAGE OF STEEL ELEMENTS OF MOTOR TRANSPORT

G.A. Sikorova. Saint Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

The application of a comprehensive technique for examining the body of a burned-out car to determine the place of fire is substantiated. The possibility of reliably establishing the source of the fire will also determine the cause that led to sunbathe. Subsequently, based on the analysis of this information, conclusions can be drawn on the effectiveness of all measures aimed at improving the fire safety of vehicles.

*Keywords:* fire center, car body, thermal changes, field methods, complex technique, magnetic properties, hardness

### Введение

Автомобильный парк России неуклонно растёт, увеличение количества транспортных средств происходит в основном за счет покупки личных легковых автомобилей, расширения списков маршрутных такси в крупных городах. Эти тенденции несколько снизились в период пандемии коронавируса, но общественная жизнь постепенно возвращается в привычное русло, перемещения активизируются с новой силой.

По статистике, ежегодно предоставляемой Министерством Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий (МЧС России), за 2020 г. произошло 439 394 пожаров, погибло 8 313 человек, прямой ущерб исчисляется 20 876 301 руб. Количество пожаров на транспорте составило 3,88 % от общего количества по стране, при этом погибло 120 человек, ущерб составил 2 460 011 руб.

Несмотря на то, что всего по стране на пожары, связанные с транспортными средствами, приходится 3,88 %, в абсолютных значениях это внушительная цифра – 17 063 пожара. Из них грузовые машины горели 2 191 раз, автобусы – 377, трамваи – 32 и троллейбусы – 19, мототранспорт – 137 раз. Железнодорожный транспорт горел в общей сложности 120 раз, а прочие транспортные средства пострадали от огня 1 425 раз (рис. 1). Наибольшее число пожаров из года в год приходится на легковой транспорт, в 2020 г. эта цифра составила 12 756 единиц (рис. 1) [1, 2].



Рис. 1. Количество пожаров по видам транспортных средств, произошедших в Российской Федерации за 2020 г.

Быстрое развитие горения при пожаре на автомобиле, обусловленное большим количеством постоянной и переменной горючей нагрузки, зачастую приводит к полному выгоранию, поэтому при установлении очага пожара в качестве объекта, несущего значимую информацию о признаках очага и направлении развития горения, остается только поврежденный стальной корпус. Изменения, которые происходят при нагреве в таких объектах, можно проследить с помощью исследования свойств, зависящих от структуры материала, к которым можно отнести магнитные характеристики. Современные методики пожарно-технического исследования сгоревших автомобилей, реализуемые в судебно-экспертных учреждениях МЧС России, предполагают использование коэрцитиметров [3]. Для получения достоверных данных о степени термического воздействия на крупногабаритные стальные конструкции целесообразно использовать не один, а несколько методов в комплексе. Процессы рекристаллизации в структуре холоднодеформированных стальных изделий, таких как корпус автомобиля, несомненно, будут оказывать влияние на твердость стали. Появление на рынке портативных твердомеров позволяет реализовать данный метод непосредственно на месте пожара. Внедрение данного метода в комплексе с уже существующими предполагает проведение большого объема исследований, позволяющих оценить его эффективность и рекомендовать его для внедрения в экспертную практику [4, 5].

### Исследование легкового автомобиля после пожара

Используемая в работе методика исследования включала последовательное применение двух методов исследования: измерение токов размагничивания ( $I_p$ ), с помощью импульсного коэрцитиметра КИМ-2М и измерения твердости, с помощью твердомера полевого прибора ТЭМП-4 (электронного твердомера) по шкале Бринелля. Оба метода требуют предварительной подготовки поверхности, заключающейся в ее очистке от остатков лакокрасочного покрытия и слоев образовавшегося слоя окалины. Методика работы на твердомере предусматривает более жесткие требования к шероховатости поверхности ( $Ra 2,5$ ), этот результат достигается при помощи наждачной бумаги Р 800 и мелче. Схема проведения исследования состояла в зашлифовке поверхности корпуса в точках проведения измерений и дальнейшем снятии показаний вначале коэрцитиметром, затем твердомером. В каждой точке показатели замерялись по семь раз, за результат принималось значение среднего арифметического полученных измеренных значений [6–8].

В практике пожарно-технической экспертизы при использовании инструментальных методов практически никогда не приводятся абсолютные значения измеренных величин. При формулировке выводов об очаге пожара гораздо чаще используют относительные показатели, связано это с тем, что получаемая информация носит сравнительный характер, главная задача сравнить различные свойства материалов, сохранившихся на пожаре между собой, и выявить области максимальных и минимальных термических воздействий. Обычно полученные данные нормируют относительно результатов исследования аналогичных материалов, не подвергнутых термическому воздействию. В случае сгоревшего автомобиля такой подход нельзя применять, поскольку найти не поврежденный огнем участок, ввиду динамики горения и локальности объекта, не представляется возможным.

В работе использовали приведенные параметры относительно минимальных из полученных значений. Такой подход был выбран потому, что как величина токов размагничивания, так и твердость сталей, применяемых для изготовления корпусов автомобилей, при увеличении степени отжига снижаются, следовательно, в точке максимальных термических поражений относительный показатель будет равен 1. Такой подход позволит сопоставить результаты, полученные разными методами, и сделать вывод об эффективности для совместного использования.

В качестве объекта для отработки предлагаемой схемы исследования был выбран полностью сгоревший легковой автомобиль Audi (рис. 2), определить конкретную модель не представилось возможным из-за тотального выгорания. На корпусе автомобиля по всему периметру были намечены 12 зон для снятия показателей.



а)



б)



в)

Рис. 2. Сгоревший автомобиль Audi: а) правая сторона; б) багажный отсек; в) моторный отсек

Полученные данные измерения тока размагничивания и твердости стального корпуса, а также результаты расчета относительных показателей приведены в таблице.

Таблица. Данные измерения тока размагничивания и твердости стального корпуса, а также результаты расчета относительных показателей

№ точки замера	Ток размагничивания, мА	Относительная величина $I_p/I_{p\ min}$	Твердость по Бринеллю, НВ	Относительная величина $HВ/HВ_{\min}$
1	0,032	1,03	199	1,02
2	0,031	1,00	196	1,00
3	0,036	1,16	225	1,15
4	0,052	1,68	242	1,23
5	0,055	1,77	256	1,31
6	0,058	1,87	282	1,44
7	0,060	1,94	273	1,39
8	0,056	1,81	247	1,26
9	0,053	1,71	240	1,22
10	0,051	1,65	232	1,18
11	0,040	1,29	201	1,03
12	0,043	1,39	216	1,10

По результатам, полученным с полевого коэрцитиметра зоны наибольшего теплового воздействия в точках 1, 2, 3 и 11, 12, участок максимального термического поражения находится в правой части моторного отсека (точки 1, 2 и 3), левая часть моторного отсека отожжена чуть меньше (точки 11 и 12). Метод измерения микротвердости показал, что к зонам наибольшего теплового воздействия также относятся точки 1 и 2 (правая часть моторного отсека), также к таким зонам можно отнести области расположения точек 11 и 12 (левая часть моторного отсека). Остальная часть корпуса характеризуется меньшей степенью термического поражения.

Для наглядности полученные данные представлены в виде рисунка, где цветом отмечены зоны, отличающиеся степенью термического воздействия (рис. 3)

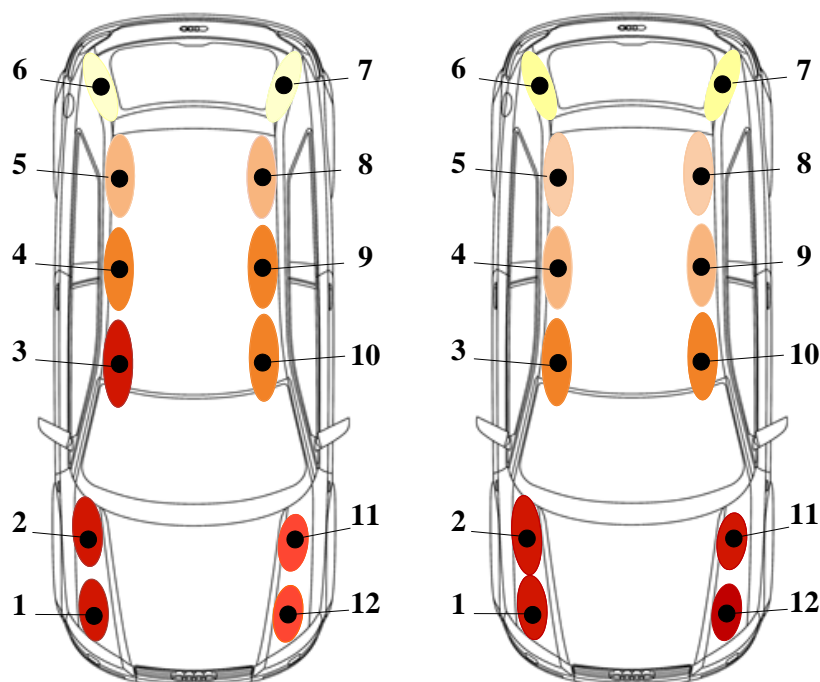


Рис. 3. Зоны термического воздействия на корпус автомобиля

Полученные двумя выбранными методами данные не противоречат друг другу, судя по ним горение начало развиваться в моторном отсеке и затем перешло в салон и багажное отделение. Полученные в работе результаты показали, что использование коэрцитиметра и твердомера по отдельности позволяет выявить несколько зон на корпусе, соответствующих максимальному отжигу на пожаре, совместное их применение и сравнительный анализ полученных данных приводит к уточнению картины распределения зон термических поражений [6–11].

### Заключение

Таким образом, сопоставление и совместное использование результатов исследования величины тока размагничивания и твердости корпуса сгоревшего автомобиля позволяют более локально выявить зоны максимальных термических поражений. Взаимно дополняя друг друга, выбранные методы позволяют получить больший объем аналитической информации, необходимой для формирования достоверных выводов о месте первоначального возникновения горения при исследовании пожаров на автомобилях.

