

В ЭТОМ НОМЕРЕ:**ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ**

- ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СТАТИЧЕСКОГО КАВИТАТОРА ДЛЯ ПОДОГРЕВА ВОДЫ В ПОЖАРНЫХ НАПОРНЫХ РУКАВАХ НА ОСНОВЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**
Плотников Л. В., Савин М. А., Курбатова Д. К., Кацнельсон И. Э. 2
- СОВРЕМЕННЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ДОКУМЕНТОВ ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ В ОБЛАСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**
Кононенко Е. В., Мокроусова О. А., Черкасский Г. А., Закинчак А. И. 20
- РИСК ВОЗНИКНОВЕНИЯ ПОЖАРОВ И ИХ ПОСЛЕДСТВИЙ В ПОДЗЕМНЫХ ПЕШЕХОДНЫХ ПЕРЕХОДАХ**
Фирсов А. Г., Сибирко В. И., Загуменнова М. В. 30
- К ВОПРОСУ АКТУАЛЬНОСТИ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЫСОКОПРОЧНЫХ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ДРЕВЕСИНЫ**
Хабибуллина Н. В., Лазарев И. С., Кузнецов А. А., Опарин И. Д. 47

БЕЗОПАСНОСТЬ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ

- ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ ВЕДЕНИИ АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНЫХ РАБОТ И ТУШЕНИИ ПОЖРОВ**
Королев Д. С., Арифудин Е. З., Русских Д. В., Шмырева М. Б. 54
- СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ СУММАРНОЙ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ДЕЙСТВИЯ ОПАСНЫХ ВЕТРОВ В ЮЖНЫХ РЕГИОНАХ СИБИРИ ДЛЯ ВЕСЕННЕ-ЛЕТНИХ МЕСЯЦЕВ**
Холопцев А. В., Шубкин Р. Г., Проскова Н. Ю. 68
- ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ГРУППИРОВКИ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ПРИ ПРЕДУПРЕЖДЕНИИ И ЛИКВИДАЦИИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ**
Логинов В. В., Вишняков А. В., Зубарев И. А. 87
- О НЕКОТОРЫХ РЕЗУЛЬТАТАХ ОБРАБОТКИ СТАТИСТИЧЕСКИХ ДАННЫХ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ЗАЩИТЫ НАСЕЛЕНИЯ И ТЕРРИТОРИЙ ОТ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ ПО ИТОГАМ 2023 ГОДА**
Иванов Е. В., Рыбаков А. В., Тугушов К. В., Казаков В. Ю. 96

УДК 614.846

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СТАТИЧЕСКОГО КАВИТАТОРА ДЛЯ ПОДОГРЕВА ВОДЫ В ПОЖАРНЫХ НАПОРНЫХ РУКАВАХ НА ОСНОВЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**Плотников Леонид Валерьевич¹, Савин Михаил Александрович², Курбатова Диана Константиновна², Кацнельсон Игорь Эдуардович**¹ Уральский федеральный университет имени первого президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия² Уральский институт ГПС МЧС России, г. Екатеринбург, Россия**АННОТАЦИЯ**

Конструктивно-техническая проблема выпуска мобильных пожарных машин с повышенной адаптивностью к суровым условиям может быть достигнута в проектных решениях перспективных образцов пожарных автомобилей (далее – ПА) низкотемпературной генерации, а также частично для уже существующего парка ПА исполнения У – доступными решениями непосредственно в пожарно-спасательных подразделениях. Конкретнее конструктивно-техническую проблему ПА для низкотемпературных условий предлагается решать разноплановым применением пассивных (эффективной теплоизоляции), а также активных средств (т. е. чаще всего дополнительным подводом теплоты к модулям. Пример, канадский снегоболотоход «Хаски-8»). Таким образом, необходимо кардинально изменить конструктивные решения основных агрегатов и систем ПА для коррекции их пониженных тепловых состояний.

Объектом исследования явилась система конструктивно-технических решений теплогенерирующего кавитатора по отношению к основным режимам и низким температурам окружающей среды в условиях его оперативного применения.

Предметом исследования служили объективные закономерности процессов теплофизического взаимодействия в системе «Низкотемпературная среда – Кавитатор – Поток пресной воды» при решении задач по ликвидации различных ЧС.

Настоящее инициативное исследование было проведено с целью экспериментального определения теплогенерирующих возможностей конструкции статического кавитатора, разработанной на основе штатного пожарного оборудования.

Задачи работы.

- Проанализировать известные патентные решения конструкций теплогенераторов, разработанных на физическом принципе кавитации и предназначенных для подогрева жидкостей.
- На основе штатного пожарного оборудования разработать наиболее теплоэффективную конструкцию статического кавитатора.
- После обработки и интерпретации результатов проведенных эмпирических исследований определить теплогенерирующий потенциал данной конструкции

теплогенератора в целом и вклад отдельных кавитирующих элементов для установления самых эффективных из них применительно к пожарному рукавному хозяйству в зимний период эксплуатации.

Результаты предэксплуатационных тестирований теплогенерирующего кавитатора пассивного типа предложенной конструкции, проведенные в ходе межведомственных опытно-исследовательских учений «Безопасная Арктика-2023», свидетельствуют об его определенной эффективности.

Действительно, при температуре окружающего воздуха в тестированиях – 15 °С и в диапазоне давлений на его входе 0,72–1,0 МПа температура воды на выходе из кавитатора возросла на величину от 0,1 до 0,2 °С. Это, согласно имеющимся экспериментальным данным, позволит увеличить длину рукавных напорных линий без их перемерзания примерно на 100 метров. В экспериментах давление потока после аппарата составляло 0,5–0,68 МПа, а подача воды находилась в пределах 15,1–17,6 л/с.

Ключевые слова: низкие температуры, пожарные рукава, пресная вода, подогрев, кавитатор

EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF A STATIC CAVITATOR FOR HEATING WATER IN FIRE PRESSURE HOSES BASED ON EXPERIMENTAL STUDIES

Leonid V. Plotnikov¹, Mikhail A. Savin², Diana K. Kurbatova³, Igor E. Katsnelson

¹ Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Yekaterinburg, Russian Federation

² Ural Institute of GPS of the Ministry of Emergency Situations of Russia, Yekaterinburg, Russia

ABSTRACT

Constructive-technical problem of mobile fire fighting vehicles production with increased adaptability to severe conditions can be achieved in design solutions of perspective samples of low-temperature generation PA, as well as, in part, for the already existing fleet of PA of U version—by available solutions directly in fire and rescue units. More specifically, it is proposed to solve the design and technical problem of PAs for low-temperature conditions by means of passive (effective thermal insulation) as well as active means (i.e. additional heat supply, most often to the modules). Example: Canadian snowmobile "Husky-8"). Thus, it is necessary to radically change the design solutions of the main units and systems of the PA to correct their reduced thermal states.

The *object of research* was the system of constructive and technical solutions of heat-generating cavitator in relation to the basic modes and low ambient temperatures in conditions of its operational application.

Objective regularities of the processes of thermophysical interaction in the system "Low-temperature environment - Cavitator - Fresh water flow" when solving tasks on liquidation of various emergencies served as the *subject of the research*.

The present initiative research was conducted *to* experimentally determine the heat generating capabilities of the static cavitator design developed on the basis of standard firefighting equipment.

Objectives of the work.

- To analyze the known patent solutions of heat generator designs developed on the physical principle of cavitation and intended for heating liquids.

- To develop the most thermally efficient design of static cavitator on the basis of standard fire equipment.

- After processing and interpretation of the results of the conducted empirical studies to determine the heat generating potential of this design of the heat generator as a whole and the contribution of individual cavitating elements to establish the most effective of them in relation to the fire hose in the winter period of operation.

The results of pre-operational tests of the heat-generating cavitator of passive type of the proposed design, conducted during the Interdepartmental Experimental Research Exercise "Safe Arctic 2023", testify to its certain efficiency.

Indeed, at the ambient air temperature in the tests of -15°C and in the range of pressures at its inlet of 0.72–1.0 MPa, the water temperature at the outlet of the cavitator increased by the value from 0.1–0.2 $^{\circ}\text{C}$. This, according to the available experimental data, will increase the length of hose pressure lines without their freezing by about 100 meters. In the experiments, the flow pressure after the apparatus ranged from 0.5 to 0.68 MPa, and the water supply was in the range of 15.1–17.6 hp.

Keywords low temperatures, fire hoses, fresh water, heating, cavitator

Введение

Известно, что зимой подача воды по рукавным линиям не остается постоянной. Она постепенно уменьшается. Практика тушения зимних пожаров стабильно показывает значительное понижение величин расходов жидких огнетушащих веществ (ОТВ) по причине льдообразования внутри рукавных линий и арматуры уже по прошествии 1,5–2 часа после начала их подачи [1].

Действительно, вода в рукавах замерзает ввиду рассеивания теплоты в окружающий холодный воздух. Очевидно, что интенсивность таких потерь находится в функции от градиента температур окружающего воздуха и воды, а также увеличивается с уменьшением скорости движения ОТВ. Таким образом, с точки зрения теплофизической науки, для предотвращения замерзания воды в рукавных системах в низкотемпературных условиях необходимо подавать по ним горячую воду.

После окончания пожаротушения или ликвидации ЧС производится демонтаж замерзших рукавных линий. Это требует значительного увеличения и усилий огнеборцев и времени, необходимых для рассоединения рукавов. При этом весьма усложняется уборка замерзших напорных рукавов в скатки и связанное с ним их транспортирование в пожарно-спасательное подразделение, что, в частности, приводит к сокращению срока их службы. Этим объясняется, что в регионах с суровыми природно-климатическими условиями порядка 35 % рукавов становятся непригодными к эксплуатации и подлежат списанию гораздо раньше установленных нормативами сроков [2].

Таким образом, в условиях низких температур являются весьма важными и актуальными вопросы обеспечения холодоустойчивости систем пожарных напорных рукавов (ПНР).

Следовательно, практика пожаротушения при низких температурах весьма нуждается в разработке новых эффективных и экономичных конструкций устройств

по подогреву воды в рукавах, а также комплекса эксплуатационных мер в дополнение к уже известным. Более того, по имеющимся экспериментальным данным известно [2], что нагрев потока на каждые $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ позволяет без перемерзания увеличить длину пожарной напорной рукавной линии на 50 м.

1. ПУТИ И СПОСОБЫ ПОДОГРЕВА ОГНЕТУШАЮЩЕЙ ЖИДКОСТИ В СИСТЕМАХ ПНР В ОСЕННЕ-ЗИМНИЙ ПЕРИОД

1.1. КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ НЕКОТОРЫХ ТЕПЛОГЕНЕРАТОРОВ

Для исключения размораживания систем ПНР науке и технике известен ряд способов подогрева воды. Например, используют вставки в разрывы рукавных линий (А.С. 1586722 СССР), применяют температурно-активированную воду (патент РФ № 2030194), устанавливают защитные кожухи, надетые на пожарные разветвления и подачи в имеющийся зазор пламени паяльных ламп либо газовых горелок и т. п. [3].

Для осуществления нагрева воды также известны теплогенераторы Ю. С. Потапова «Юсмар» [4]. Этот теплогенератор (патент РФ № 2045715) представляет собой вихревую трубу Ранка-Хильша, через которую циркулирует вода, и в ней происходит ее подогрев (рис. 1).

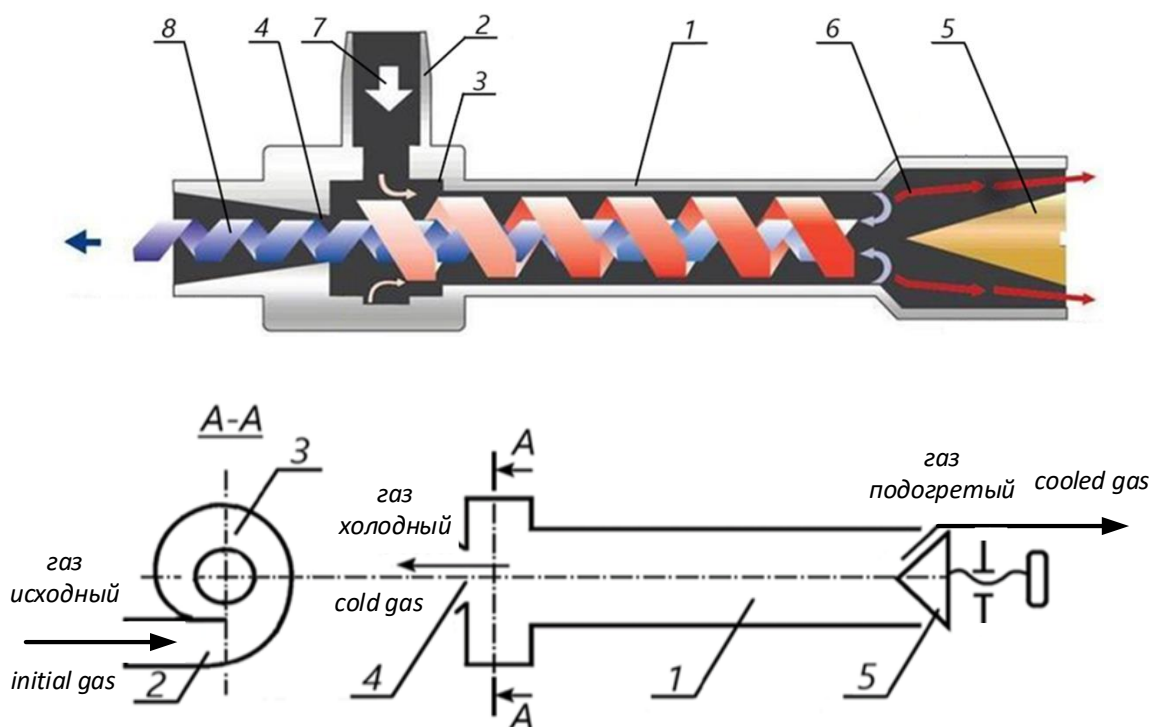


Рис. 1. Принципиальные схемы вихревой трубы Ранка-Хильша: 1 – труба цилиндрическая гладкая; 2 – сопло тангенциальное; 3 – улитка входная; 4 – диафрагма; 5 – дроссель; 6, 7, 8 – траектории движения газа в аппарате – подогретого, исходного холодного на входе и охлажденного соответственно

Fig. 1. Schematic diagrams of the Ranque-Hilsch vortex tube: 1 – smooth cylindrical pipe; 2 – tangential nozzle; 3 – inlet volute; 4 – diaphragm; 5 – throttle; 6, 7, 8 – path of gas movement in the apparatus - heated, initial gas cold at the inlet and cooled, respectively

В принципе эффект Ранка может быть реализован и для потока газа,

и для потока жидкости. Вихревая труба Ранка содержит трубу цилиндрическую

гладкую 1, снабженную соплом тангенциальным 2, улиткой 3, диафрагмой 4 с осевым отверстием и дросселем 5. При нагнетании газа под напором и за счет тангенциального ввода в вихревой трубе образуются два крупномасштабных вихревых жгута, движущихся по винтовым траекториям, один более холодный 8, чем исходный 7, а второй более горячий 6. При этом приосевые слои следуют через отверстие диафрагмы 4 в виде холодного потока, а периферийный горячий поток движется через дроссель 5.