### Литература

1. Пожары и пожарная безопасность в 2020 году: стат. сборник / под общ. ред. Д.М. Гордиенко. М.: ВНИИПО, 2021. 112 с.
2. О состоянии защиты населения и территорий Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в 2020 году: Гос. доклад. М.: МЧС России. ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2021. 264 с.
3. Экспертиза пожаров: учеб. / М.А. Галишев [и др.]. СПб.: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России, 2013. 294 с.
4. Пожарно-техническая экспертиза: учеб. / М.А. Галишев [и др.]. СПб.: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России, 2014. 453 с.
5. Чешко И.Д. Экспертиза пожаров (объекты, методы, методики исследования) / под науч. ред. канд. юрид. наук Н.А. Андреева. СПб.: СПбИПБ МВД России, 1997. 562 с.
6. Чешко И.Д., Плотников В.Г. Анализ экспертных версий возникновения пожара. СПб.: Типография «Береста», 2010. Кн. 1. 708 с.
7. Оценка эффективности принятия решений по повышению пожарной безопасности на открытых автостоянках / Ю.Д. Моторыгин [и др.] // Пожаровзрывобезопасность. 2017. Т. 26. № 1. С. 25–31.
8. Полевые инструментальные методы исследования объектов пожарно-технической экспертизы: учеб. пособие / Г.А. Сикорова [и др.]. СПб.: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России, 2018. 136 с.
9. Сысоева Т.П., Бельшина Ю.Н. Эффективность применения портативных приборов при исследовании пожаров на автотранспорте // Технологии техносферной безопасности. 2015. № 1 (59). С. 83–88.
10. Сысоева Т.П., Бельшина Ю.Н., Галишев М.А. Комплексная методика анализа окрашенных стальных элементов автомобиля на основе полевых методов исследования // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петербург. ун-та ГПС МЧС России». 2015. № 1. С. 53–61.
11. Елисеев Ю.Н., Скодтаев С.В., Сысоева Т.П. Динамика пожаров легковых автомобилей // Проблемы управления рисками в техносфере. 2018. № 2 (46). С. 127–132.

### References

1. Pozhary i požarnaya bezopasnost' v 2020 godu: stat. sbornik / pod obshch. red. D.M. Gordienko. M.: VNIIPPO, 2021. 112 s.
2. O sostoyanii zashchity naseleniya i territorij Rossijskoj Federacii ot chrezvychajnyh situacij prirodnogo i tekhnogenennogo haraktera v 2020 godu: Gos. доклад. M.: MCHS Rossii. FGBU VNI GOCHS (FC), 2021. 264 s.



3. Ekspertiza pozharov: ucheb. / M.A. Galishev [i dr.]. SPb.: S.-Peterb. un-t GPS MCHS Rossii, 2013. 294 s.
4. Pozharno-tekhnicheskaya ekspertiza: ucheb. / M.A. Galishev [i dr.]. SPb.: S.-Peterb. un-t GPS MCHS Rossii, 2014. 453 s.
5. Cheshko I.D. Ekspertiza pozharov (ob"ekty, metody, metodiki issledovaniya) / pod nauch. red. kand. jurid. nauk N.A. Andreeva. SPb.: SPbIPB MVD Rossii, 1997. 562 s.
6. Cheshko I.D., Plotnikov V.G. Analiz ekspertnyh versij vzniknoveniya pozhara. SPb.: Tipografiya «Beresta», 2010. Kn. 1. 708 s.
7. Ocenka effektivnosti prinyatiya reshenij po povysheniyu pozharnoj bezopasnosti na otkrytyh avtostoyankah / Yu.D. Motorygin [i dr.] // Pozharovzryvobezopasnost'. 2017. T. 26. № 1. S. 25–31.
8. Polevye instrumental'nye metody issledovaniya ob"ektov pozharno-tekhnicheskoy ekspertizy: ucheb. posobie / G.A. Sikorova [i dr.]. SPb.: S.-Peterb. un-t GPS MCHS Rossii, 2018. 136 s.
9. Sysoeva T.P., Bel'shina Yu.N. Effektivnost' primeneniya portativnyh priborov pri issledovanii pozharov na avtotransporte // Tekhnologii tekhnosfernoj bezopasnosti. 2015. № 1 (59). S. 83–88.
10. Sysoeva T.P., Bel'shina Yu.N., Galishev M.A. Kompleksnaya metodika analiza okrashennyh stal'nyh elementov avtomobilya na osnove polevyh metodov issledovaniya // Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MCHS Rossii». 2015. № 1. S. 53–61.
11. Eliseev Yu.N., Skodtaev S.V., Sysoeva T.P. Dinamika pozharov legkovykh avtomobilej // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2018. № 2 (46). S. 127–132.

УДК 614.845

## **ВЛИЯНИЕ НАСАДКА С ВНУТРЕННЕЙ СПИРАЛЬНОЙ НАРЕЗКОЙ НА ФОРМИРОВАНИЕ ГАЗОПОРОШКОВОГО ПОТОКА**

**А.С. Константинова.****Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Представлен насадок с внутренней спиральной нарезкой для порошкового огнетушителя, позволяющий повысить огнетушащий эффект. Проведена аналогия между силами, действующими на частицу порошка при прохождении вдоль канавок нарезки, и силами, действующими на частицу воды в колесе центробежного насоса. Приведены результаты огневых испытаний огнетушителя, оснащенного разработанным насадком.

*Ключевые слова:* насадок с внутренней спиральной нарезкой, закрутка потока, огневые испытания, порошковый огнетушитель

## **INFLUENCE OF A PACKING WITH AN INTERNAL SPIRAL THREAD ON THE FORMATION OF A GAS-POWDER STREAM**

A.S. Konstantinova. Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

A nozzle with an internal spiral thread for a powder fire extinguisher is presented, which allows to increase the fire extinguishing effect. An analogy is drawn between the forces acting on a powder particle when passing along the groove grooves and the forces acting on a water particle in a centrifugal pump wheel. The results of fire tests of a fire extinguisher equipped with the developed nozzle are presented.

*Keywords:* nozzles with internal spiral thread, swirling flow, fire tests, dry powder fire extinguisher

Экспериментально определено [1, 2], что существенный вклад в эффект тушения очага пожара газопорошковой струей вносит механизм срыва пламени. Таким образом, возникает задача сохранения скорости газопорошкового потока при движении его к очагу горения. Добиться этого можно путём снижения потерь энергии частицами порошка из-за турбулентных завихрений потока на выходе из насадка огнетушителя.

По аналогии со стволом нарезного оружия [3, 4] автором разработан насадок на огнетушитель с внутренней спиральной нарезкой, далее – нарезной насадок (рис. 1).

В поперечном сечении газопорошкового потока, движущегося через такой насадок, можно условно выделить две области: периферийную, подверженную закрутке, и центральную (осевую), движущуюся прямолинейно и имеющую более высокую скорость, чем периферийная. На выходе из насадка закрученный периферийный поток окружает центральную часть газопорошковой струи, повышая ее компактность и сохраняя скорость, достаточную для тушения очага горения, на большем расстоянии.

Эффект закрутки потока рассмотрен в работе [5] (применительно к центробежному насосу). В этой работе исследовано влияние закрутки потока жидкости на входе в центробежный насос и оценена эффективность метода повышения эксплуатационных показателей насоса путём устранения закрутки потока. Далее рассмотрены силы, действующие на частицу порошка при прохождении вдоль канавок нарезки, и проведена аналогия с силами, действующими на частицу воды в центробежном насосе.

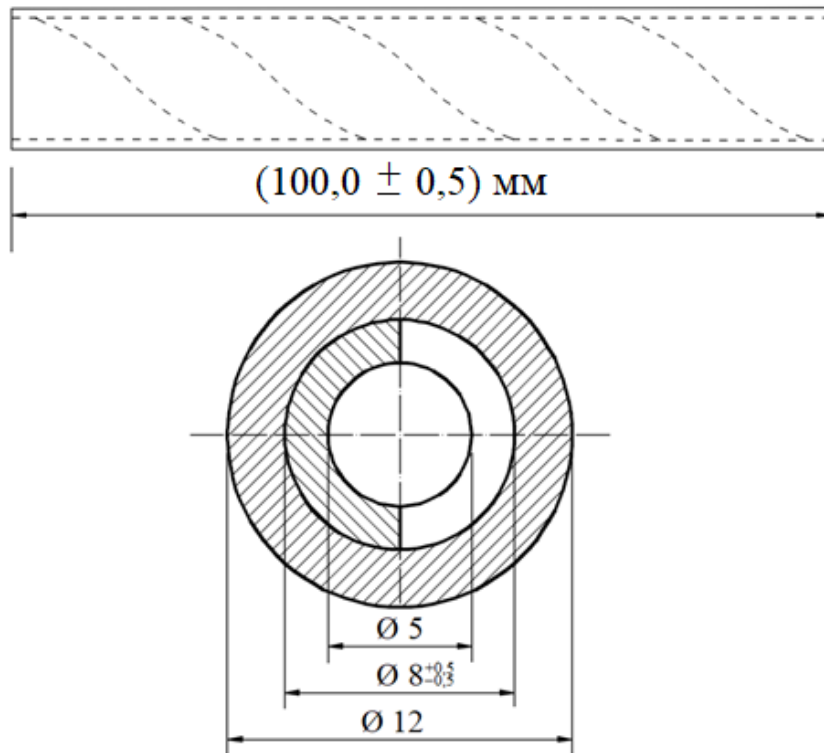


Рис. 1. Нарезной насадок

Жидкость поступает в колесо насоса при некотором значении угла атаки. Под углом атаки понимают геометрический угол, образованный хордой лопатки колеса насоса и касательной к ней. Струйка жидкости, войдя в контакт с колесом центробежного насоса, совершает после этого сложное движение, одновременно вращаясь с колесом и перемещаясь вдоль его лопаток от входа к выходу (рис. 2).

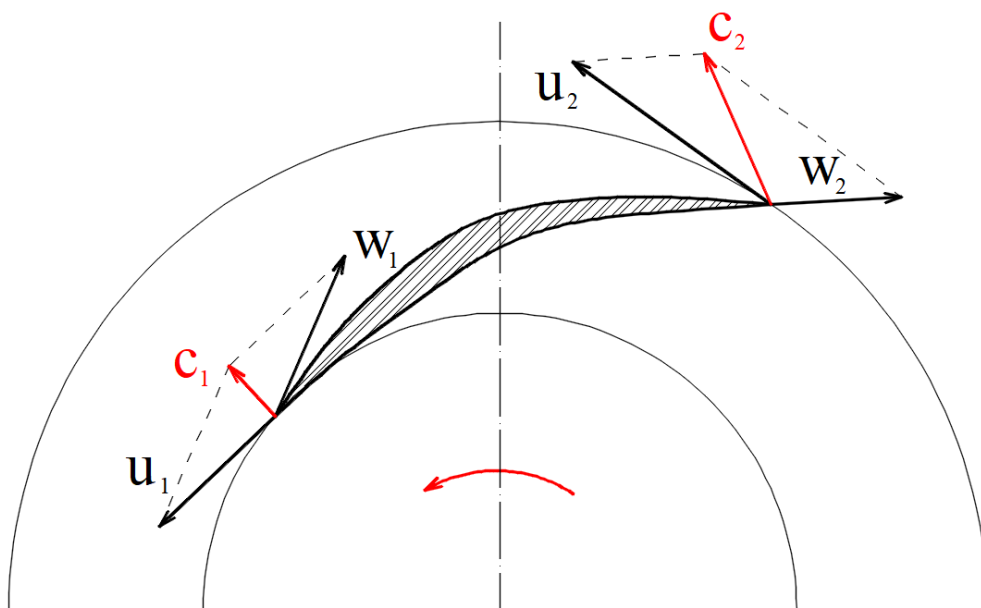


Рис. 2. Векторы скоростей частицы воды в центробежном насосе:  
 $u_1$  и  $u_2$  – окружные скорости частицы на входе в колесо и на выходе из него соответственно;  
 $w_1$  и  $w_2$  – относительные скорости частицы (направлены по касательным к лопатке);  
 $c_1$  и  $c_2$  – абсолютные скорости частицы

Поскольку оптимальным значениям подачи и напора соответствует максимум КПД, то всякие отклонения от их значений связаны с ухудшением экономичности эксплуатации. Следовательно, для обеспечения высокой экономичности эксплуатации насосного агрегата необходимо создать такие условия, чтобы отсутствовала закрутка потока жидкости на входе в насос.

Представим насадок с внутренней нарезкой в виде развертки, разрезав его вдоль образующей (рис. 3).

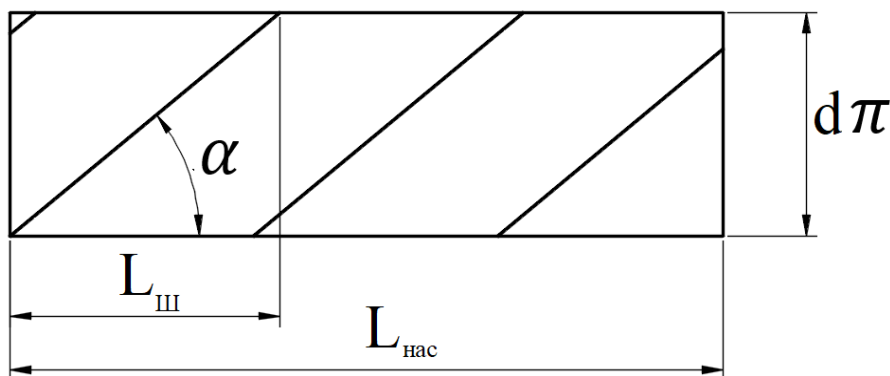


Рис. 3. Развертка нарезного насадка:

$L_{III}$  – длина шага нарезки;  $d$  – диаметр шланга;  $L_{нас}$  – длина насадка;  $\alpha$  – угол наклона канавок нарезки к образующей

Для движения частицы порошка внутри нарезного насадка аналогией окружной скорости  $U_1$  частицы воды в рабочем колесе будет скорость движения частицы порошка вдоль оси насадка (рис. 4). Аналогией относительной скорости  $W$  частицы воды будет вектор  $W_{II}$ , отражающий воздействие на частицу нарезки.

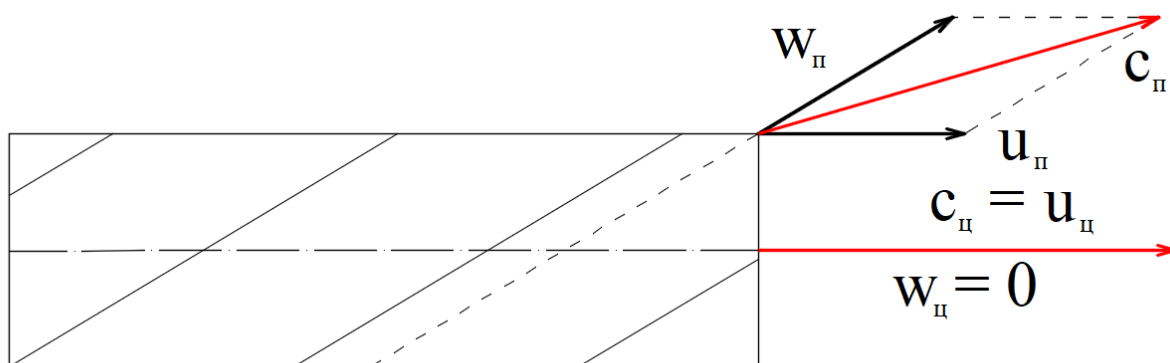


Рис. 4. Векторы скоростей частицы порошка в нарезном насадке:

$u_1$  и  $u_2$  – осевые скорости частицы на входе в насадок и на выходе из него соответственно;  
 $w_1$  и  $w_2$  – относительные скорости частицы (направлены по касательным к канавкам нарезки);  
 $c_1$  и  $c_2$  – абсолютные скорости частицы

С увеличением угла  $\alpha$  ( $\sin \alpha$ ) растет сопротивление насадка, следовательно, увеличиваются потери энергии. Это объясняет экспериментально установленный худший эффект тушения при использовании насадка с шагом нарезки 15 мм относительно насадка с шагом нарезки 20 мм.

Проведена аналогия количества лопаток рабочего колеса и количества нитей нарезки насадка. На рис. 5 графически изображено распределение скоростей в каналах рабочего колеса центробежного насоса.

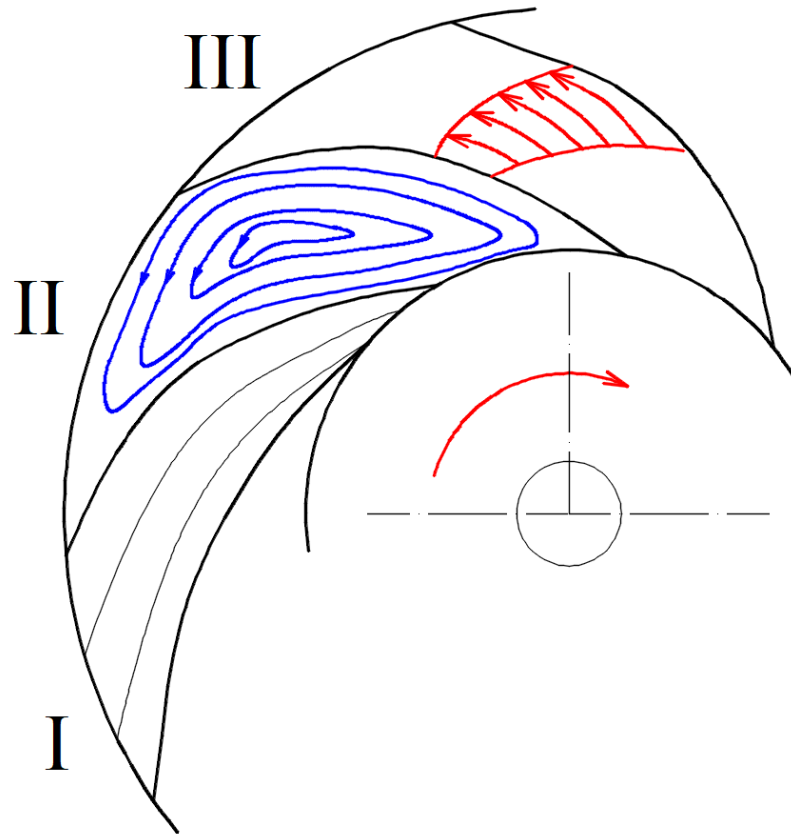


Рис. 5. Распределение скоростей в каналах рабочего колеса:

I – идеальный случай (бесконечно большое число бесконечно тонких лопаток);  
 II – относительный вихрь жидкости между лопатками; III – распределение скоростей жидкости, вызванное неравномерностью давления лопаток на жидкость

На рис. 6 представлено распределение скоростей частицы порошка в зависимости от удаления от поверхности спиральной нарезки.

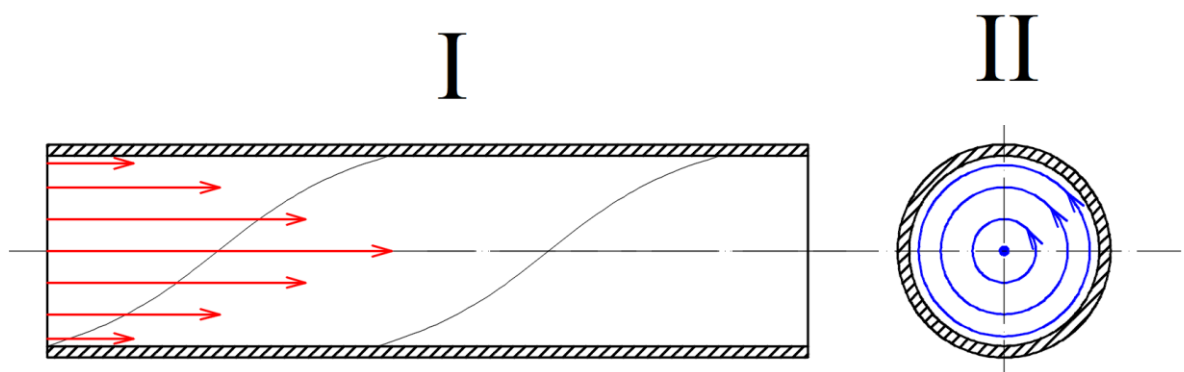


Рис. 6. Распределение скоростей частиц порошка в нарезном насадке:

I – распределение осевых скоростей частиц при удалении от стенок насадки; II – распределение касательных скоростей частиц при удалении от стенок насадка

Для насадка бесконечное число нитей нарезки означает гладкую поверхность насадка – в этом случае потери минимальны.