Ю. С. Потапов, в своем вихревом теплогенераторе, в отличие от вихревой трубы Ранка, заменил газообразное рабочее тело (например воздух) жидким – водой.

В случае прикрытия дросселя 5 возрастает подача холодного потока через диафрагму 4 и, соответственно, уменьшается расход горячего. Одновременно изменяются температуры холодного и горячего потоков, а именно: у периферийного потока температура увеличивается, а у охлажденного, напротив, — температура еще более понижается.

Физическое своеобразие эффекта Ранка состоит в том, что горячие элементарные струйки газа или жидкости располагаются в вихре как бы внешне, а холодные — внутри, т. е. по оси прибора. В тоже время общеизвестно, что их более теплые слои, как имеющие меньшую плотность, и, соответственно, должны подниматься вверх, а в случае воздействия центробежных сил — стремиться к оси, а более холодные струйки имеют большую плотность и, соответственно, должны быть устремлены к периферии аппарата. А в данном случае все происходит с точностью до наоборот!

Таким образом, аппарат одновременно является как теплогенератором, так и хладогенератором. Данные вихревые аппараты выпускаются Ю. С. Потаповым серийно мощностью в диапазоне от 3 до 65 кВт.

Схема его вихревого теплогенератора, защищенного патентами, приведена на рис. 2.

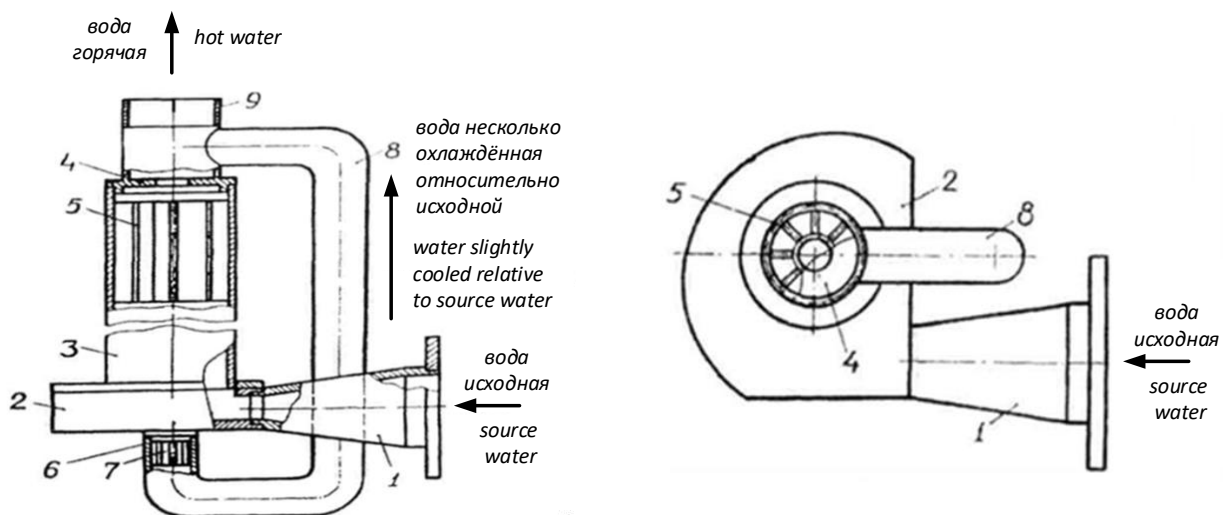


Рис. 2. Теплогенератор Ю. С. Потапова «Юсмар» (патент РФ № 2045715): 1-циклон; 2-корпус с циклоном, торцевая сторона которого соединена с цилиндрической частью корпуса в основании которой противолежащей циклону смонтировано тормозное устройство; 3- тормозное устройство, которое выполнено по меньшей мере из двух радиально расположенных ребер, закрепленных на центральной втулке. За тормозным устройством

в цилиндрической части корпуса установлено дно – 6, с выходным отверстием, сообщаемым с выходным патрубком – 8, соединенным с циклоном с помощью перепускного патрубка – 9, причем соединение выполнено на торце циклона, противолежащем цилиндрической части корпуса и соосно последнему

Fig. 2. Heat generator Yu.S. Potapova “Yusmar” (RF patent No. 2045715): 1-cyclone; 2-body with a cyclone, the end side of which is connected to the cylindrical part of the body, at the base of which a braking device is mounted opposite the cyclone; 3 – braking device, which is made of at least two radially located ribs attached to the central bushing. Behind the braking device in the cylindrical part of the body there is a bottom - 6, with an outlet communicating with the outlet pipe - 8, connected to the cyclone using a bypass pipe - 9, and the connection is made at the end of the cyclone opposite the cylindrical part of the body and coaxially with the latter

Рабочий процесс теплогенератора Ю.С. Потапова «Юсмар». (Направление движения воды в аппарате показано стрелками, см. рис. 2.) Его инжекционный патрубок 1 присоединен круглым фланцем к центробежному насосу (на рис. 2 не показанному), подающему воду под давлением 0,4 – 0,5 МПа. Другой конец инжекционного патрубка 1 заканчивается прямоугольным отверстием, через которое вода попадает в улитку 2. Подаваемый тангенциально в улитку поток воды ускоряется в ней в вихревом движении и поступает в низкотемпературный конец цилиндрической вихревой трубы 3, диаметр которой значительно больше диагонали прямоугольного отверстия инжекционного патрубка 1. Закрученный вихревой поток в трубе 3 перемещается по винтовой спирали у стенок трубы к ее горячему концу, заканчивающемуся плоским донышком 4 с отверстием в его центре для выхода горячего потока. Диаметр этого отверстия в несколько раз меньше диаметра трубы 3. Перед донышком 4 в трубе 3 закреплено «тормозное» устройство 5 – спрямитель потока, выполненный в виде нескольких плоских пластин, радиально приваренных к центральной втулке, соосной с трубой 3.

Когда вихревой поток в трубе 3 движется по направлению к спрямителю потока 5, в центральной части потока рождается противоток. В нем вода, тоже вращаясь, движется по направлению к штуцеру 6,

врезанному в плоскую стенку улитки 2 соосно с трубой 3 и предназначенному для выпуска из вихревой трубы холодного потока. При взаимодействии основного (периферийного) вихревого потока и противотока в трубе 3 и происходит разделение воды на горячую (у стенок трубы 3) и холодную (у оси трубы 3).

В штуцере 6 холодного выхода вихревой трубы установлено еще одно тормозное устройство – спрямитель потока 7, аналогичный тормозному устройству 5. Оно служит для частичного превращения энергии вращения холодного потока в теплоту. Превратившись с помощью тормозного устройства 7 из не очень холодной в теплую, вода холодного потока по байпасу 8 поступает в патрубок 9 горячего выхода вихревой трубы, где смешивается с горячим потоком, выходящим из вихревой трубы через отверстие в ее донышке 4. Из патрубка 9 горячая вода поступает по присоединенному к нему трубопроводу либо непосредственно к потребителю горячей воды, либо в теплообменник, передающий теплоту в контур потребителя (на схеме не показаны). В последнем случае отработанная вода (уже с меньшей температурой) возвращается из теплообменника по замкнутому контуру в насос, который вновь подает ее в теплогенератор.

В табл. 1 приведены рабочие параметры нескольких модификаций вихревых теплогенераторов описанной конструк-

ции, поставленных на серийное производство и выпускаемых промышленностью для продажи.

Таблица 1
Некоторые технические характеристики вихревых теплогенераторов ЮСМАР

Table 1
Some technical characteristics of YUSMAR vortex heat generators

Вихревой теплогенератор ЮСМАР Vortex heat generator YUSMAR	- 1М	- 2М	- 3М	- 4М
Габариты (диаметр, длина), мм Dimensions (diameter, length), mm	54/600	76/800	105/1000	146/1200
Масса, кг Weight, kg	7,5	10	15	28
Рабочее давление, МПа Working pressure, MPa	0,5	0,5	0,6	0,6
Расход воды, м ³ ·час ⁻¹ Water consumption, m ³ h ⁻¹	12	25	50	100
Мощность насоса, кВт Pump power, kW	2,7	5,5	11	45
Вырабатывает теплоты, ккал·ч. ⁻¹ /кВт Generates heat, kcal h ⁻¹ / kW	<u>3 600</u> 4,2	<u>6 600</u> 7,7	<u>13 300</u> 15,5	<u>75 800</u> 88,2
КПЭ [1] – коэффициент преобразования потребляемой вихревым генератором механической энергии в тепловую, % KPI [1] – conversion coefficient of mechanical energy consumed by a vortex generator into thermal energy, %	156	140	141	196

Теплогенераторы Ю. С. Потапова для нагрева жидкости экономичны, обладают экологически чистыми характеристиками и, в связи с отсутствием движущихся и вращающихся частей, высоким ресурсом (до 15 лет), надежны, не требуют технического обслуживания, работают без электричества или химикатов, компактны, безопасны, с регулируемостью температуры. Данные устройства обладают определенными массогабаритными характеристиками, кроме того, вода в аппарат входит тангенциально, движется в нем по винтовой траектории, и потому его гидравлическое сопротивление и падение напора в них достаточно велико.

Также известен гидродинамический кавитационный теплопарогенератор А. Г. Кочурова [5] (см. рис. 3).

Теплопарогенератор А. Г. Кочурова марки ВТГ-110 работает следующим образом. После заполнения теплосети водой включается привод, приводящий в движение рабочий диск 7, который вращается вместе с жидкостью, находящейся в полости между рабочим диском 7, крышками 5, 6 и корпусом 1. При этом жидкость перемещается от центральной зоны полости к периферии, закручивается, испытывает циклы сжатия и разрежения – кавитацию, образованию которой способствуют выемки 11 на рабочем диске и выемки 11а на крышках 5, 6. Выполнение дополнитель-

ных выемок 13 на рабочем диске и дополнительных выемок-лунок 11а на крышках

5, 6 и корпусе усиливает процесс кавитации.

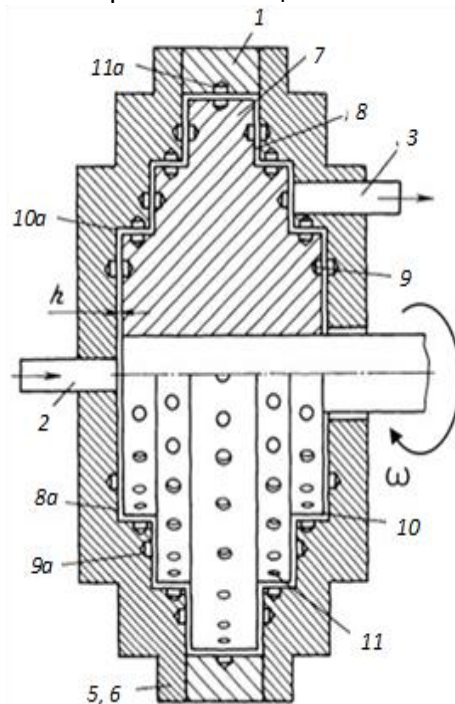


Рис. 3. Принципиальная схема гидродинамического кавитационного теплопарогенератора А. Г. Кочурова марки ВТГ-110 (патент РФ 2277681): 1 – корпус; 2, 3 – патрубки входной и выходной; 4 – вал; 5, 6 – крышки; 7 – рабочий диск в виде линзы с кольцевыми, концентрично расположенными площадками – 8 и 8а, на которых выполнены выемки-лунки – 9 и дополнительные выемки-лунки – 11 и 11а. По отношению к корпусу 1 и крышкам 5 и 6 рабочий диск 7 установлен с некоторым зазором – h

Fig. 3. Schematic diagram of the hydrodynamic cavitation heat and steam generator A. G. Kochurov brand VTG-110 (RF Patent 2277681): 1 – body; 2, 3 – inlet and outlet pipes; 4 – shaft; 5, 6 – covers; 7 – working disk in the form of a lens with annular, concentrically located platforms – 8 and 8a, on which recesses-holes – 9 and additional recesses-holes – 11 and 11a are made. In relation to the body 1 and covers 5 and 6, the working disk 7 is installed with a certain gap – h

В данном техническом решении реализованы три известных физических явления: трение между рабочим диском, крышками и жидкостью; в потоке воды возникают многочисленные зоны разрежения и сжатия – кавитационные пузырьки; синтез молекул воды, т.е. их объединение в ассоциаты. Известно, что при таком соединении в ассоциаты 10 % молекул воды она быстро закипает. В результате происходит ее интенсивный нагрев либо даже парообразование, в функции от числа оборотов рабочего диска, числа выемок-лунок на корпусе,

крышках, а также на рабочем диске. Такими конструктивно-техническими решениями достигается подогрев воды посредством кавитации в данном устройстве, а также и в теплогенераторах А. Д. Петракова, Р. И. Мустафаева [6].