Центробежный насос используют для преобразования вращательного движения рабочего колеса в поступательное движение перекачиваемой жидкости. Нарезной насадок служит обратной цели – использование поступательного движения порошка (энергия давления вытесняющего газа в огнетушителе) для придания потоку вращательного движения. Для этого вместо подвижного рабочего колеса используют неподвижный элемент насадка – внутреннюю спиральную нарезку.

Для центробежного насоса закрутка потока жидкости при входе в рабочую полость имеет отрицательный эффект (снижает КПД). Нарезной насадок положительно влияет на газопорошковый поток, снижая его турбулентность на выходе из насадка и улучшая тем самым огнетушащий эффект.

Проведена экспериментальная оценка эффективности тушения жидких углеводородов при подаче огнетушащего порошкового состава с применением нарезного насадка.

В эксперименте использовано следующее оборудование:

- установка для определения огнетушащего эффекта порошка в поперечном сечении газопорошкового потока [6, 7];
- огнетушитель ОП-1(з)-ВСЕ, изготовитель ООО «Ярпожинвест», г. Ярославль, рабочее давление огнетушителя 1,4 $\pm$ 0,2 МПа;
- насадки с различными характеристиками – с внутренней нарезкой и с гладкой внутренней поверхностью (рис. 7), различной длины (50, 100, 150 мм) и с различным шагом нарезки (15 и 20 мм).

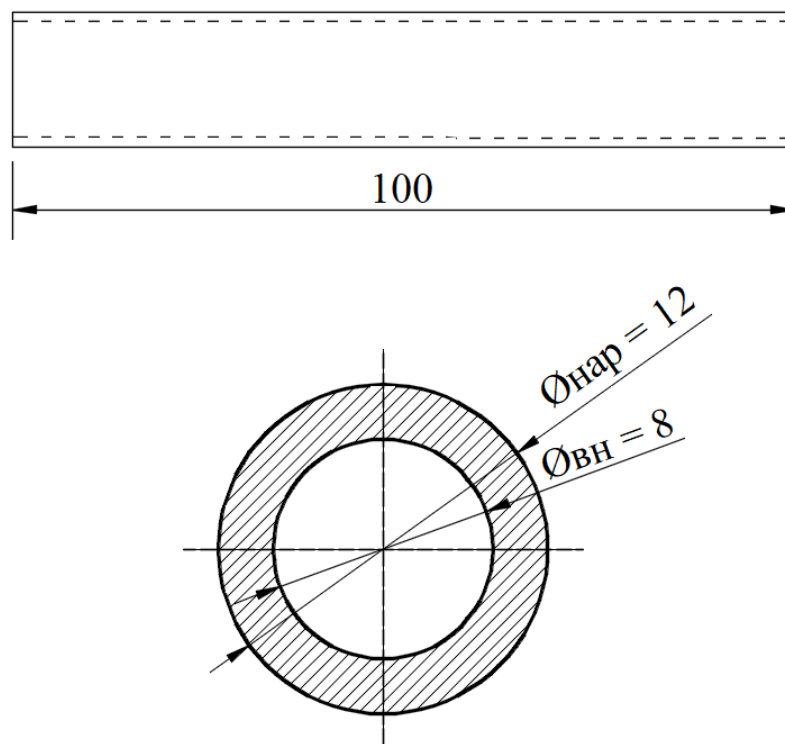


Рис. 7. Гладкий насадок

В ходе экспериментов огнетушитель устанавливали на заданном расстоянии от плоскости расположения экспериментальных очагов под заданным углом к горизонту. Экспериментальные очаги установки заполняли горючим – растворителем-646 [8, 9], поджигали и осуществляли подачу порошка к установке. Ход экспериментов фиксировали с помощью видеозаписи.

На основании данных эксперимента построены графики зависимости огнетушащего эффекта от длины насадка и от шага нарезки (табл.).

Таблица. Количество потушенных очагов в зависимости от длины насадка и шага нарезки

		Шаг нарезки, мм			Суммарное количество потушенных очагов для заданной длины насадка
		15	20	Без нарезки	
Длина насадка, мм	50	8	13	13	34
	100	11	13	12	36
	150	5	9	10	24
Суммарное количество потушенных очагов для заданного шага нарезки		24	35	35	–

Из данных таблицы видно, что наилучшие результаты получены при использовании насадка средней длины (100 мм) с шагом нарезки 20 мм. Худшие результаты получены при использовании насадков длиной 150 мм с шагом нарезки 15 мм.

На основании анализа протоколов экспериментов и просмотра видеозаписей сделаны следующие выводы:

- при использовании нарезного насадка формируется более компактный газопорошковый поток (с меньшей площадью поперечного сечения), который при этом обладает большей дальностью полета струи;

- наибольшее отличие при подаче порошка с нарезным насадком и при его отсутствии можно наблюдать на расстоянии 3 м – в первом случае потушено в три раза больше очагов. На основании того, что при прохождении газопорошкового потока через зону горения параллельно поверхности горючей жидкости наибольший вклад в тушение вносит эффект срыва пламени, можно предположить, что разница в количестве потушенных очагов возникает из-за большей скорости потока при применении насадка;

- при использовании нарезного насадка на видеозаписи видно закручивание потока при его движении к очагу пожара;

- при применении нарезного насадка длиной 100 мм скорость потока выше, чем при использовании более коротких насадков [10];

- с уменьшением насыпной плотности порошка (то есть с увеличением доли крупных фракций) растет компактность и эффективная дальность струи.

Полученные результаты создают основу для совершенствования методики определения огнетушащей способности порошковых составов.

### Литература

1. Константинова А.С., Кожевин Д.Ф., Поляков А.С. Экспериментальное определение преобладающего механизма тушения горения углеводородов порошковым составом // Актуальные проблемы пожарной безопасности, предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций: материалы XI Междунар. науч.-практ. конф. Кокшетау: КТИ МЧС РК, 2020. С. 73–76.

2. Константинова А.С., Поляков А.С. О необходимости учета преобладающего механизма тушения при испытаниях огнетушащих порошков // Обеспечение безопасности жизнедеятельности: проблемы и перспективы: сб. материалов XV Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых: в 2-х т. Минск: УГЗ, 2021. Т. 1. Ч. 2. С. 369–370.

3. Трофимов В.Н., Трофимов А.В. Современные охотничьи боеприпасы для нарезного оружия. Гильзы, пороха, капсюли, пули, патроны, элементы баллистики: справ. М.: Изд. дом Рученькиных, 2003. 352 с.

4. Миньков С.И., Тетера В.А. Патроны для охотничьего нарезного оружия. Каталог-справочник. Киров: Изд-во «ВНИИОЗ», 1997.

5. Поляков А.С., Макаров В.Г., Квашнин Б.С. Руководство к лабораторным работам по дисциплине «Техника службы горючего». Л.: Военная ордена Ленина Академия тыла и транспорта, 1989. Ч. 1.

6. Константинова А.С., Кожевин Д.Ф., Поляков А.С. Система экспериментальных очагов пожара: пат. РФ RU 2749639 С1, заяв. № 2020130295 от 14.09.2020; опубли. 16.06.2021, Бюл. № 17.

7. Установка для определения распределения частиц огнетушащего порошка в поперечном сечении нестационарного газового потока / А.С. Константинова [и др.] // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2020. № 4 (19). С. 20–24.

8. Константинова А.С., Поляков А.С. О выборе продуктов нефтепереработки для системы экспериментальных очагов пожара при определении огнетушащей эффективности порошковых составов // Нефтепереработка и нефтехимия. 2021. № 7. С. 41–46.

9. Пожаровзрывобезопасность веществ и материалов и средства их тушения: справ. изд.: в 2-х кн. / А.Н. Баратов [и др.]. М.: Химия, 1990. Кн. 2. 384 с.

10. Константинова А.С., Поляков А.С. Комплексная оценка полезности насадка с внутренней спиральной нарезкой при порошковом пожаротушении // Техносферная безопасность. 2021. № 3. С. 3–13.

### References

1. Konstantinova A.S., Kozhevin D.F., Polyakov A.S. Eksperimental'noe opredelenie preobladayushchego mekhanizma tusheniya goreniya uglevodorodov poroshkovym sostavom // Aktual'nye problemy pozharnoj bezopasnosti, preduprezhdeniya i likvidacii chrezvychnykh situacij: materialy XI Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. Kokshetau: KTI MCHS RK, 2020. S. 73–76.

2. Konstantinova A.S., Polyakov A.S. O neobходимosti ucheta preobladayushchego mekhanizma tusheniya pri ispytaniyah ognetushashchih poroshkov // Obespechenie bezopasnosti zhiznedeyatel'nosti: problemy i perspektivy: sb. materialov XV Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. molodyh uchenyh: v 2-h t. Minsk: UGZ, 2021. T. 1. Ch. 2. S. 369–370.

3. Trofimov V.N., Trofimov A.V. Sovremennye ohotnich'i boepripasy dlya narezного оруzhiya. Gil'zy, poroha, kapsyuli, puli, patrony, elementy ballistiki: sprav. M.: Izd. dom Ruchen'kinyh, 2003. 352 s.

4. Min'kov S.I., Tetera V.A. Patrony dlya ohotnich'ego narezного оруzhiya. Katalog-spravochnik. Kirov: Izd-vo «VNIIOZ», 1997.

5. Polyakov A.S., Makarov V.G., Kvashnin B.S. Rukovodstvo k laboratornym rabotam po discipline «Tekhnika sluzhby goryuchego». L.: Voennaya ordena Lenina Akademiya tyla i transporta, 1989. Ch. 1.