Теплоносителем от генератора А. Г. Кочурова марки ВТГ-110 подпитываются системы ПНР, а также подогревается вода в емкости пожарного автомобиля (ПА). На месте ЧС устройство может использоваться для горячего водоснабжения и отопления отдельных зданий, к примеру учреждений здравоохранения, культуры и

т. п. Таким вихревым аппаратом оборудуются пожарно-спасательный автомобиль ПСА-С-6,0-40(6339) [7] и пожарная автоцистерна АЦ СОР 2,0-20/10 «Гефест», также изготавливаемая ОАО «Варгашиным заводом ППиСО».

При мощности, 110 кВт потребляемой данным спецагрегатом, его теплопроизводительность составляет 122,1 кВт, т. е. коэффициент преобразования потребляемой генератором механической энергии в тепловую (КПЭ – назван так по аналогии с холодильным коэффициентом) [3] равен 111 %. Таким образом, при работе в аппарате имеют место развитие, т. е. значительные по величине, кавитационные явления. Вследствие указанных воздействий [8] в гидродинамических установках имеет место износ статора и ротора, в результате производится частая их замена. Однако какие-либо данные о ресурсе данного агрегата отсутствуют в открытых источниках. Также очевидно, что для привода он нуждается в достаточно мощном силовом агрегате.

1.2. КОНСТРУКЦИЯ СТАТИЧЕСКОГО (ПАССИВНОГО) КАВИТАТОРА

При проработке конструктивных решений аппарата за основу был принят ряд известных кавитирующих элементов для реализации в конструкциях пассивных (статических) кавитаторов, которые представлены в источнике [9]. В частности, винтообразные пластины либо тангенциальный (т. е. по касательной) ввод потока в рабочую камеру, плоские перегородки со сквозным отверстием/отверстиями различных форм и размеров, резкое расширение или сужение канала, резкие повороты потока и т. п.

Технической задачей разработки являлась эффективная и экономичная, простая и компактная конструкция теплогенератора, предназначенного для снижения темпов ледообразования в рукавах

и обеспечения необходимой интенсивности подачи огнетушащей жидкости в течение всего времени тушения пожара, повышения надежности и ресурса напорных рукавов в низкотемпературных условиях посредством подогрева потока, обеспечивающего увеличение их длины без замерзания, которое достигается материализацией в его конструкции физического явления кавитации.

Поставленная задача решилась тем, что была разработана, изготовлена в металле, протестирована, апробирована и предложена к внедрению в системе с пожарным спецагрегатом типоразмера ПН-40 конструкция статического 4-ступенчатого теплогенератора кавитаторного типа [10].

Кавитатор теплогенерирующий статический сконструирован на кафедре ПАСТиСТС Уальского института ГПС МЧС России на основе корпусных деталей серийного пожарного гидроэлеватора Г-600А. Для возникновения кавитации, разномасштабных пульсаций напора, ударных воздействий по импульсному типу, турбулентности и отрывных струй, других нелинейных эффектов в конструкции реализован каскад последовательно расположенных известных классических кавитирующих элементов. Комбинация включает: решетку, винтообразные элементы, внезапное сужение/расширение канала, влияющее на скорость потока и создание мощного вихреобразования. (Причем уже по итогам первых серий тестов от применения решетки на входе в кавитатор было решено отказаться, поскольку ее наличие существенно снижало величину напора после аппарата.) Кроме того, в аппарате листом из алюминиевого сплава и сваркой по периметру полностью заглушена фильтровальная решетка Г-600А.

На рис. 4 представлена конструкция кавитатора.

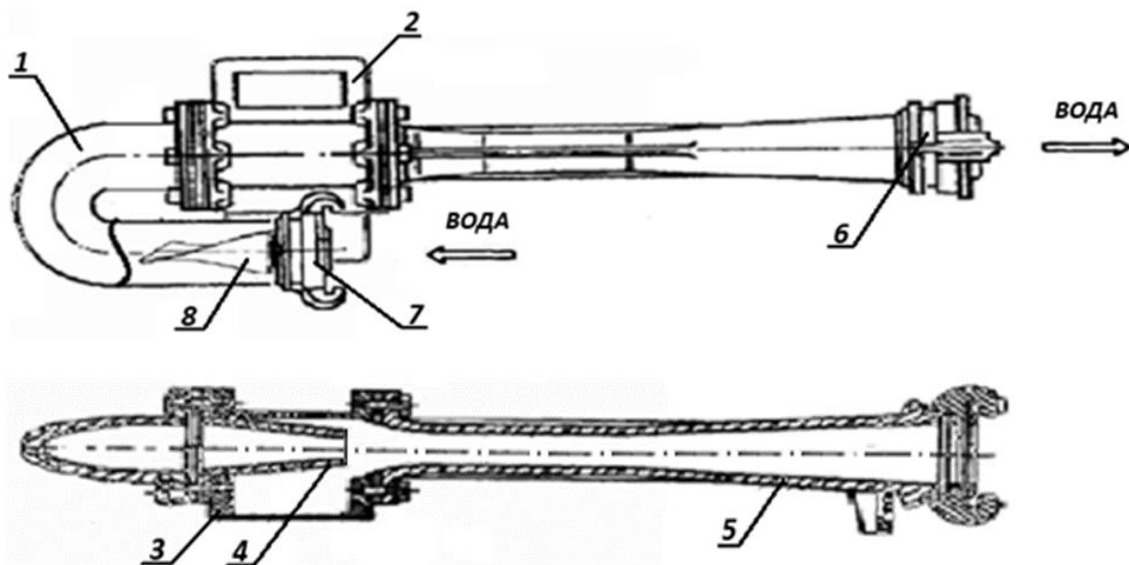


Рис. 4. Кавитатор теплогенерирующий статический в сборе: 1 – колено крутоизогнутое на 180 градусов; 2 – корпус с пластиной – 3, которая по периметру приварена к корпусу; 4 – сопло, специально изготовленное с отверстием sprыска диаметром 25 мм; 5 – диффузор; 6 и 7 – головки пожарные для присоединения рукавов; 8 – кавитирующие элементы винтообразного типа (предлагаемая теплоизоляция устройства условно не показана)

Fig. 4. Heat-generating static cavitator assembly: 1 – 180-degree steeply bent elbow; 2 – body with plate – 3, which is welded to the body along the perimeter; 4 – specially made nozzle with a spray hole with a diameter of 25 mm; 5 – diffuser; 6 and 7 – fire heads for connecting hoses; 8 – helical-type cavitating elements (the proposed thermal insulation of the device is not shown)

На рис. 5 схематично показаны (вид *а*) размещенные в приемной части крутоизогнутого колена *1* кавитатора подряд без зазора два винтообразных кавитирующих элемента *8*. Каждый из них изготовлен из полосы нержавеющей стали длиной 100 мм, толщиной 4 мм, шириной, равной внутреннему диаметру колена – «в свету», т. е. 81 мм, и с одинаковыми углами закрутки, равными 90° . Но их спирали

направлены в противоположные стороны (т. е. спирали разнонаправленные): одна имеет правую закрутку (по часовой стрелке), а другая – левую. Причем у торцов пластин фасок не предусмотрено.

На рис. 5 (вид *б*) изображены 3D-проекция взаимно-перпендикулярного расположения двух кавитирующих элементов винтообразного типа *8* и их ортогональная проекция – вид *в*.

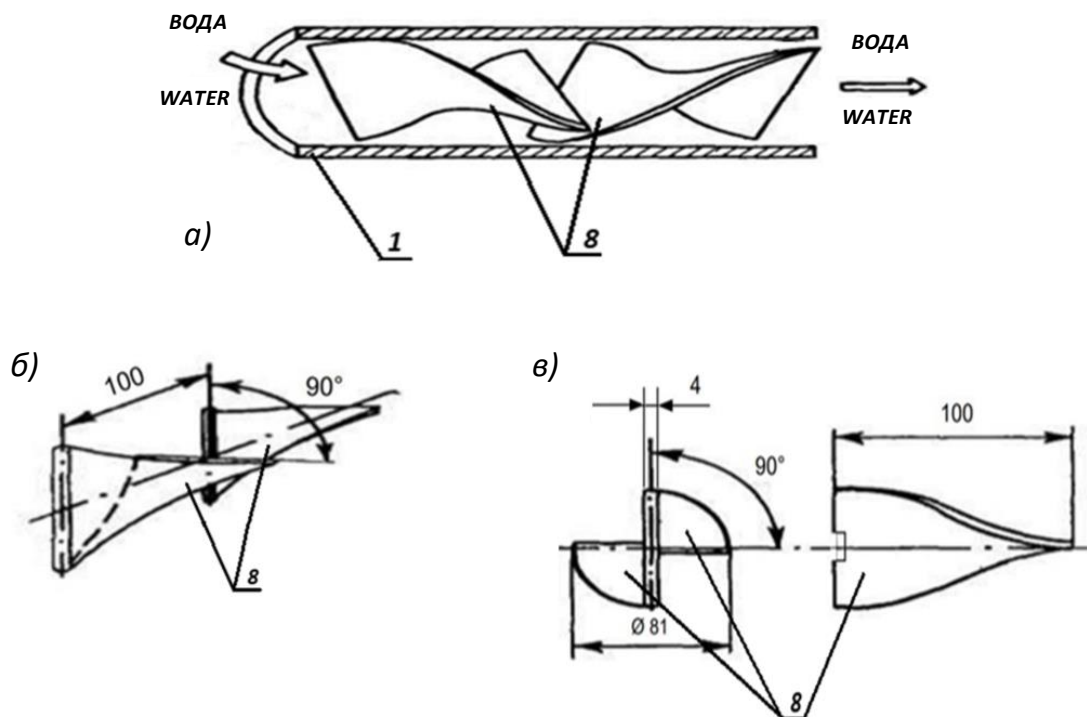


Рис. 5. Схема размещения в приемной части крутоизогнутого колена – *1* кавитатора двух винтообразных кавитирующих элементов – *8*. (Номера позиций одинаковы с рис. 4.)

Fig. 5. Scheme of placement in the receiving part of a steeply curved elbow – *1* cavitator of two helical cavitating elements – *8*. (The position numbers are the same as in Fig. 4.)

Для увеличения эффективности подогрева огнетушащей жидкости корпус аппарата эффективно теплоизолируют двумя слоями. В частности, используют один слой растягивающегося искусственного полотна типа «стрейч», который выполнен из полиэстера, капрона, причем ближе к корпусу гидроэлеватора располагается сторона синтетической ткани, имеющая блестящее отражательное покрытие.

Толщина нанесенного теплоизолирующего пенополиуретанового слоя составляет 40–60 мм.

Кавитатор работает следующим образом. При следовании оперативной спецтехники он размещается и фиксируется, например, в одном из отсеков ПА либо на технологическом креплении на крыше автомобиля. Зимой по прибытии к месту вызова в процессе боевого развер-

тивания сил и средств [11] кавитатор снимают с ПА и монтируют в разрыве напорной рукавной линии. После чего водитель ПА тем или иным способом заполняет водой полость пожарного насоса. Затем он производит выжим педали сцепления и включает привод спецагрегата. Далее водитель плавно отпускает педаль сцепления, несколько прибавляет число оборотов двигателя ПА и, соответственно, напор на коллекторе насоса и не торопясь, плавно полностью открывает на его коллекторе напорный патрубок левого (либо правого) борта. Затем, согласно указанию руководителя тушения пожара, доводит напор на спецагрегате до требуемого. Таким образом вода из насоса поступает в рукавную линию и далее в аппарат.

На первой ступени кавитатора, т. е. на двух винтообразных кавитирующих стальных пластинах с одинаковыми углами закрутки, но со спиральями, направленными в противоположные стороны, значительно увеличивается турбулентное вихреобразное движение жидкости. Затем нестационарные гидромеханические процессы в ней еще более усиливаются в крутозагнутом колене – суть второй ступени аппарата. Далее поток истекает из spryska сопла, где имеет место местное повышение скорости потока при снижении давления, т. е. кавитация уже становится гидродинамической. Четвертая ступень кавитатора – это суть резкое расширение потока. Так осуществляется подогрев воды в напорных рукавах все время работы пожарного насоса на месте вызова. После выполнения боевой задачи в процессе свертывания сил и средств кавитатор легко демонтируют. Его размещают на штатном технологическом креплении в отсеке или на крыше автомобиля.

Техническим результатом кавитатора является повышение эффективности тушения и сохранение ресурса рукавов,

уменьшение трудоемкости работ по разборке рукавных линий в низкотемпературных условиях. Технологическим преимуществом кавитатора является исключение необходимости применения специального оборудования для реализации внешнего подогрева рукавной арматуры и, соответственно, связанных с ним предварительных операций для осуществления розжига теплоисточников внешнего нагрева: паяльных ламп, горелок и т. д.

Данное энергонезависимое теплогенерирующее устройство кавитационного типа обладает небольшими массогабаритными характеристиками. Его предлагается оборудовать эффективной теплоизоляцией и стационарно разместить в насосном либо смежных отсеках ПА. Предложенное устройство весьма дешевое, простое в изготовлении и эксплуатации и может найти применение в практике пожарно-спасательных гарнизонов 29 регионов страны с холодным климатом.