6. Konstantinova A.S., Kozhevin D.F., Polyakov A.S. Sistema eksperimental'nyh ochagov pozhara: pat. RF RU 2749639 С1, zayav. № 2020130295 ot 14.09.2020; opubl. 16.06.2021, Byul. № 17.

7. Ustanovka dlya opredeleniya raspredeleniya chastic ognetushashchego poroshka v poperechnom sechenii nestacionarnogo gazovogo potoka / A.S. Konstantinova [i dr.] // Sibirskij pozharно-spasatel'nyj vestnik. 2020. № 4 (19). S. 20–24.

8. Konstantinova A.S., Polyakov A.S. O vybore produktov neftepererabotki dlya sistemy eksperimental'nyh ochagov pozhara pri opredelenii ognetushashchej effektivnosti poroshkovyh sostavov // Neftepererabotka i neftekhimiya. 2021. № 7. S. 41–46.

9. Pozharovzryvobezopasnost' veshchestv i materialov i sredstva ih tusheniya: sprav. izd.: v 2-h kn. / A.N. Baratov [i dr.]. M.: Himiya, 1990. Kn. 2. 384 s.

10. Konstantinova A.S., Polyakov A.S. Kompleksnaya ocenka poleznosti nasadka s vnutrennej spiral'noj narezkoj pri poroshkovom pozharotushenii // Tekhnosfernaya bezopasnost'. 2021. № 3. S. 3–13.



УДК 004.031

## АРХИТЕКТУРА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЕМ РЕГИОНАЛЬНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ГОСУДАРСТВЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

**Д.В. Кучеренко.****Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

В настоящее время уделяется значительное внимание вопросам информатизации органов государственной власти, в том числе реализации различных электронных сервисов для граждан и бизнес-сообщества, позволяющих вывести взаимодействие с государством на качественно новый уровень. Актуальным остается вопрос создания и управления единым информационным пространством, необходимым для решения задач комплексной автоматизации, а также решения задач создания «умного» города.

В статье рассмотрена архитектура системы управления развитием региональной инфраструктуры государственных информационных систем, цели ее создания, функциональная структура, решаемые задачи, а также проект схемы взаимодействия государственных информационных систем в информационной инфраструктуре региона.

*Ключевые слова:* государственные информационные системы, информатизация органов власти, архитектура информационных систем, концепция региональной информатизации

## THE ARCHITECTURE OF THE DEVELOPMENT MANAGEMENT SYSTEM OF THE REGIONAL INFRASTRUCTURE OF STATE INFORMATION SYSTEMS

D.V. Kucherenko. Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

At present, considerable attention is paid to the issues of informatization of public authorities, including the implementation of various electronic services for citizens and the business community, allowing to bring interaction with the government in a qualitatively new level. The issue of creating and managing a unified information space, necessary for solving complex automation problems, as well as solving the problems of creating a «smart» city stay actual as well.

The article discusses the architecture of the management system for the development of the regional infrastructure of state information systems, the goals of its creation, the functional structure, the tasks to be solved, as well as a draft scheme for the interaction of state information systems in the information infrastructure of the region.

*Keywords:* state information systems, information of authorities, architecture of information systems, concept of regional information

### Введение

В Санкт-Петербурге как в динамично развивающемся регионе Российской Федерации уделяется значительное внимание вопросам информатизации органов государственной власти, в том числе реализации различных электронных сервисов для граждан и бизнес-сообщества, позволяющих вывести взаимодействие с государством на качественно новый уровень. В настоящее время органы государственной власти (ОГВ) Санкт-Петербурга оказывают 488 государственных услуг и исполняют 2 550 государственных функций [1], в рамках которых от ОГВ поступают различные заявки в сфере информатизации и связи (организация каналов связи, обеспечение автоматизированными рабочими местами и периферийными устройствами, средствами защиты информации, серверным

оборудованием, закупка прав на использование программных продуктов, а также заявки на создание/развитие и сопровождение государственных информационных систем и т.д.). На рис. 1 изображена динамика роста ИТ бюджета Санкт-Петербурга и количества поступающих от ОГВ потребностей.

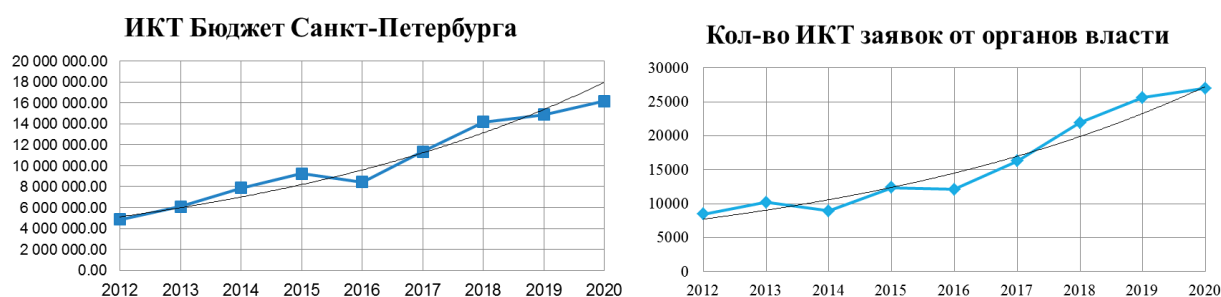


Рис. 1. Динамика роста ИТ бюджета и потребностей (ИКТ – Информационно-коммуникационные технологии)

Несмотря на организованные для большинства ОГВ в регионе централизованные закупки работ и услуг в сфере информатизации и связи (Комитет по информатизации и связи, СПб ГКУ «Управлением информационных технологий и связи»), анализ государственных информационных систем (ГИС) показывает, что созданные системы имели разные проектные организации [2], различные технические и проектные решения (различную архитектуру, объем функциональных компонентов, системы управления базами данных, общее программное обеспечение и т.д.), свои индивидуальные справочники, классификаторы [3]. Актуальным остается вопрос создания и управления единым информационным пространством, необходимым для решения задач комплексной автоматизации, а также решения задач создания «умного» города.

### Методы и результаты исследования

Таким образом, тематика учета и анализа поступающих от ОГВ ежегодных требований на развитие ГИС нуждается в дальнейшей проработке вопроса создания специализированной информационной системы управления развитием региональной инфраструктуры ГИС (система), которая позволит осуществлять планирование и контроль мероприятий по автоматизации ОГВ.

Назначением системы будет являться автоматизация полномочий ОГВ, ответственного за государственную политику в сфере информации, информационных технологий и защиты информации, связи, а также координации деятельности ОГВ в данной сфере (может быть как отдельный ОГВ, так и проектный офис в составе высшего органа исполнительной власти региона и т.д.)

Определим следующие цели создания системы:

- повышение качества планирования мероприятий по информатизации ОГВ;
- обеспечение открытости ОГВ в части реализуемых мероприятий по информатизации;
- повышение эффективности бюджетных расходов на информатизацию ОГВ;
- обеспечение контроля мероприятий по информатизации ОГВ;
- обеспечение повторного использования программного обеспечения (ПО), разработанного за счет средств бюджета;
- обеспечение интероперабельности ГИС, используемых в ОГВ;

Система состоит из следующих компонент, схема взаимодействия которых представлена на рис. 2:

1. Подсистема «Планирование» предназначена для обеспечения сбора потребностей по развитию систем, закупки электронно-вычислительной техники (ЭВТ) и средств защиты информации (СЗИ), формирования перечня взаимосвязанных мероприятий по информатизации в разрезе каждого ОГВ. Данная подсистема обеспечивает выполнение следующих функций: «Формирование требований к ГИС»; «Формирование потребностей ЭВТ и СЗИ»; «Формирование потребностей в каналах связи»; «Анализ и согласование потребностей»; «Планирование и формирование ИТ бюджета».

2. Подсистема «Контроль исполнения» предназначена для контроля исполнения мероприятий и проектов по автоматизации ОГВ, а также взаимодействию с исполнителями/подрядчиками по государственным контрактам с целью фиксации ключевых результатов мероприятий. Данная подсистема обеспечивает выполнение следующих функций: «Контроль исполнения контракта»; «Портал взаимодействия с исполнителями»; «Учет версионности ПО ГИС»; «Технический учет средств вычислительной техники (СВТ)» .

3. Подсистема «Взаимодействие» предназначена для обеспечения информационного обмена с другими ГИС ОГВ, позволяющими обмениваться актуальными сведениями, необходимыми для организации управленческого учета средств автоматизации, обеспечения планирования ИТ бюджета и т.д. Подсистема «Взаимодействие» обеспечивает выполнение следующих функций: «Взаимодействие с Реестром ГИС»; «Взаимодействие с ГИС «Система формирования и учета проектов» (СФУП)»; «Взаимодействие с Автоматизированной информационной системой бюджетного процесса – электронное казначейство (АИС БП ЭК)»; «Взаимодействие с ГИС Санкт-Петербурга «Единая информационно-аналитическая система бюджетного (бухгалтерского) учета» (ЕИАСБУ)»; «Взаимодействие с Автоматизированной системой «Трудозатраты» ГИС Санкт-Петербурга «Интегрированная система информационно-аналитического обеспечения деятельности исполнительных органов государственной власти Санкт-Петербурга» (ИС ИАО)»; «Взаимодействие с ГИС «Управление ресурсами регионального центра обработки данных» (УРЦОД)» (Наименования систем из Реестра государственных информационных систем [4]).

4. Подсистема «Аналитика» предназначена для информационного обеспечения процесса управления развитием ИТ в регионе посредством построения различных аналитических отчетов, а также прогнозирования потребности в средствах автоматизации. Подсистема «Аналитика» обеспечивает выполнение следующих функций: «Отчет об оснащенности и износе СВТ»; «Настраиваемые отчеты»; «Прогноз потребностей».

5. Подсистема «Администрирование» предназначена для управления правами доступа и гибкого управления автоматизируемыми процессами, правилами согласований и т.д. Подсистема «Администрирование» обеспечивает выполнение следующих функций: «Пользователи и роли»; «Процессы».

Архитектура создаваемых компонентов должна быть модульной, а именно должна быть спроектирована по принципу относительной независимости компонентов. Компоненты должны быть связаны между собой как можно меньшим числом связей (параметров) в целях максимально возможной независимости друг от друга без ущерба для реализации поставленных целей, что важно для поэтапного внедрения системы.