Все это в целом повышает эффективность тушения пожаров в низкотемпературных условиях при условии комплектования основных пожарных автомобилей настоящим кавитатором.

2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИЧЕСКОГО КАВИТАТОРА ПРЕДЛАГАЕМОЙ КОНСТРУКЦИИ

Для проведения эмпирических исследований были разработаны методика их проведения и соответствующая установка.

2.1. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Получение теплогенерирующей характеристики съемного малогабаритного статического теплогенерирующего кавитатора производилось в процессе натурных испытаний на экспериментальной установке (рис. 6).

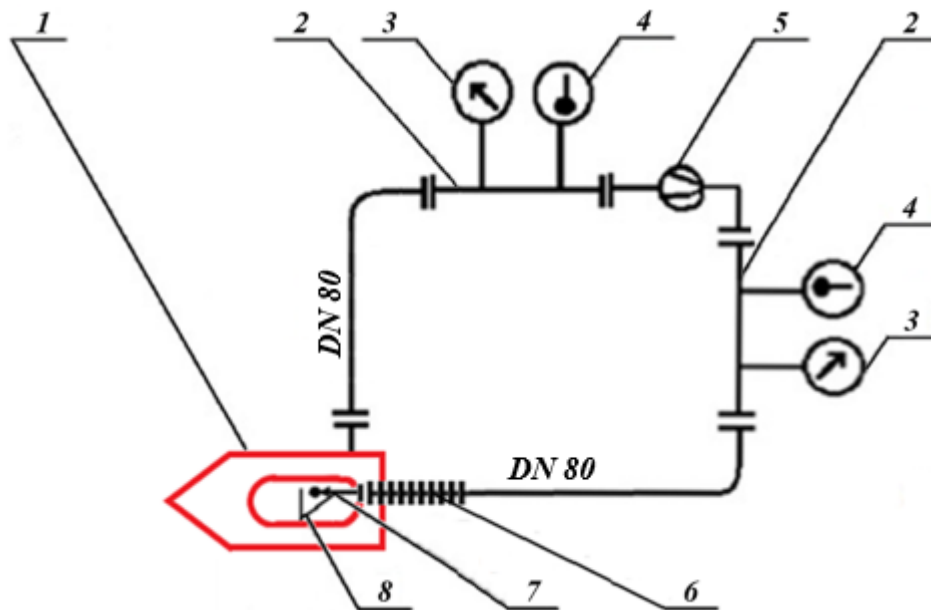


Рис. 6. Схема замкнутой экспериментальной установки для тестирования теплогенерирующего кавитатора: 1 – автоцистерна пожарная с насосом типоразмера ПН-40; 2 – вставка в рукавную линию; 3 – манометр; 4 – термометр цифровой малогабаритный ТЦМ 9410 [12] производства ООО НПП «Элемер», причем его первичный преобразователь (ТТЦ 06-1300-2НН(Н) с пределами измерения 0–1300 °С, разрешающей способностью 0,1 °С и временем установления теплового равновесия 45 с) располагался поперек оси вставки и, соответственно, транзитной струи воды. Кроме того, в процессе проведения экспериментов термометры цифровые ТЦМ 9410 менялись местами неоднократно; 5 – кавитатор теплогенерирующий; 6 – рукав напорно-всасывающий диаметром 77 мм (DN 80); 7 – ствол ручной пожарной РС-70 со свинченным sprыском; 8 – устройство для гашения реакции струи

Figure 6. Diagram of a closed experimental setup for testing a heat-generating cavitator: 1 – fire tanker with a pump of standard size PN-40; 2 – insert into the hose line; 3 – pressure gauge; 4 – digital small-sized thermometer TCM 9410 [12] manufactured by NPP Elemer LLC, and its primary transducer (TTTs 06-1300-2NN(N) with measurement limits 0–1300 °C, resolution 0.1 °C and time to establish thermal equilibrium 45 c) was located across the axis of the insert and, accordingly, the transit jet of water. In addition, during the experiments, digital thermometers TCM 9410 changed places several times; 5 – heat-generating cavitator; 6 – pressure-suction hose with a diameter of 77 mm (DN 80); 7 – manual fireman's barrel RS-70 with screwed spray; 8 – device for extinguishing the reaction of the jet

Для реализации схемы (рис. 6), кроме того, было применено следующее оборудование:

- два рукава пожарных напорных диаметром 77 мм (DN 80);
- секундомер;
- термометр для измерения температуры окружающего воздуха;
- набор гаечных ключей.

2.2. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ОПЫТОВ

Оценка эффективности предлагаемого технического решения по подогреву воды в напорных рукавах согласно Патенту РФ 222925 (патентообладатель Ури ГПС МЧС России [10]) была осуществлена зимой и весной 2023 года по итогам натуральных экспериментов.

Сравнительные эмпирические исследования и обработка их результатов необходимы не только для качественных, но и количественных выводов о вкладе в интегральную эффективность как отдельно каждого из кавитационных элементов, предлагаемых к применению в конструкции теплогенерирующего кавитатора, так и их кумулятивного действия, т. е. в пакете.

Перед тестированием было проведено сезонное техническое обслуживание пожарного автомобиля.

Перед тестированием также были поверены оба термометра ТЦМ в органах Государственной метрологической службы согласно [13] и [14], аналогично оба манометра – в ЦБИТ МЧС России.

В процессе проведения эксперимента в протоколе регистрировалась температура окружающего воздуха. Надежность ($N = 0,9-0,95$) обеспечивалась тем, что каждый опыт проводился не менее 2–3 раз.

Первая серия экспериментов была реализована с объектом исследования – кавитатором, полностью укомплектованным всеми предлагаемыми элементами, обеспечивающими известные кавитационные эффекты.

Для исследования разработанных вариантов теплогенерирующих конструкций кавитатора ПА с насосом типоразмера ПН-40 был установлен по схеме (рис. 5). Далее исследование проводилось по следующей методике.

1. Для измерения отдельных параметров были расставлены участники испытания.

2. Из емкости автоцистерны заполнить полость спецагрегата водой и запустить ее двигатель.

3. Включить коробку отбора мощности (КОМ) и сцепление пожарного автомобиля.

4. Путем постепенного увеличения напоров и, соответственно, расходов воды

от насоса снять теплогенерирующую характеристику полнокомплектного кавитатора (не менее 6–7 точек). Для чего:

- 4.1. При давлении порядка 0,15–0,2 МПа (1,5–2 атм) плавно полностью открыть правую напорную задвижку на коллекторе спецагрегата, увеличить частоту вращения вала рабочего колеса насоса и довести давление воды до 0,3 МПа (3 атм) по манометру, расположенному на первой по ходу потока вставке. Далее необходимо по секундомеру отследить период времени установления теплового равновесия цифрового термометра ТЦМ 9410 (не менее 45 с) и дать команду другому экспериментатору зарегистрировать в протоколе значения показателей манометра и термометра первой вставки. Третий участник протоколирует аналогичные параметры с измерительных приборов, расположенных на второй вставке.

- 4.2. Далее увеличить количество оборотов вала рабочего колеса насоса и довести давление до 0,4 МПа (4 атм) по манометру на первой вставке. Далее необходимо по секундомеру отследить период времени установления теплового равновесия цифрового термометра ТЦМ 9410 (не менее 45 с) и дать команду другому экспериментатору зарегистрировать в протоколе значения показателей манометра и термометра первой вставки. Третий участник протоколирует аналогичные параметры с измерительных приборов, расположенных на второй вставке.

Затем в пп. 4.3–4.7 повторить действия пп.4.1–4.2, т. е. дискретно, с тем же шагом 0,1 МПа (1 атм) повышая давление на первом манометре до 0,9 МПа (9 атм), с отслеживанием периода времени установления теплового равновесия цифрового термометра ТЦМ 9410 (не менее 45 с) и с регистрацией значения параметров.

- 4.8. Затем повысить частоту вращения вала рабочего колеса насоса и довести давление по первому манометру до номи-

нального. Далее необходимо по секундомеру отследить период времени установления теплового равновесия цифрового термометра ТЦМ 9410 (не менее 45 с) и дать команду другому экспериментатору зарегистрировать в протоколе значения показателей манометра и термометра первой вставки. Третий участник протоколирует аналогичные параметры с измерительных приборов, расположенных на второй вставке.

5. Повторить действия пп.4.1–4.8, но только в противоположном направлении, т. е. дискретно, с тем же шагом понижая давление на первом манометре до минимального 0,3 МПа (3 атм) и с отслеживанием периода времени установления теплового равновесия цифрового термометра ТЦМ 9410 (не менее 45 с). Результаты измерений напоров по манометрам и температур по цифровым термометрам занести в протокол.

6. Внести изменения в конструкцию теплогенерирующего кавитатора. А именно: демонтировать поочередно сначала перегородку с 50 отверстиями на входе воды в аппарат и провести соответствующую серию экспериментов согласно Методике (см пп. 4–5).

7. Для следующего эксперимента демонтировать из кавитатора сопло в сборе с насадкой и провести соответствующую серию экспериментов согласно Методике (см. пп. 4–5).

3. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ОПЫТОВ

Полученные в экспериментах величины были занесены в сводный протокол (табл. 2). Зарегистрированные величины параметров были определены как среднее арифметическое результатов соответствующих измерений при экспериментах сначала с восходящими, а затем с нисходящими трендами изменения величин давления и расходов воды через кавитатор.

В частности, потери напора в аппарате устанавливались как разность показаний манометров на первой и второй вставках.

Расход пресной воды через кавитатор определялся по известному диаметру \varnothing 25 мм ствола ручного пожарного РС-70 со свернутым спрыском, давлению на выходе из кавитатора (по манометру второй вставки) и справочным числовым данным [13].

Все результаты последующих вычислений заносились в протокол испытаний.

Так, теплогенерирующие мощности кавитатора ΔN_1 , кВт, на каждом из указанных режимов были определены по известной зависимости:

$$\Delta N_1 = C_p Q \Delta t,$$

где C_p – удельная теплоемкость пресной воды при температуре 0 °С, $C_p = 4,212$ кДж / (кг·К) [16]; Q – расход пресной воды, кг/с через кавитатор; Δt – увеличение температуры воды на выходе t_2 из кавитатора над входом в него t_1 . Полученные расчетные данные размещены в столбце 10 табл. 2.

Для применения феноменологического подхода при определении эффективности подогрева воды в представленной конструкции пассивного кавитатора в сравнении с линейкой вихревых теплогенераторов «Юсмар» конструкции Ю. С. Потапова, а также с теплопарогенератором А. Г. Кочурова марки ВТГ-110 было необходимо определить КПЭ аппарата на разных режимах.

Для этого гидродинамические потери мощности потока ΔN_2 , кВт, в нем рассчитывались по формуле:

$$\Delta N_2 = \rho g Q \Delta H \cdot 10^{-3},$$

где ρ – плотность пресной воды, $\rho = 1\,000$ кг/м³ [18]; g – ускорение свободного падения, $g = 9,81$ м/с²; Q – расход пресной воды, м³/с через кавитатор; ΔH – потери напора воды в аппарате на выходе $H_{\text{вых}}$ относительно входа $H_{\text{вх}}$ в него.

Полученные таким образом расчетные данные были занесены в столбец 9 табл. 2.

А затем коэффициенты преобразования потребляемой генератором механической энергии в тепловую (КПЭ) определены из отношения:

$$\text{КПЭ}_i = (\Delta N_1 / \Delta N_2) \cdot 100 \%$$

Расчетные данные размещены в столбце 11 табл. 2.

Результаты и их обсуждение

Результаты предэксплуатационных тестирований теплогенерирующего кавитатора пассивного типа предложенной конструкции в ходе межведомственных опытно-исследовательских учений «Безопасная Арктика-2023» свидетельствуют об его определенной эффективности.

Так, действительно, при температуре окружающего воздуха в тестированиях -15°C и в диапазоне давлений на его входе $0,72-1,0$ МПа температура воды на выходе из кавитатора возросла на величину от $0,1$ до $0,2^\circ\text{C}$. Это позволит увеличить длину рукавной напорной линии без ее перемерзания порядка на 100 метров [2]. В экспериментах давление потока после аппарата составляло от $0,5$ до $0,68$ МПа, а подача воды находилась в пределах $15,1 - 17,6$ л/с.

Как предполагалось, теплогенерирующая мощность кавитатора в экспериментах зависит от давлений на входе и находилась в диапазоне от $6,4$ до $14,8$ кВт. При этом гидравлические потери мощности потока воды в аппарате составили до $5,52$ кВт. Таким образом, величины КПЭ кавитатора изменялись от $195,3$ до $268,1\%$ (см. табл. 2).

Максимальные КПЭ вихревых теплогенераторов ЮСМАР (см. табл. 1) и у теплопарогенератора А. Г. Кочурова марки ВТГ-110 составили 196% и 111% , соответственно. Следовательно, при эксплуатации предлагаемого кавитатора при значениях напоров на входе в аппарат в диапазоне $0,72-1,0$ МПа величины его удельных теплогенерирующих параметров (КПЭ) превышают аналогичные характеристики у известных конструкций на $15-20\%$.

Данное энергонезависимое теплогенерирующее устройство кавитационного типа обладает небольшими массогабаритными параметрами. Его предлагается оснастить эффективной теплоизоляцией и стационарно разместить в насосном или смежных отсеках ПА.

Выводы

Кавитация относится к физическим эффектам, промышленное использование которых в настоящее время активно развивается, не будучи полно и глубоко исследованным. Систематическими научными исследованиями применения явления кавитации в пожарной охране России никто не занимается. Можно констатировать, что физический механизм получения тепловой энергии в кавитаторе изучен не полностью, а полученные результаты свидетельствуют о необходимости продолжения экспериментальных исследований по эффективной реализации явления кавитации для подогрева воды в рукавах, а также по разработке и тестированию новых конструктивно-технических решений кавитаторов разных типов и назначений.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Плеханов В. И. Организация работы тыла на пожаре. М. : Стройиздат, 1987. 128 с.
2. Алешков М. В. Повышение работоспособности напорных рукавных линий при тушении пожаров в условиях низких температур : автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 1990. 23 с.
3. Веттегрен В. И., Ложкин В. Н., Савин М. А. Эффективная эксплуатация основных пожарных автомобилей при низких температурах : монография. 2-е изд., перераб. и доп. Екатеринбург : Уральский институт ГПС МЧС России, 2019. 357 с.

4. Потапов Ю. С., Фоминский Л. П. Вихревая энергетика и холодный ядерный синтез с позиции теории движения. Кишинёв ; Черкассы : ОКО-Плюс, 2000. 387 с.
5. Патент № 2277681 Российская Федерация, МПК F24J 3/00 (2006.01) Теплопарогенератор : № 2005100340/06 : заявл. 11.01.2005 : опубл. 10.06.2006 / Кочуров А. Г. // Yandex.ru : патенты. URL: https://yandex.ru/patents/doc/RU2277681C1_20060610 (дата обращения: 17.03.2024).
6. Шаров В. Вы будете смеяться господа? // Изобретатель и рационализатор. 2005. № 3. С. 20–21.
7. ОАО «Варгашинский завод ППиСО» Пожарно-спасательный автомобиль исполнения ХЛ (ПСА-С) ПСА-С-6,0-40(6339) модель 40ВР : руководство по эксплуатации 40ВР-00-00-00РЭ. 2011. 30 с.
8. Савин М. А., Курбатова Д. К., Кацнельсон И. Э. О проблемных вопросах и перспективах применения явления кавитации в практике пожарной охраны // Техносферная безопасность : науч. интернет-журн. 2022. № 4 (37). С. 77–97. URL: <https://www.uigps.ru/nauka/tekhnosfernaya-bezopasnost-nauchnyy-elektronnyy-zh/soderzhanie-zhurnala--4-37/> (дата обращения: 05.06.2024).
9. Федоткин И. М., Гулый И. С. Кавитация, кавитационная техника и технология, их использование в промышленности (теория, расчеты и конструкции кавитационных аппаратов). Киев : Полиграфкнига, 1997. Ч. 1. 940 с.
10. Патент № 222925 Российская Федерация, МПК А62С 31/00, А62С 3/00. Устройство для подогрева жидкости в пожарных рукавах : № 2023128973 : заявл. 09.11.2023 : опубл. 23.01.2024 // Yandex.ru : патенты. URL: https://yandex.ru/patents/doc/RU222925C1_20240123 (дата обращения: 17.03.2024).
11. Об утверждении Боевого устава подразделений пожарной охраны, определяющего порядок организации тушения пожаров и проведения аварийно-спасательных работ : приказ МЧС России от 16.10.2017 г. № 444 // Гарант.ру : информационный интернет-портал. URL: <https://base.garant.ru/71846130/> (дата обращения: 05.06.2024).
12. Термометры цифровые малогабаритные ТЦМ 9410 : руководство по эксплуатации. НКГЖ. 405591. 003РЭ. 44 с.
13. ПР 50.2.006-94. ГСИ. Поверка средств измерений. Организация и порядок проведения.
14. Термометры цифровые малогабаритные ТЦМ 9410. Методика поверки : рекомендации МИ 2996–2006.
15. НПБ 163-97. Пожарная техника. Основные пожарные автомобили. Общие технические требования. Методы испытаний.
16. Михеев М. А., Михеева И. М. Основы теплопередачи. М. : Энергия, 1973. 320 с.

REFERENCES

1. Plekhanov V.I. Organization of rear work during a fire. Moscow, Stroyizdat, 1987; 128. (rus).
2. Aleshkov M.V. Increasing the performance of pressure hose lines when extinguishing fires at low temperatures: abstract of thesis. dis...cand. tech. Sci. Moscow, 1990; 23. (rus).
3. Vettegren V.I., Lozhkin V.N., Savin M.A. Effective operation of basic fire fighting vehicles at low temperatures: monograph – 2nd ed., revised. and additional. Ekaterinburg, Ural State Fire Service Institute of the Ministry of Emergency Situations of Russia, 2019; 356. (rus).
4. Potapov Yu.S., Fominsky L.P. Vortex energy and cold nuclear fusion from the perspective of the theory of motion. Chisinau, Cherkassy “ОКО-Plus”, 2000; 387. (rus).
5. Patent No. 2277681 Russian Federation, IPC F24J 3/00 (2006.01) Heat steam generator : No. 2005100340/06 : application 11.01.2005 : publ. 10.06.2006 / Kochurov A. G. // Yandex.ru : patents. URL: https://yandex.ru/patents/doc/RU2277681C1_20060610 (accessed 03/17/2024). (rus).
6. Sharov V. Will you laugh, gentlemen? // Inventor and innovator. 2005; 3: 20–21. (rus).
7. OJSC “Vargashinsky plant PПиSO” Fire and rescue vehicle, execution HL (PSA-S) PSA-S-6.0-40 (6339) model 40VR. Operating manual 40VR-00-00-00RE, 2011; 30. (rus).
8. Savin M.A., Kurbatova D.K., Katsnelson I.E. On problematic issues and prospects for the application of the phenomenon of cavitation in the practice of fire protection. Technosphere safety. 2022; 4(37): 77–97. (accessed 05/06/2024). (rus).
9. Fedotkin I.M., Gulyi I.S. Cavitation, cavitation equipment and technology, their use in industry (theory, calculations and designs of cavitation devices). Part 1. Polygraphbook, 1997; 940. (rus).
10. 10. Patent No. 222925 Russian Federation, IPC А62С 31/00, А62С 3/00. Device for heating liquid in fire hoses : No. 2023128973 : application 09.11.2023 : publ. 23.01.2024 // Yandex.ru : patents. URL: https://yandex.ru/patents/doc/RU222925C1_20240123 (accessed: 03/17/2024). (rus).
11. On approval of the Combat Charter of fire protection units, which defines the procedure for organizing fire extinguishing and emergency rescue operations : Order of the Ministry of Emergency Situations of

Russia dated 16.10.2017 No. 444 // Garant.<url> : an information Internet portal. URL: <https://base.garant.ru/71846130/> (date of reference: 06/05/2024). (rus).

12. Digital small-sized thermometers TCM 9410 : operation manual. NKGJ. 405591. 003RE. 44 p. (rus).
13. PR 50.2.006-94. GSI. Verification of measuring instruments. Organization and procedure of the event. (rus).
14. Digital small-sized thermometers TCM 9410. Verification procedure : recommendations MI 2996-2006. (rus).
15. NPB 163-97. Fire fighting equipment. The main fire trucks. General technical requirements. Test methods. (rus).
16. Mikheev M. A., Mikheeva I. M. Fundamentals of heat transfer. M. : Energiya, 1973. 320 p. (rus).

Информация об авторах

Плотников Леонид Валерьевич, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры турбин и двигателей, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, Россия 620002 Екатеринбург, ул. Мира, 19. РИНЦ ID: 554502; Scopus AuthorID: 56993595200; WoS ResearcherID: K-7366-2019; ORCID: 0000-0002-4481-3607; Тел: 8(922)2916450; e-mail: leonplot@mail.ru

Савин Михаил Александрович, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры пожарной, аварийно-спасательной техники и специальных технических средств, Уральский институт ГПС МЧС России, 620062 Екатеринбург, ул. Мира, 22; Тел: 8(922)0277775; e-mail: m.savin50@mail.ru

Курбатова Диана Константиновна, студент, Уральский институт ГПС МЧС России, 620062 Екатеринбург, ул. Мира, 22; Тел: 8(902)5830745; e-mail: kkurbatovaddiana@mail.ru

Кацнельсон Игорь Эдуардович, 620088 Екатеринбург, ул. Кировградская д. 43 кв. 4; Тел: 8(902)4482422; e-mail: dianikur@mail.ru

Information about the authors

Leonid V. Plotnikov, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Turbines and Engines Department, Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Mira St., 19, Ekaterinburg, 620002, Russian Federation; RSCI ID: 554502; Scopus AuthorID: 56993595200; WoS ResearcherID: K-7366-2019; ORCID: 0000-0002-4481-3607; e-mail: leonplot@mail.ru

Mikhail A. Savin, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor of the Department of Fire, Rescue Equipment and Special Technical Equipment, Ural Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia, Mira St., 22, Yekaterinburg, 620062 Russian Federation; e-mail: m.savin50@mail.ru

Diana K. Kurbatova, student of Ural Institute of Ural Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia, Mira St., 22, Yekaterinburg, 620062 Russian Federation; e-mail: kkurbatovaddiana@mail.ru

Igor E. Katsnelson, 620088 Kirovgradskaya Str. 43, Yekaterinburg, 620062 Russian Federation; e-mail: dianikur@mail.ru

УДК 614.842.864

СОВРЕМЕННЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ДОКУМЕНТОВ ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ В ОБЛАСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Кононенко Елена Венедиктовна¹, Мокроусова Ольга Анатольевна¹,
Черкасский Григорий Александрович¹, Закинчак Андрей Игоревич²

¹ Уральский институт ГПС МЧС России, г. Екатеринбург, Россия

² Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, г. Иваново, Россия

АННОТАЦИЯ

Статья посвящена анализу действующих и перспективных направлений развития стандартизации как важнейшего инструмента технического регулирования в области обеспечения пожарной безопасности. Общими проблемами являются: добровольный характер требований большинства применяемых стандартов, обязательный характер требований технических регламентов, необходимость согласования требований множества применяемых документов по стандартизации различного уровня и сложность сопоставления имеющейся в них информации. В последнее время особое внимание руководства МЧС России уделялось упорядочению применения стандартов организаций, относящихся к вновь создаваемым техническим устройствам и методикам обеспечения пожарной безопасности объектов защиты и пожаротушения. При этом решения вопросов экспертизы подобных документов недостаточно для достижения необходимого уровня защиты объектов, в связи с чем стоит проблема эффективного применения стандартов организаций по управлению пожарной безопасностью, учитывающих как особенности конкретных организаций, так и актуальные нормативные документы с требованиями по безопасности. В плане согласования таких требований и разработки нового вида стандартов организаций представляется перспективным применение SMART-стандартов, которые в настоящее время принимаются как предварительные национальные стандарты – ПНСТ.

Ключевые слова: обновление правовой и нормативной базы, стандарты организаций, применение локальных нормативных актов

MODERN FEATURES OF THE APPLICATION OF STANDARDIZATION DOCUMENTS IN THE FIELD OF FIRE SAFETY

Elena V. Kononenko¹, Olga A. Mokrousova¹, Grigorii A. Cherkasskiy¹, Andrey I. Zakinchak²

¹ Ural Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia, Yekaterinburg, Russian Federation

² Ivanovo Fire and Rescue Academy of the Ministry of Emergency Situations of Russia, Ivanovo, Russian Federation

ABSTRACT

The article is devoted to the analysis of current and promising areas of standardization development as the most important tool of technical regulation in the field of fire safety. Common problems are the voluntary nature of the requirements of most applicable standards, the mandatory nature of the requirements of technical regulations, the need to harmonize the requirements of a variety of applicable standardization documents at various levels and the difficulty of comparing the information available in them. Recently, the leadership of the Ministry of Emergency Situations of Russia has paid special attention to streamlining the application of standards of organizations related to newly created technical devices and methods for ensuring fire safety of protection and fire extinguishing facilities. At the same time, solving the issues of examination of such documents is not enough to achieve the necessary level of protection of objects, and therefore there is a problem of effective application of standards of fire safety management organizations, taking into account both the specifics of specific organizations and current regulatory documents with safety requirements. In terms of harmonizing such requirements and developing a new type of standards for organizations, it seems promising to use SMART standards, which are currently being adopted as preliminary national standards – PNST.

Keywords: update of the legal and regulatory framework, standards of organizations, the application of local regulations

Введение

Деятельность по техническому регулированию в сфере обеспечения пожарной безопасности предполагает использование широкого спектра правовых актов и нормативных документов по стандартизации, содержащих положения технического и организационного характера. Современным направлением развития стандартизации в России и во всем мире является цифровизация, в том числе разработка и применение нового вида нормативных документов по стандартизации – SMART-стандартов.

В процессе развития стандартизации изменяются как содержание, так и характер требований документов, их обозначения и область применения. Так, с 1929 года и до вступления в действие закона Российской Федерации (РФ) «О стандартизации» от 10.06.1993 (№ 5154-1) [1] применение государственных стандартов было строго обязательным, а

их несоблюдение преследовалось по закону. В 1993 г. новый закон впервые установил добровольное применение стандартов и определил их виды: межгосударственные и государственные стандарты (ГОСТ и ГОСТ Р), стандарты отраслей (ОСТ), стандарты предприятий (СТП) и стандарты научно-технических и инженерных обществ и общественных организаций (СТО).

Особенности применения стандартов организаций

В 2003 г. на смену закону РФ «О стандартизации» пришел основополагающий Федеральный закон «О техническом регулировании» (от 27.12.2002 г. № 184-ФЗ) [2], в третью главу которого вошли вопросы стандартизации. Несколько изменилась терминология: стандарты, имевшие обозначение «ГОСТ Р», стали называться *национальными* стандартами; отраслевые стандарты вообще не были упомянуты в тексте [2], а обозначение «СТО» стали использовать для стандартов организаций (предприятий) вместо

«СТП». В дальнейшем многие ОСТ были переведены в статус национальных стандартов или СТО, появился и получил широкое распространение новый вид документов по стандартизации с обозначением «СП» – своды правил. Такой статус сейчас имеют нормативные документы по пожарной безопасности и безопасности в строительстве, конкретизирующие требования технических регламентов.