Информационное взаимодействие с внешними ИС представлено в таблице (Наименования систем из Реестра ГИС [4]).

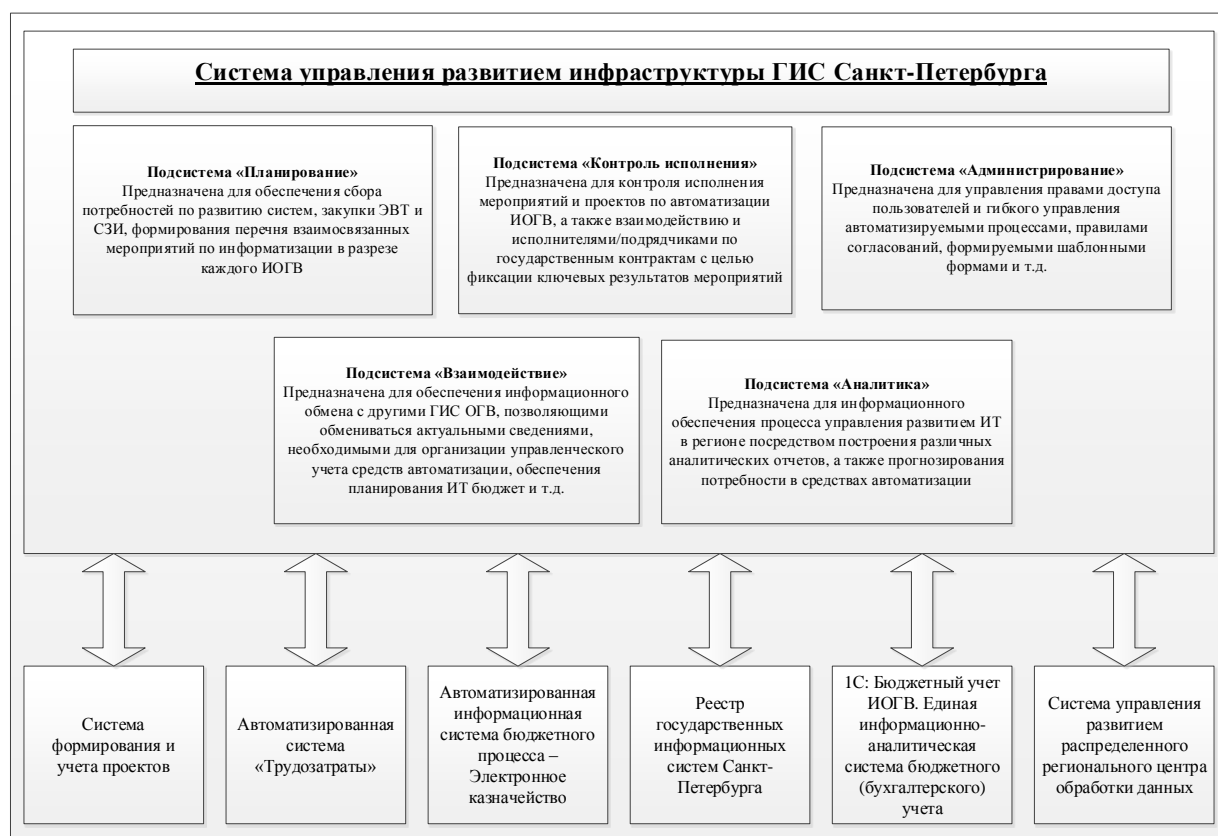


Рис. 2. Схема взаимодействия компонент системы

Таблица. Информационное взаимодействие с внешними ИС

№ п.п.	Наименование внешней ГИС	Наименование функционального элемента системы	Способ обмена информацией
1.	ГИС СФУП	Функция «Анализ и согласование потребностей»; Функция «Взаимодействие с ГИС СФУП»	Информационный обмен (обмен данными, прямое взаимодействие)
2.	Реестр ГИС	Функция «Формирование требований к ИС»; Функция «Взаимодействие с Реестр ГИС»; Функция «Учет версионности ПО ГИС»	Информационный обмен (обмен данными, прямое взаимодействие)
3.	АИС БПЭК	Функция «Планирование и формирование ИТ бюджета»; Функция «Взаимодействие с АИС БПЭК»	Информационный обмен (обмен данными, прямое взаимодействие)
4.	АС «Трудозатраты» ИС ИАО»	Функция «Формирование требований к ИС»; Функция «Взаимодействие с АС «Трудозатраты» ИС ИАО»	Информационный обмен (обмен данными, прямое взаимодействие)
5.	ГИС УРЦОД	Функция «Технический учет СВТ»; Функция «Взаимодействие с ГИС УРЦОД»	Информационный обмен (обмен данными, прямое взаимодействие)
6.	ЕИАСБУ	Функция «Технический учет СВТ»; Функция «Взаимодействие с ЕИАСБУ»	Информационный обмен (обмен данными, СМЭВ* СПб)

\*СМЭВ – система межведомственного электронного взаимодействия

Создание и внедрение системы позволит провести переход на использование планов информатизации ОГВ и осуществлять планирование взаимосвязанных комплексных мероприятий, что при использовании методического обеспечения позволит ранжировать мероприятия по развитию систем в соответствии с приоритетностью [5].

На рис. 3 представлена BPMN-модель процесса согласования включения функциональных требований в план автоматизации и в проект бюджета на плановый период, который должен быть автоматизирован в системе.



Рис. 3. BPMN-модель согласования функциональных требований

Основные результаты создания системы:

Автоматизированное формирование планов с мероприятиями позволит наладить передачу сформированного ИТ бюджета (оформленного по требованиям финансовых органов) в соответствующую информационную систему (в Санкт-Петербурге это АИС БП ЭК), а также обеспечит возможность анализа ИТ бюджета в различных разрезах как по статьям, так и по мероприятиям отдельных ОГВ, что позволит сократить временные затраты на формирование бюджета и его оперативное изменение по результатам рассмотрения Законодательным Собранием. Это также позволит сократить трудозатраты на подготовку ежегодных расчетов и обоснований бюджета в ручном режиме, как следствие, будет обеспечена прозрачность процесса планирования ИТ бюджета, а контроль исполнения планов позволит снизить риски невыполнения проектов по автоматизации деятельности ОГВ.

Комплексный учет элементов инфраструктуры, реализуемый посредством системы, позволит обеспечить возможность повторного использования ОГВ при внедрении в их деятельность информационных технологий, программных средств, проектной, технической, сопроводительной и методической документации, разрабатываемых за счет бюджетных средств. Повторное использование результатов позволит исключить возможные случаи дублирующих закупок.

Представленные функциональные возможности системы для личных кабинетов уполномоченных лиц (панель руководителя) позволят формировать оперативную отчетность об информатизации того или иного ОГВ (состояние средств ЭВТ, ИТ бюджета, статус развития информационных систем/закупки программного обеспечения и т.д.).

Информационная система управления развитием ИТ позволит пользователям заказчика, а также функциональным получателям обладать единой площадкой для хранения информации о проектах по развитию и сопровождению ГИС, их планов реализации, статусе заключения и исполнения государственных контрактов, что также позволит сократить время на поиск необходимой информации и обеспечит возможность более глубокого анализа имеющейся информации о проектах.

Автоматизация процесса контроля исполнения государственных контрактов позволит взаимодействовать с исполнителями по государственным контрактам в электронном виде с применением электронной подписи, осуществлять мониторинг хода исполнения контракта. В соответствии с ходом работ на рабочем столе руководителя проекта будет возможность формировать соответствующие графики (дешборды) для оперативного анализа хода исполнения проекта.

Автоматизация процесса управления развитием ГИС позволит обеспечить хранение и актуализацию информации по всему жизненному циклу разрабатываемого и введенного в эксплуатацию ПО, а также информацию о тех проектах, которые по тем или иным

причинам не были начаты (отсутствие финансирования, нецелесообразность реализации, высокие риски проекта и т.д.).

Так как одной из задач построения будущей информационной инфраструктуры региональных ГИС является организация качественного управления базовыми информационными ресурсами и структурой взаимосвязей ГИС, становится актуальной разработка схемы взаимодействия ГИС в информационной инфраструктуре региона (Концепция целевой архитектуры), которая должна позволить сформировать в технических заданиях на развитие систем минимальные требования к взаимодействию систем и исключить реализацию избыточных функциональных возможностей, которые необходимо реализовывать в иных инфраструктурных системах, в том числе исключить локализацию справочников и классификаторов за счет использования возможностей централизованной системы нормативно-справочной информации.

Проект схемы взаимодействия ГИС в информационной инфраструктуре региона представлен на рис. 4. Итоговая версия должна разрабатываться и согласовываться при участии специалистов по информатизации и автоматизации ОГВ, выноситься для обсуждения на Совете по региональной информатизации для подготовки сбалансированного документа, учитывающего особенности и специфику информатизации региона.

Разработка и актуализация Концепции целевой архитектуры должна производиться с учетом планов Министерства цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации по реализации Единой цифровой платформы Российской Федерации «ГосТех» [6], а также основных положений паспорта национальной программы «Цифровая экономика» [7] и успешным опытом других стран в сфере построения цифровой экономики [8–10].