После длительного обсуждения, при активном участии РСПП – Российского союза промышленников и предпринимателей, – был принят отдельный Федеральный закон «О стандартизации в Российской Федерации» (от 29.06.2015 г. № 162-ФЗ) [3]. Этот правовой документ устанавливает случаи обязательного применения стандартов в статьях 6 и 26 [3], а также вводит понятия информационно-технических справочников наилучших доступных технологий (ИТС НДТ) и технических спецификаций (отчетов) как совершенно новых видов нормативных документов национальной системы стандартизации (НСС), предназначенных для ускорения внедрения инноваций в производственную практику.

Специфическим видом нормативных документов по стандартизации с 2011 г. являются ПНСТ – предварительные национальные стандарты, для которых предусмотрен ограниченный срок применения – 3 года. По окончании этого срока эффективные ПНСТ переводятся в статус национальных стандартов, а оказавшиеся невостребованными просто перестают действовать. До настоящего времени разработано свыше 850 ПНСТ, в том числе серия документов по безопасности в ЧС, например ПНСТ 775–2022 Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Безопасный город. Прогнозирование последствий разлива нефти и нефтепродуктов. Общие требования (введен с 01.07.2023 до 01.07.2026).

Согласно плану мероприятий («дорожной карте») по развитию стандартизации в РФ на период до 2027 г., одним из основных направлений является внедрение и развитие информационных технологий разработки (актуализации) документов по стандартизации. С 1 февраля 2024 г. действует первый документ из новой серии стандартов: ПНСТ 864–2023 «Умные (SMART) стандарты. Общие положения» [4]. SMART-стандарт рассматривается как совокупность данных, представленных в машиночитаемом, машиноинтерпретируемом и машинопонимаемом формате, что обеспечивает возможность прямой обработки с использованием информационных систем наряду с обычным чтением. Поскольку организации любого профиля могут применять ПНСТ 864–2023 на своем уровне и разрабатывать внутренние стандарты сразу в SMART-формате, учитывающем потребности конкретной организации и особенности ее бизнес-процессов, открывается перспектива разработки и применения СТО в цифровом формате.

SMART-стандарт предоставляет возможность обработки содержания и воспроизведения в воспринимаемой человеком форме, как программными средствами, так и в информационной системе пользователя без участия человека, в том числе с помощью SMART-сервисов. Виды содержания умного стандарта, согласно [4], приведены в табл. 1.

Основные элементы информационной структуры SMART-стандарта включают в себя атрибуты для идентификации редакции документа: оглавление, термины, сокращения, абзацы для задания фрагмента с текстом в человекочитаемом содержании, списки, перечисления, таблицы, графические изображения, формулы, гиперссылки, 3D-модели, ссылки на отдельные части документа, аудио- и видеоэлементы, базы данных, нормативные положения, электронные подписи, а

также формализованное изложение нормативных положений в виде машиночитаемого содержания.

Таблица 1

Рекомендуемые для SMART-стандарта форматы данных

Table 1

Recommended data formats for the SMART standard

Вид содержания Type of content	Рекомендуемый формат данных Recommended data format
Машиночитаемое Machine-readable	DOCX, ODF, PDF*
	HTML
Машиноинтерпретируемое Machine-interpreted	XML, XHTML
Машинопонимаемое Machine-readable	XML, форматы специальных видов Formats of special types
* Формат PDF не применять для машиночитаемого содержания SMART-стандарта документов национальной системы стандартизации	
* The PDF format should not be used for the machine-readable content of the SMART standard of documents of the national standardization system	

Характер требований – обязательный или рекомендательный – устанавливается разработчиком стандарта на основе действующих правовых и подзаконных актов. Представляется перспективным применение технологии SMART-стандартов для разработки стандартов организаций (СТО) как вида документов, к которому привлечено внимание руководства МЧС России и РСПП на современном этапе развития технического регулирования. Это обусловлено несколькими факторами.

В настоящее время стандарты организаций часто разрабатываются как документы системы менеджмента качества (СМК) в целях сертификации СМК предприятий или аккредитации и проверки компетентности испытательных лабораторий в национальной системе аккредитации.

Кроме того, СТО и технические условия (ТУ) как вид стандартов организации разрабатываются на новую продукцию, предлагаемую организацией. При этом,

с одной стороны, они направлены на ускоренное введение «продуктовых» инноваций, поскольку заменяют собой национальные или межгосударственные стандарты, которые на такую продукцию отсутствуют. В последнем случае, если объекты СТО/ТУ подлежат обязательному подтверждению соответствия в форме обязательной сертификации или декларирования соответствия, то локальные нормативные акты становятся документами, применяемыми органами по сертификации и испытательными лабораториями.

В настоящее время на рассмотрении в Государственной думе находится законопроект с предложениями РСПП о внесении изменений в действующий закон «О стандартизации в Российской Федерации» [3]. Предложения предусматривают обязательную экспертизу проектов СТО и ТУ на новые виды продукции в технических комитетах (ТК) по стандартизации или проектных технических комитетах

(ПТК), или в центрах стандартизации, метрологии и сертификации Росстандарта с последующей регистрацией СТО и ТУ в Федеральном информационном фонде стандартов. В целом это обусловлено объективной необходимостью упорядочения в сфере государственного регулирования безопасности и качества продукции.

С другой стороны, согласно действующей редакции статьи 6 «Технического регламента о требованиях пожарной безопасности», пожарная безопасность объекта защиты считается обеспеченной при выполнении в полном объеме требований пожарной безопасности, установленных техническим регламентом, а также одного из условий, в число которых входит следующее: «Выполнены требования пожарной безопасности, содержащиеся в стандарте организации, который согласован в порядке, установленном федеральным органом исполнительной власти, уполномоченным на решение задач в области пожарной безопасности» [5].

В настоящее время действует приказ МЧС России от 15.11.2022 № 1161 «Об утверждении порядка согласования стандартов организации, содержащих требования пожарной безопасности» [6], который не противоречит общей тенденции упорядочения, но и не учитывает многозадачность и специфику СТО как вида нормативных документов по стандартизации. Приказ распространяется на СТО, разработанные на средства обеспечения пожарной безопасности и пожаротушения, возможно, с применением новых методик их применения, поскольку в них «должно содержаться указание на техническую документацию изготовителя, обеспечивающую их идентификацию» [6].

К такой технической документации могут относиться национальные, межгосударственные стандарты, а также ТУ. Если речь идет о новом виде продукции, ТУ могут проходить экспертизу в соответствующем

техническом комитете по стандартизации согласно [3]. Как при выполнении технической экспертизы ТУ в техническом комитете, так и при выполнении процедуры согласования СТО, описанной в приказе [6], могут потребоваться результаты испытаний в аккредитованных испытательных лабораториях (центрах), выполненных заинтересованными заявителями.

В соответствии с приказом [6] предусмотрена также разработка СТО в случае отступлений от требований сводов правил по пожарной безопасности. Такие ситуации предусматривают согласование главным государственным инспектором РФ по пожарному надзору или одним из его заместителей по результатам работы комиссии. Других документов о порядке согласования СТО в России пока нет.

В целях организации работ по стандартизации в области пожарной безопасности действует технический комитет «Пожарная безопасность» (ТК 274). Ведение секретариата ТК 274 поручено ФГУ ВНИИПО МЧС России. Деятельность ТК 274 распространяется на такие объекты стандартизации, подпадающие под действие приказа [6], как пожарная техника, огнетушащие средства, технические средства систем пожарной безопасности. Положительное заключение ТК 274 рассматривается как документ, подтверждающий соответствие продукции – объекта СТО – требованиям пожарной безопасности.

В принципе такого документа уже достаточно для согласования и признания достойным регистрации локального нормативного акта, если разработчиком принято решение о включении его в Федеральный единый информационный фонд. Приказ [6] предусматривает расширение круга лиц, которые могут давать заключения по проектам СТО, при последующем согласовании его после рассмотрения комиссией.

Неслучайно в законопроекте по экспертизе и внесению в реестр локальных нормативных актов на новую продукцию используется обозначение СТО/ТУ, поскольку именно через ТУ – специфический вид стандартов организации – разработанные изготовителем, согласованные и утвержденные в установленном порядке, традиционно предусмотрена реализация требований к продукции. ТУ, разработанные в соответствии с положениями стандартов ГОСТ 2.114–2016 [7] на продукцию машиностроения и приборостроения или ГОСТ Р 1.3–2018 [8] на продукцию различных отраслей, должны устанавливать всесторонние требования к качеству и безопасности конкретной продукции, позволяющие потребителю сделать компетентный выбор конкретных марок, типов, моделей, исполнений продукции при ее заказе. Наряду с этим, ТУ устанавливают необходимые правила приемки, методы испытаний, правила безопасного обращения с продукцией при применении и т.п.

На ТУ дается ссылка в договоре на поставку продукции, и они практически являются неотъемлемой частью договора на поставку, приобретая статус арбитражного документа. В ТУ, согласно [7, 8], производитель обязан точно и однозначно прописать ассортимент, потребительские свойства продукции, ее безопасность, а также конкретные требования к используемому сырью, комплектующим изделиям и материалам.

В Федеральном законе «О стандартизации в Российской Федерации» [3] нет положений, предписывающих разработку СТО на конкретные виды, марки, модели продукции. СТО обычно разрабатываются на основе ГОСТ Р 1.4–2004 [9] и ГОСТ Р 1.5–2012 [10], их объектами часто становятся виды деятельности – измерения, контроль, управление процессами – в организации. После утверждения руководством

организации и введения документа в действие приказом или распоряжением требования СТО становятся обязательными для сотрудников.

Многие крупные предприятия (организации), имеющие сложную структуру системы управления, разрабатывают СТО по менеджменту пожарной безопасности. Такой документ содержит четкое распределение ответственности (закрепление процессов управления пожарной безопасностью) между участниками, например исполнение требований правил противопожарного режима возложено на руководителя организации, однако конкретным исполнением отдельного требования могут заниматься: договорной отдел (в части заключения договоров на обслуживание систем противопожарной защиты), проектный отдел (в части применения действующих норм проектирования), отдел управления персоналом (в части обучения работников), отдел снабжения (в части обеспечения производства первичными средствами пожаротушения), дежурная смена (в части соблюдения безопасных параметров технологического процесса) и т. д.

Проблема обеспечения пожарной безопасности крупных производственных предприятий заключается именно в сложности организации системного подхода на всех уровнях структуры управления. Для достижения этого на основе действующих в организации и согласованных с территориальными органами управления ГО и ЧС и службами пожаротушения (в том числе объектовыми) локальных и отраслевых нормативных актов по обеспечению пожарной безопасности (приказов, распоряжений, объектовых инструкций) разрабатывается, визируется ответственными лицами и утверждается руководителем СТО «Управление (менеджмент) пожарной безопасностью на предприятии».

Такой документ обычно входит в документацию интегрированной системы

менеджмента, которая базируется на СМК, на системах экологического менеджмента, управления безопасностью труда и может включать элементы менеджмента риска и управления информационной безопасностью. Он не подлежит сторонней экспертизе, что особенно важно для предприятий оборонного комплекса. Документация СМК последних подробно рассмотрена в военном стандарте ГОСТ РВ 0015–002–2020 [11], а сама СМК ежегодно проходит сертификацию в уполномоченных системах, таких как «Оборонсертифика», «Союзсертифика» и др.

Выводы

В свете рассмотренных проблем представляется перспективным применение SMART-формата для внутренних документов по стандартизации, относящихся к разным сторонам обеспечения пожар-

ной безопасности в организациях (на предприятиях), и уточнение требований, касающихся экспертизы локальных нормативных актов с учетом сложившихся представлений о применении документов по стандартизации и новых информационных возможностей.

В условиях развития цифровых технологий для совершенствования деятельности по обеспечению пожарной безопасности на разных уровнях управленческой и практической деятельности необходима разработка специализированных SMART-сервисов, содержащих информацию (данные) по конструкторским и проектным системам, контролю соответствия, а также по управлению работой датчиков и оборудования, позволяющих, в частности, проводить автоматизированную объективную проверку выполнения требований нормативных документов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. О стандартизации : закон Российской Федерации от 10 июня 1993 г. № 5154-1 : послед. ред. // КонсультантПлюс : сайт. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_2078/ (дата обращения: 05.06.2024). Режим доступа: для зарегистрир. пользователей.
2. О техническом регулировании : Федер. закон № 184-ФЗ : принят Государственной Думой 15 декабря 2002 г. : одобрен Советом Федерации 18 декабря 2002 г. : послед. ред. // КонсультантПлюс : сайт. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_40241/ (дата обращения: 05.06.2024). Режим доступа: для зарегистрир. пользователей.
3. О стандартизации в Российской Федерации : Федер. закон № 162-ФЗ : принят Государственной Думой 19 июня 2015 г. : одобрен Советом Федерации 24 июня 2015 г. : послед. ред. // КонсультантПлюс : сайт. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_181810/ (дата обращения: 05.06.2024).
4. ПНСТ 864–2023. Умные (SMART) стандарты. Общие положения : предварительный нац. стандарт Российской Федерации : утвержден и введен в действие приказом Федер. агентства по техн. регулированию и метрологии от 23 октября 2023 г. № 41-пнст : введен впервые : дата введения 2024-02-01 // Кодекс : электрон. фонд правовой и норматив.-техн. информ. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1303621735> (дата обращения: 05.06.2024).
5. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : Федер. закон № 123-ФЗ : принят Государственной Думой 4 июля 2008 г. : одобрен Советом Федерации 11 июля 2008 г. // Кодекс : электрон. фонд правовой и норматив.-техн. информ. URL: <https://docs.cntd.ru/document/902111644> (дата обращения: 05.06.2024).
6. Об утверждении порядка согласования стандартов организации, содержащих требования пожарной безопасности : приказ МЧС России от 15 ноября 2022 г. № 1161 // Гарант.ру : информационный интернет-портал. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/405747605/> (дата обращения: 05.06.2024).
7. ГОСТ 2.114–2016. Единая система конструкторской документации. Технические условия : межгосударственный стандарт Российской Федерации : утвержден и введен в действие приказом Федер. агентства по техн. регулированию и метрологии от 30 августа 2016 г. № 978-ст : дата введения 2017-04-01 // Кодекс : электрон. фонд правовой и норматив.-техн. информ. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200138642> (дата обращения: 05.06.2024).
8. ГОСТ Р 1.3–2018. Стандартизация в Российской Федерации. Технические условия на продукцию. Общие требования к содержанию, оформлению, обозначению и обновлению : нац. стандарт Российской

Федерации : утвержден и введен в действие приказом Федер. агентства по техн. регулированию и метрологии от 12 декабря 2018 г. № 1084-ст : введен впервые : дата введения 2019-07-01 // Кодекс : электрон. фонд правовой и норматив.-техн. информ. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200161774> (дата обращения: 05.06.2024).

9. ГОСТ Р 1.4–2004. Стандартизация в Российской Федерации. Стандарты организаций. Общие положения : нац. стандарт Российской Федерации : утвержден и введен в действие приказом Федер. агентства по техн. регулированию и метрологии от 30 декабря 2004 г. № 154-ст : дата введения 2005-07-01 // Кодекс : электрон. фонд правовой и норматив.-техн. информ. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200038434> (дата обращения: 05.06.2024).

10. ГОСТ Р 1.5–2012. Стандартизация в Российской Федерации. Стандарты национальные. Правила построения, изложения, оформления и обозначения : нац. стандарт Российской Федерации : утвержден и введен в действие приказом Федер. агентства по техн. регулированию и метрологии от 23 ноября 2012 г. № 1147-ст : дата введения 2013-07-01 // Кодекс : электрон. фонд правовой и нор.-матив.-техн. информ. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200101156> (дата обращения: 05.06.2024).

11. ГОСТ РВ 0015-002–2020. Государственный военный стандарт. Система разработки и постановки на производство военной техники. Системы менеджмента качества. Общие требования : гос. военный стандарт Российской Федерации : утвержден приказом Федер. агентства по техн. регулированию и метрологии от 31 декабря 2020 № 132-ст : дата введения 2021-05-05.

REFERENCES

1. On standardization : Law of the Russian Federation No. 5154-1 of June 10, 1993 : last edition // ConsultantPlus : website. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_2078 / (date of access: 06/05/2024). Access mode: for registration. users. (rus).

2. On technical regulation : Feder. Law No. 184-FZ : adopted by the State Duma on December 15, 2002 : approved by the Federation Council on December 18, 2002 : last ed. // ConsultantPlus : website. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_40241 / (date of access: 06/05/2024). Access mode: for registration. users. (rus).

3. On standardization in the Russian Federation : Feder. Law No. 162-FZ : adopted by the State Duma on June 19, 2015 : approved by the Federation Council on June 24, 2015 : last ed. // ConsultantPlus : website. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_181810 / (date of request: 06/05/2024). (rus).

4. MONST 864-2023. Smart standards. General provisions : preliminary national the standard of the Russian Federation : approved and put into effect by the order of the Feder. technical agencies regulation and Metrology dated October 23, 2023 No. 41-pnst : introduced for the first time : date of introduction 2024-02-01 // Code : electron. the legal and regulatory foundation.- Tech. inform. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1303621735> (date of application: 06/05/2024). (rus).

5. Technical regulations on fire safety requirements: Feder. Law No. 123-FZ : adopted by the State Duma on July 4, 2008 : approved by the Federation Council on July 11, 2008 // Code : electron. the legal and regulatory foundation.- Tech. inform. URL: <https://docs.cntd.ru/document/902111644> (date of application: 06/05/2024). (rus).

6. On approval of the procedure for approving the organization's standards containing fire safety requirements : Order of the Ministry of Emergency Situations of Russia dated November 15, 2022 No. 1161 // Garant.<url> : information Internet portal. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/405747605> / (date of application: 06/05/2024). (rus).

7. GOST 2.114–2016. A unified system of design documentation. Technical conditions : the intergovernmental standard of the Russian Federation: approved and put into effect by the order of the Feder. technical agencies regulation and Metrology dated August 30, 2016 No. 978-st : date of introduction 2017-04-01 // Code : electron. the legal and regulatory foundation.- Tech. inform. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200138642> (date of application: 06/05/2024). (rus).

8. GOST R 1.3–2018. Standardization in the Russian Federation. Technical specifications for the products. General requirements for content, design, designation and updating : national the standard of the Russian Federation : approved and put into effect by the order of the Feder. technical agencies regulation and Metrology dated December 12, 2018 No. 1084-st : introduced for the first time : date of introduction 2019-07-01 // Code : electron. the legal and regulatory foundation.- Tech. inform. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200161774> (date of application: 06/05/2024). (rus).

9. GOST R 1.4–2004. Standardization in the Russian Federation. Standards of organizations. General provisions : national the standard of the Russian Federation : approved and put into effect by the order of the Feder. the Agency for technology. regulation and metrology dated December 30, 2004 No. 154-st : date of

introduction 2005-07-01 // Co-dex : electron. the legal and regulatory foundation.- Tech. inform. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200038434> (date of application: 06/05/2024). (rus).

10. GOST R 1.5–2012. Standardization in the Russian Federation. The standards are national. Rules of construction, presentation, design and designation : national the standard of the Russian Federation : approved and put into effect by the order of the Feder. technical agencies Regulation and Metrology dated November 23, 2012 No. 1147-st : date of introduction 2013-07-01 // Code : electron. The Legal and Regulatory Foundation.- Tech. inform. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200101156> (date of application: 06/05/2024). (rus).

11. GOST RV 0015-002-2020. The state military standard. The system of development and commissioning of military equipment. Quality management systems. General requirements : the state military standard of the Russian Federation : approved by the order of the Feder. technical agencies regulation and Metrology dated December 31, 2020 No. 132-st : date of introduction 2021-05-05. (date of application: 06/05/2024). (rus).

Информация об авторах

Кононенко Елена Венедиктовна, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, профессор кафедры пожарной безопасности в строительстве, Уральский институт ГПС МЧС России, Россия, 620062, Свердловская область, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 22; РИНЦ ID: 88693; e-mail: ekononenko51@mail.ru

Мокроусова Ольга Анатольевна, доктор педагогических наук, доцент, заведующий кафедрой пожарной безопасности в строительстве, Уральский институт ГПС МЧС России, Россия, 620062, Свердловская область, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 22; РИНЦ ID: 827347; e-mail: olgamokrousova@mail.ru

Черкасский Григорий Александрович, старший преподаватель кафедры пожарной безопасности в строительстве, Уральский институт ГПС МЧС России, Россия, 620062, Свердловская область, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 22; РИНЦ ID: 846467; e-mail: gregor2003@mail.ru

Закинчак Андрей Игоревич, кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры основ экономики функционирования РСЧС, Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, Россия, 153040, Ивановская область, г. Иваново, проспект Строителей, д. 33 РИНЦ ID: 498435;

Information about the authors

Elena V. Kononenko, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Senior Researcher, Professor of the Department of Fire Safety in Construction, Ural Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia, Mira St., 22, Yekaterinburg, 620062 Russian Federation; RSCI ID: 88693; e-mail: ekononenko51@mail.ru

Olga A. Mokrousova, Doctor of Pedagogical Sciences, Associate, Professor Head of the Department of Fire Safety in Construction, Ural Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia, Mira St., 22, Yekaterinburg, 620062 Russian Federation; RSCI ID: 827347; e-mail: olgamokrousova@mail.ru

Grigory A. Cherkassky, Senior Lecturer, Department of Fire Safety in Construction, Ural Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia, Mira St., 22, Yekaterinburg, 620062, Russian Federation; RSCI ID: 846467; e-mail: gregor2003@mail.ru

Andrey I. Zakinchak, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Fundamentals of Economics of the Functioning of the Emergency Situations Ministry, Ivanovo Fire and Rescue Academy of the Ministry of Emergency Situations of Russia, Stroiteley Avenue, 33, Ivanovo,

e-mail: zakinchak@mail.ru

153040, Russian Federation; RSCI ID:
498435;

e-mail: zakinchak@mail.ru

УДК 614.84.31

РИСК ВОЗНИКНОВЕНИЯ ПОЖАРОВ И ИХ ПОСЛЕДСТВИЙ В ПОДЗЕМНЫХ ПЕШЕХОДНЫХ ПЕРЕХОДАХ

**Фирсов Александр Георгиевич, Сибирко Виталий Иванович,
Загуменнова Марина Викторовна**

Всероссийский ордена «Знак Почета» научно-исследовательский институт противопожарной обороны МЧС России, г. Балашиха, Россия

АННОТАЦИЯ

Данная работа посвящена исследованию пожарной опасности подземных пешеходных переходов. В статье рассмотрены некоторые исторические аспекты их появления, классификация, устройство, пожарная опасность и опасность при угрозе возникновения чрезвычайной ситуации. Приведены результаты статистического анализа обстановки с пожарами и их последствий за 10 лет статистического наблюдения. В частности, рассмотрена динамика пожаров, погибших и травмированных, а также уничтоженной и поврежденной площади при пожаре. Проанализированы основные требования пожарной безопасности, предъявляемые нормативными правовыми документами к данным объектам защиты (надзора). Определены категория подземных пешеходных переходов по пожарной (взрывопожарной) опасности и класс их функциональной пожарной опасности. На основе научных результатов исследований осуществлен расчет рисков возникновения пожара, угрозы жизни и здоровью людей при пожаре в подземных пешеходных переходах. С целью идентификации пожарной опасности подземных пешеходных переходов и, соответственно, предъявляемых к ним обязательных требований пожарной безопасности авторами предложены изменения в нормативные правовые документы. Полученные результаты исследований позволят минимизировать риски возникновения пожаров и риски угрозы жизни и здоровью людей при пожарах и чрезвычайных ситуациях в подземных пешеходных переходах.

Ключевые слова: подземный пешеходный переход, пожар, чрезвычайная ситуация, риск, объект защиты (надзора), класс функциональной пожарной опасности

RISK OF FIRES AND THEIR CONSEQUENCES IN PEDESTRIAN UNDERPASSES

Aleksandr G. Firsov, Vitaly I. Sibirko, Marina V. Zagumennova

All-Russian Research Institute for Fire Protection of EMERCOM of Russia, Balashikha, Russian Federation

ABSTRACT

This work is devoted to the study of fire hazard of underground pedestrian crossings. The article discusses the historical aspects of their appearance, classification, structure, fire hazard and danger under the threat of an emergency. The results of statistical analysis of the situation with fires and their consequences for ten years of statistical observation are presented. In particular, the dynamics of fires, people killed and injured during them, as well as the destroyed and damaged area during a fire are considered. The main requirements of fire safety imposed by regulatory legal documents on these objects of protection (supervision) are considered. The category of underground pedestrian crossings in terms of fire (explosion and fire) hazard and the class of their functional fire hazard have been determined. Based on the scientific results of the research, the risk of fire, the threat to life and health of people in case of fire in underground pedestrian crossings was calculated. In order to clearly identify the fire hazard of underground pedestrian crossings and, accordingly, the mandatory fire safety requirements imposed on them, the authors propose amendments to regulatory legal documents. The results of the research will minimize the risks of fires and the risks of threats to human life and health in case of fires and emergencies in underground pedestrian crossings

Keywords: underground pedestrian crossing, fire, emergency, risk, object of protection (supervision), class of functional fire hazard

Введение

Возникновение пешеходных переходов неразрывно связано с урбанизацией и последующим развитием транспортной инфраструктуры городов. Традиционно пешеходный переход устраивается для пересечения улично-дорожной сети, железнодорожных линий и других различных искусственных сооружений, водных преград, лесных насаждений и предназначен для обеспечения безопасного движения пешеходов.

Упоминание о первых «воздушных» переходах относится к концу XIX в., и своему появлению они обязаны развитию сети железных дорог. Первый подземный переход в России был открыт в 1935 г. в Москве. Данный переход был интегрирован с выходом из станции метро «Смоленская». Позже это архитектурное решение было использовано при проектировании других станций метрополитена. Первый подземный пешеходный переход, не совмещенный с выходом из метро, был

открыт 30 апреля 1959 г. у магазина «Детский мир» в Москве. Его открытие современниками воспринималось как инженерно-технический шедевр того времени. Появление подземного пешеходного перехода, не связанного с выходами из метро, дало старт интенсивному строительству таких сооружений по всей стране. Уже к 1962 г. только в г. Москве насчитывалось около 20 подземных пешеходных переходов. Подземные пешеходные переходы начали возводить в таких крупных городах, как Ленинград (ныне Санкт-Петербург), Киев, Харьков, Ташкент, Сочи, Тбилиси и др. [1, 2]. Рост строительства подземных пешеходных переходов был обусловлен увеличением количества автомобилей в СССР и обеспечением безопасности самих пешеходов. Из года в год плотность населения и, соответственно, количество используемых транспортных средств постоянно росло. В 2008 г. на территории России насчитывалось более 165 тыс. пешеходных переходов. А уже в 2011 г. их количество возросло до 188 тыс. ед. Причем количество

надземных переходов увеличилось с 383 до 550 ед., подземных переходов – с 1 089 до 1 197 ед. [3]. По данным МВД России в 2015 г. общее количество пешеходных переходов в Российской Федерации (далее – РФ) составляло более 213,6 тыс. ед. [4].