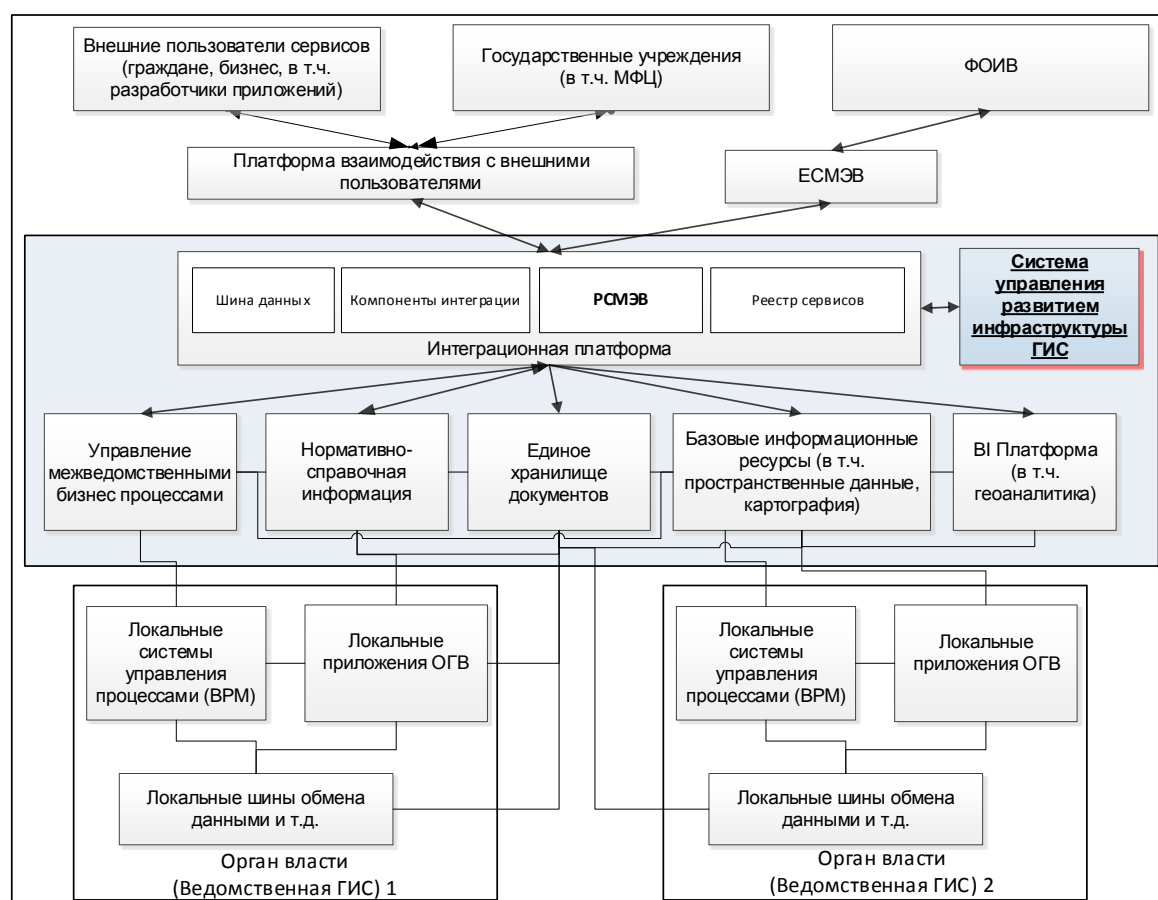


Рис. 4. Схема взаимодействия ГИС в информационной инфраструктуре региона (ФОИВ – федеральный орган исполнительной власти; ЕСМЭВ – единая система межведомственного электронного взаимодействия; РСМЭВ – региональная система межведомственного электронного взаимодействия; BPM – Business Process Management)

## Выводы

Сформулированы функциональные требования, а также цели и задачи информационной системы управления развитием региональной инфраструктуры ГИС, рассмотрены возможные положительные эффекты от её внедрения. Система позволит обеспечить единство и комплексность при планировании и реализации мероприятий по информатизации осуществляемых ОГВ, а также сделать прозрачным планирование и последующий контроль исполнения мероприятий по информатизации.

Качественное планирование и координация региональной информатизации позволит обеспечить своевременное внедрение передовых практик и технологий, предусмотренных Министерством цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации в дорожных картах развития «сквозных» цифровых технологий, таких как искусственный интеллект, системы распределенных реестров, а также обеспечить создание «цифрового профиля гражданина» посредством обеспечения совместимости информационно-коммуникационных технологий и интероперабельности государственных информационных ресурсов ОГВ.

Также создание и внедрение системы становится не менее актуальным в условиях предстоящего перехода на использование Единой цифровой платформы Российской Федерации «ГосТех» [6], так как перед региональными органами власти встает задача перевода функциональных возможностей ведомственных ГИС на новую платформу с сохранением необходимых технологических связей/интеграций с уже функционирующими ГИС для обеспечения бесперебойного исполнения сквозных процессов ОГВ. Фактически, органам власти по мере перевода ведомственных ГИС в облачную платформу «ГосТех» предстоит длительное время находиться в стадии миграции действующих процессов на новое прикладное ПО, что требует слаженной работы по планированию ИТ мероприятий.

Ввиду того, что решения, требуемые для принятия должностными лицами, ответственными за формирование плана автоматизации как одного отраслевого органа власти, так и в целом годового плана автоматизации всего региона (субъекта Российской Федерации) являются сложными и в ряде случаев неочевидными [11], остаются актуальными вопросы определения полезности автоматизируемых функций для каждого проекта по автоматизации с целью обеспечения подходов управления по результатам [12].

## Литература

1. Реестр государственных и муниципальных услуг (функций) Санкт-Петербурга. URL: <https://rgu.gu.spb.ru/> (дата обращения: 26.11.2021).
2. Кучеренко Д.В., Матвеев А.В. Графовая модель описания информационной инфраструктуры органов государственного управления Санкт-Петербурга // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2021. № 1. С. 135–146.
3. Кучеренко Д.В. Состояние развития государственных информационных систем Санкт-Петербурга // Современные наукоемкие технологии. 2018. № 11-2. С. 193–199.
4. Реестр государственных информационных систем Санкт-Петербурга. URL: <https://reestr-gis.spb.ru/> (дата обращения: 29.11.2021).
5. Кучеренко Д.В. Комплексная методика поддержки принятия решений при планировании работ по созданию и развитию государственных информационных систем на региональном уровне // Вестник Воронежского института ФСИИ России. 2021. № 3. С. 87–95.
6. Цифровая экономика Российской Федерации: паспорт национальной программы (утв. президиумом Совета при Президенте Российской Федерации по стратегическому развитию и национальным проектам 24 дек. 2018 г. № 16). URL: <https://base.garant.ru/72190282/> (дата обращения: 01.06.2020).
7. Bahl M. The Work Ahead: The Future of Businesses and Jobs in Asia Pacific's Digital Economy. Cognizant. 2016. URL: <https://www.cognizant.com/FoW/the-work-ahead-asia-pacific.pdf> (дата обращения: 29.11.2021).

8. Gomber P., Koch J.A., Siering M. Digital Finance and FinTech: current research and future research directions // *Journal of Business Economics*. 2017. Vol. 87. No. 5. P. 537–580.
9. Цифровая экономика – различные пути к эффективному применению технологий (BIM, PLM, CAD, IOT, Smart City, BIG DATA и другие) / А.П. Добрынин [и др.] // *International Journal of Open Information Technologies*. 2016. Т. 4. № 1. С. 4–11.
10. Единая цифровая платформа Российской Федерации «ГосТех». URL: <https://platform.digital.gov.ru/> (дата обращения: 29.11.2021).
11. Кучеренко Д.В. Модель оптимального планирования состава работ по развитию государственных информационных систем в условиях многокритериальности и неопределенности // *Управленческое консультирование*. 2020. № 5. С. 166–175.
12. Цифровое будущее государственного управления по результатам / Е.И. Добролюбова [и др.]. М.: Изд. дом «Дело» РАНХиГС, 2019. 114 с.

### References

1. Reestr gosudarstvennyh i municipal'nyh uslug (funkcij) Sankt-Peterburga. URL: <https://rgu.gu.spb.ru/> (data obrashcheniya: 26.11.2021).
2. Kucherenko D.V., Matveev A.V. Grafovaya model' opisaniya informacionnoj infrastruktury organov gosudarstvennogo upravleniya Sankt-Peterburga // *Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MCHS Rossii»*. 2021. № 1. S. 135–146.
3. Kucherenko D.V. Sostoyanie razvitiya gosudarstvennyh informacionnyh sistem Sankt-Peterburga // *Sovremennye naukoemkie tekhnologii*. 2018. № 11-2. S. 193–199.
4. Reestr gosudarstvennyh informacionnyh sistem Sankt-Peterburga. URL: <https://reestr-gis.spb.ru/> (data obrashcheniya: 29.11.2021).
5. Kucherenko D.V. Kompleksnaya metodika podderzhki prinyatiya reshenij pri planirovaniy rabot po sozdaniyu i razvitiyu gosudarstvennyh informacionnyh sistem na regional'nom urovne // *Vestnik Voronezhskogo instituta FSIN Rossii*. 2021. № 3. С. 87–95.
6. Cifrovaya ekonomika Rossijskoj Federacii: pasport nacional'noj programmy (utv. prezidiumom Soveta pri Prezidente Rossijskoj Federacii po strategicheskomu razvitiyu i nacional'nym proektam 24 dek. 2018 g. № 16). URL: <https://base.garant.ru/72190282/> (data obrashcheniya: 01.06.2020).
7. Bahl M. The Work Ahead: The Future of Businesses and Jobs in Asia Pacific's Digital Economy. Cognizant. 2016. URL: <https://www.cognizant.com/FoW/the-work-ahead-asia-pacific.pdf> (data obrashcheniya: 29.11.2021).
8. Gomber P., Koch J.A., Siering M. Digital Finance and FinTech: current research and future research directions // *Journal of Business Economics*. 2017. Vol. 87. No. 5. P. 537–580.
9. Cifrovaya ekonomika – razlichnye puti k effektivnomu primeneniyu tekhnologij (BIM, PLM, CAD, IOT, Smart City, BIG DATA i drugie) / А.П. Dobrynin [i dr.] // *International Journal of Open Information Technologies*. 2016. Т. 4. № 1. S. 4–11.
10. Edinaya cifrovaya platforma Rossijskoj Federacii «GosTekh». URL: <https://platform.digital.gov.ru/> (data obrashcheniya: 29.11.2021).
11. Kucherenko D.V. Model' optimal'nogo planirovaniya sostava rabot po razvitiyu gosudarstvennyh informacionnyh sistem v usloviyah mnogokriterial'nosti i neopredelennosti // *Upravlencheskoe konsul'tirovanie*. 2020. № 5. С. 166–175.
12. Cifrovoe budushchee gosudarstvennogo upravleniya po rezul'tatam / Е.И. Dobrolyubova [i dr.]. М.: Изд. дом «Дело» РАНХиГС, 2019. 114 с.



## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

**Андрюшкин Александр Юрьевич** – зав. каф. А2 «Технол. конструкцион. материалов и пр-ва ракетно-космич. техн.» Балтийского гос. техн. ун-та «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова (190005, Санкт-Петербург, ул. 1-я Красноармейская, д. 1/21), канд. техн. наук, доц.;

**Астанков Алексей Михайлович** – нач. лаб. Воен. ин-та (науч.-исслед.) Воен.-космич. акад. им. А.Ф. Можайского (197082, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, д. 13), e-mail: astankovy@yandex.ru;

**Байчорова Хафиза Срафилъевна** – доц. 20 каф. (рус. яз.) Воен. акад. мат.-техн. обеспеч. им. генерала армии А.В. Хрулева (199034, Санкт-Петербург, наб. Макарова, д. 8), канд. пед. наук;

**Баскин Юрий Григорьевич** – проф. каф. пож. авар.-спас. техники и авт. хоз-ва СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), д-р пед. наук, проф., засл. работник высш. шк. РФ;

**Бобрищев Алексей Александрович** – проф. каф. физ. подгот. СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), д-р психол. наук, проф., e-mail: 0719692010@mail.ru;

**Булат Роман Евгеньевич** – зав. каф. пед. и психол. экстрем. ситуаций СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), д-р пед. наук, доц.;

**Булатова Юлия Михайловна** – препод. каф. сервис безопасн. СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149);

**Вагин Александр Владимирович** – доц. каф. пож. безопасн. зданий и автоматизир. систем пожаротушения СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), тел. (812) 388-69-68, e-mail: alexwagin@yandex.ru, канд. техн. наук, доц.;

**Вилков Валерий Борисович** – доц. каф. общенауч. и общетехн. дисциплин Воен. акад. мат.-техн. обеспеч. им. генерала армии А.В. Хрулева (199034, Санкт-Петербург, наб. Макарова, д. 8), канд. физ.-мат. наук;

**Власенко Виктор Иванович** – ст. препод. каф. радиосвязи Воен. акад. связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного (194064, Санкт-Петербург, К-64, Тихорецкий пр., д. 3), e-mail: vlasenko1939@mail.ru, канд. техн. наук, доц.;

**Выговтов Алексей Владимирович** – доц. каф. техносфер. и пож. безопасн. Воронеж. гос. техн. ун-та (394052, г. Воронеж, ул. Краснознаменная, д. 231), канд. техн. наук;

**Грешных Антонина Адольфовна** – декан фак-та подгот. кадров высш. квалификации СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), канд. юрид. наук, д-р пед. наук, проф., засл. работник высш. шк. РФ;

**Горшкова Елена Евгеньевна** – ст. препод. каф. переподгот. и повыш. квалификации СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149);

**Десницкий Василий Алексеевич** – ст. науч. сотр. лаб. проблем комп. безопасн. СПб ин-та информ. и автоматиз. РАН (199178, Санкт-Петербург, 14-я линия В.О., д. 39), e-mail: desnitsky@comsec.spb.ru, канд. техн. наук;

**Дворников Сергей Викторович** – проф. каф. радиотехн. и оптоэлектрон. комплексов СПб гос. ун-та аэрокосмич. приборостроения; проф. каф. радиосвязи Воен. акад. связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного (194064, Санкт-Петербург, К-64, Тихорецкий пр., д. 3), д-р техн. наук, проф.;

**Епанешников Николай Михайлович** – доц. каф. информ. и мат. СПб воен. ин-та войск нац. гвардии Рос. Федерации (198206, Санкт-Петербург, ул. Летчика Пилютова, д. 1), e-mail: nik\_mihel@mail.ru, канд. техн. наук, доц.;

**Изотов Сергей Сергеевич** – нач. сектора судовых энергетич. установок АО «Центр. науч.-исслед. и проект.-конструктор. Ин-та морского флота» (191015, Санкт-Петербург, Кавалергардская ул., д. 6, лит. А), e-mail: izotov\_sergey@bk.ru;

**Кадочникова Елена Николаевна** – доц. каф. пож. безопасн. технол. процессов и пр-в СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), канд. техн. наук;

**Калач Андрей Владимирович** – нач. каф. безопасн. информ. и защ. сведений, состав. гос. тайну Воронеж. ин-та ФСИН России (394072, г. Воронеж, ул. Иркутская, д. 1 а), д-р хим. наук, проф.;

**Комашинский Владимир Ильич** – зав. лаб. проблем экологии транспорт. систем Ин-та проблем транспорта им. Н.С. Соломенко РАН (199178, Санкт-Петербург, В.О., 12 линия, д. 13), д-р техн. наук, доц.;

**Константинова Алина Станиславовна** – адъюнкт фак-та подгот. кадров высш. квалификации СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149);

**Королев Денис Сергеевич** – доц. каф. техносфер. и пож. безопасн. Воронеж. гос. техн. ун-та (394052, г. Воронеж, ул. Краснознаменная, д. 231), канд. техн. наук;

**Костюк Анатолий Владимирович** – проф. каф. информ. и мат. СПб воен. ин-та войск нац. гвардии Рос. Федерации (198206, Санкт-Петербург, ул. Летчика Пилютова, д. 1), e-mail: kostyuk.anatoliy.2015@mail.ru, канд. техн. наук, доц.;

**Коткова Елизавета Александровна** – адъюнкт фак-та подгот. кадров высш. квалификации СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: kotkovaelizaveta23@gmail.com;

**Кучеренко Дмитрий Викторович** – соискатель СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: kucherenko.dmitry@gmail.com;

**Лабинский Александр Юрьевич** – доц. каф. прикл. мат. и информ. технол. СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), канд. техн. наук, доц.;

**Лебедев Андрей Юрьевич** – доц. каф. криминал. и инж.-техн. экспертиз СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), канд. техн. наук;

**Ложкина Ольга Владимировна** – проф. каф. физ.-хим. основ проц. горения и тушения СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), канд. хим. наук, доц., д-р техн. наук;

**Малыгин Игорь Геннадьевич** – дир. Ин-та проблем транспорта им. Н.С. Соломенко РАН (199178, Санкт-Петербург, 12-я линия В.О., д. 13), тел. (812) 323-29-54, e-mail: malygin\_com@mail.ru, д-р техн. наук., проф.;

**Матвеев Александр Владимирович** – зав. каф. прикл. мат. и информ. технол. СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), канд. техн. наук, доц.;

**Медведева Людмила Владимировна** – зав. каф. физ.-техн. основ обеспеч. пож. безопасн. СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), д-р пед. наук, проф., засл. работник высш. шк. РФ;

**Мироненков Олег Вячеславович** – науч. сотр. Воен. ин-та (науч.-исслед.) Воен.-космич. акад. им. А.Ф. Можайского (197082, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, д. 13), e-mail: mironenkov70@gmail.com, канд. хим. наук;

**Моисеев Дмитрий Игоревич** – студент Балтийского гос. техн. ун-та «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова (190005, Санкт-Петербург, ул. 1-я Красноармейская, д. 1/21);

**Мотовичев Константин Владимирович** – нач. каф. физ. подгот. СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: motovichev@igps.ru, канд. экон. наук;

**Моторыгин Юрий Дмитриевич** – проф. каф. криминал. и инж.-техн. экспертиз СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), д-р техн. наук, проф.;

**Никитин Николай Александрович** – ст. препод.-метод. отд. дистанц. образов. технол. отд. технол. откр. образов. СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149);

**Плотников Владимир Александрович** – проф. каф. общ. экон. теории и ист. экон. мысли СПб гос. экон. ун-та (191023, Санкт-Петербург, наб. канала Грибоедова, д. 30–32, лит. А), д-р экон. наук, проф.;

**Рева Юрий Викторович** – доц. каф. сервис безопасн. СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), канд. воен. наук, доц.;

**Романов Николай Николаевич** – доц. каф. физ.-техн. основ обеспеч. пож. безопасн. СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), канд. техн. наук, доц.;

**Русин Александр Алексеевич** – ст. препод. каф. Воен. акад. связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного (194064, Санкт-Петербург, К-64, Тихорецкий пр., д. 3), e-mail: arusin@ya, канд. техн. наук, доц.;

**Сагиев Талгат Абаевич** – доц. каф. физ. восп. и спорта Омского гос. техн. ун-та (644050, г. Омск, пр-т Мира, д. 11), канд. пед. наук;

**Свидзинская Галина Борисовна** – проф. каф. физ.-хим. основ проц. горения и тушения СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), канд. хим. наук, доц.;

**Сикорова Галина Александровна** – ст. препод. каф. криминал. и инж.-техн. экспертиз СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149);

**Скодтаев Сослан Владиславович** – ст. науч. сотр. отд. экспертизы пожаров и орг. подгот. экспертов Исслед. центра эксперт. пож. СПб ун-та ГПС МЧС России (193079, Санкт-Петербург, Октябрьская наб., д. 35), e-mail: ugps.ssv@mail.ru;

**Сошина Наталья Леонидовна** – доц. каф. общетехн. дисциплин и безопасн. жизнедеят. Курского гос. ун-та (305000, г. Курск, ул. Радищева, д. 33), канд. психол. наук;

**Сытдыков Максим Равильевич** – нач. каф. пож., авар.-спас. техн. и авт. хоз-ва. СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), канд. техн. наук, доц.;

**Таранцев Андрей Александрович** – препод. каф. пож. тактики и службы Акад. ГПС МЧС России (129626, Москва, ул. Бориса Галушкина, д. 4);

**Черных Андрей Климентьевич** – проф. каф. переподгот. и повыш. квалиф. спец. СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), д-р техн. наук;

**Шилов Александр Геннадьевич** – преп.-мет. отд. информ. уч. проц. отд. тех. откр. обр. инст. заоч. и дист. обуч. СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: Shilov@igps.ru;

**Шугай Оксана Евгеньевна** – препод. каф. соц.-гуманитар. и фин.-правовых дисциплин Воронеж. ин-та ФСИН России (394072, г. Воронеж, ул. Иркутская, д. 1 А), e-mail: oks-shugaj@mail.ru, канд. техн. наук.