Правилами дорожного движения [5] в РФ установлены следующие виды пешеходных переходов:

– регулируемый пешеходный переход (расположен непосредственно на проезжей части, и движение регулируется светофором);

– нерегулируемый пешеходный переход (расположен непосредственно над проезжей частью, и движение светодорожкой не регулируется);

– переходы вне проезжей части улиц закрытого типа (специальное сооружение, предназначенное для безопасного движения пешеходов).

Локация перечисленных пешеходных переходов на местности обозначается соответствующим информационным знаком.

С точки зрения транспортной безопасности пешеходные переходы вне проезжей части улиц закрытого типа являются абсолютно безопасными сооружениями для пешеходов при пересечении ими транспортных магистралей и других объектов городской инфраструктуры. Однако с точки зрения пожарной безопасности такие переходы представляют определенный риск угрозы гибели и здоровью людей при пожарах. Переходы вне проезжей части улиц закрытого типа делятся на следующие виды: подземные (расположенные под элементами городской среды), надземные (расположенные над элементами городской среды), торгово-сервисные переходы (разновидность надземных пешеходных переходов с объектами мелкокоррозийной торговли и сервиса) и встроенно-пристроенные (размещаемые на уровне первых этажей зданий различного

функционального назначения). По конфигурации пешеходные переходы могут быть линейного типа (прямые или изогнутые) и переходы-распределители (разветвленные, кольцевые, прямоугольные и др.). По количеству пролетов внеуличные пешеходные переходы подразделяются на однопролетные (тоннель с прямоугольным сечением) и на двух- и трехпролетные (тоннель прямоугольного сечения, усиленный продольными рядами колонн) [6].

Современные строительные технологии позволяют относительно быстро возводить подземные пешеходные переходы. Для их строительства используют следующие типы рабочих машин некруглого сечения с грунтопригрузом: DPLEX, DPOT, Арого и КСВП (российского производства). Их основные технические параметры: глубина залегания лотка тоннеля до 10 м, сечение разрабатываемого грунта 4,2×3,9 м, тип обделки – сборная железобетонная, суммарная потребляемая мощность 200 кВт и более, средняя скорость проходки до 6 м в сутки [7]. Однако возведение подобных сооружений связано с различными инженерно-техническими сложностями и значительными финансовыми затратами как на этапах проектирования и строительства, так и при последующем их техническом обслуживании.

Наиболее опасными по своим объемно-планировочным особенностям и техническим решениям являются пешеходные переходы подземного типа (далее – подземные переходы). Рассмотрим в обобщенном виде основные технические аспекты их устройства, изложенные в ряде нормативно-технических документов [6, 8, 9]. Подземный переход состоит из ряда основных конструктивных элементов: тоннель, лестничные сходы, пандусы и подъемное оборудование для обеспечения передвижения маломобильных групп населения, различные технологические помещения и инженерное оборудование. Геометрические параметры подземных

переходов в разных уровнях принимаются следующими: высота – не менее 2,3 м, ширина – не менее 3,0 м. В основаниях, опорах и строительных конструкциях подземных переходов не допускается устройство и прокладка электрических сетей высокого напряжения, газо-, водо- и теплопроводов, а также водосточных и канализационных сетей и коллекторов.

Подземный переход оборудуется необходимыми технологическими помещениями для размещения в них различных систем инженерного обеспечения: электроснабжения и электрооборудования, водоснабжения и водоудаления, отопления и снегоудаления, вентиляции, подъемного оборудования, диспетчерского управления, охранной и пожарной сигнализации, видеонаблюдения, а также хранения уборочного и технического инвентаря, размещения обслуживающего персонала и др. Перечисленные выше системы инженерного обеспечения по надежности относятся к потребителям I категории.

В помещениях подземных переходов нередко могут размещаться, если это предусмотрено проектной документацией, объекты мелкокорзинной торговли и сервиса. В основном это объекты общепита, сувенирная и мелкая электротехническая продукция, косметика, малогабаритные носильные вещи, мелкий ремонт и т. п. К объектам мелкокорзинной торговли и сервиса предъявляются соответствующие требования по размещению их в подземных переходах [6]. В помещениях подземных переходов может осуществляться и вендинговая торговля. Наиболее характерно это для переходов, совмещенных с выходами из метро. Ассортиментом в торговых автоматах является еда, напитки, средства личной гигиены, печатная продукция, проездные билеты и т. п. У вышеперечисленного торгового

ассортимента отмечается разная пожарная нагрузка [10]. Наличие в подземных переходах мелкокорзинной и вендинговой торговли, а также предоставление мелких сервисных услуг населению только добавляет потенциальной пожарной опасности. Ограничение габаритов замкнутого пространства может привести к быстрому изменению критериальных значений опасных для людей факторов пожара (повышение температуры окружающей среды, увеличение концентрации токсичных продуктов горения и термического разложения, понижение концентрации кислорода, снижение видимости в дыму) [11].

Материалы и методы

Ежегодно в подземных переходах регистрируется порядка 3–4 пожаров. При пожарах в среднем уничтожается (повреждается) 12,5 м² площади подземных переходов с прямым материальным ущербом от пожара (далее – ущерб) в размере 0,5 тыс. руб. Распределение количества пожаров и их последствий в подземных переходах в РФ за период статистического наблюдения 2013–2022 гг. (далее – период статистического наблюдения) приведено в табл. 1. В сравнении с 2000 г., обстановка с пожарами в подземных переходах за исследуемый период не претерпела сильных изменений.

Всего за исследуемый период статистического наблюдения в подземных переходах зарегистрировано 33 пожара. Распределение количества пожаров в подземных переходах по субъектам РФ приведено на рис. 1. Около 52 % всех пожаров приходится на Москву (17 ед.). От 2 до 4 пожаров соответственно зарегистрировано в Челябинской области, Приморском крае и Хабаровском крае. В остальных субъектах РФ зарегистрировано по 1 пожару.

Таблица 1.

Распределение количества пожаров и их последствий в подземных переходах в РФ за период 2013–2022 гг.

Table 1.

Distribution of the number of fires and their consequences in underground passages in the Russian Federation for the period 2013–2022.

Период статистического наблюдения, год The period of statistical observation, year	Количество пожаров, ед. Number of fires, units	Количество погибших людей, чел. The number of people killed, people.	Количество травмированных людей, чел. The number of injured people, people.	Прямой материальный ущерб, тыс. руб. Direct material damage, thousand rubles.	Уничтоженная и поврежденная площадь, м ² Destroyed and damaged area, m ²
2000	5	0	0	6	4
2013	6	0	0	0	7
2014	5	1	0	1	35
2015	3	0	0	4	5
2016	4	1	5	0	8
2017	5	1	1	0	19
2018	2	0	0	0	12
2019	2	0	0	0	2
2020	0	0	0	0	0
2021	6	0	1	0	37
2022	0	0	0	0	0
Итого за 2013–2022 Total for 2013–2022	33	3	7	5	125

Распределение пожаров по причинам их возникновения за весь период статистического наблюдения приведено на рис. 2. Около 52 % всех пожаров связано с неосторожным обращением с огнем – 17 ед., в т. ч. с неосторожностью при курении – 6 ед. Более 36 % пожаров в подземных переходах происходило из-за нарушения правил устройства и эксплуатации электрооборудования (далее – НПУиЭ) (7 ед.), недостатка конструкции и изготовления электрооборудования (4 ед.), нарушения правил пожарной безопасности

(далее – ППБ) при эксплуатации бытовых электроприборов (1 ед.).

На рис. 3 представлено распределение количества пожаров по источникам их возникновения (изделие, устройство). Основными причинами пожаров в подземных переходах являлось НПУиЭ электрооборудования и неосторожное обращение с огнем, поэтому источником более 36 % всех пожаров стали электрические устройства (изделия) и также более 36 % пожаров – сигарета или зажигалка (спичка). И только 27 % пожаров связано с другими источниками возникновения.

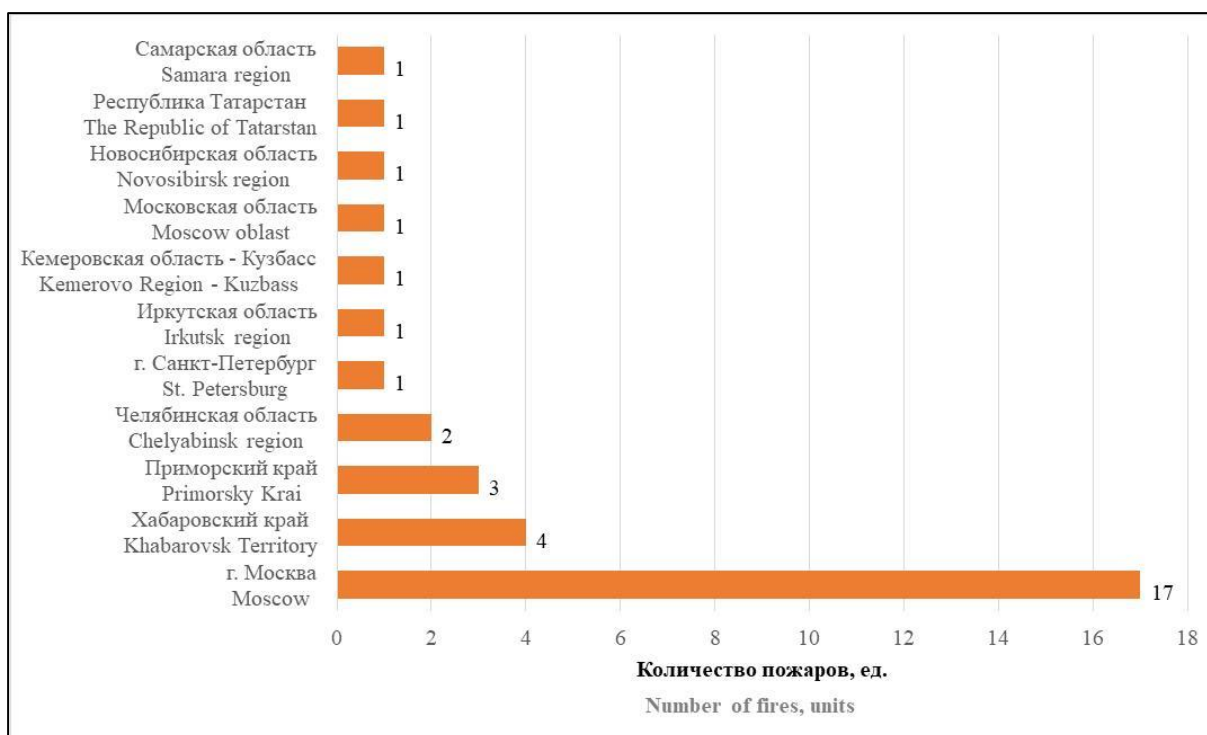


Рис. 1. Распределение количества пожаров в подземных переходах за период статистического наблюдения по субъектам РФ

Fig. 1. Distribution of the number of fires in underground passages during the period of statistical observation by subjects of the Russian Federation

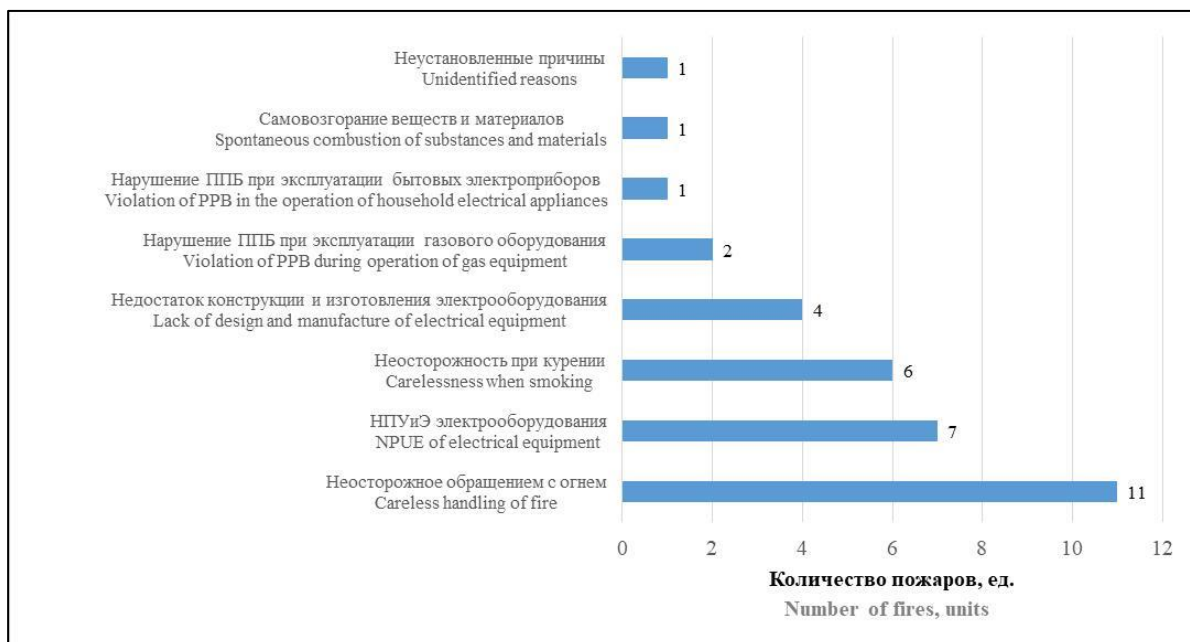


Рис. 2. Распределение суммарного количества пожаров в подземных переходах за период статистического наблюдения по причинам их возникновения

Fig. 2. Distribution of the total number of fires in underground passages during the period of statistical observation by the causes of their occurrence

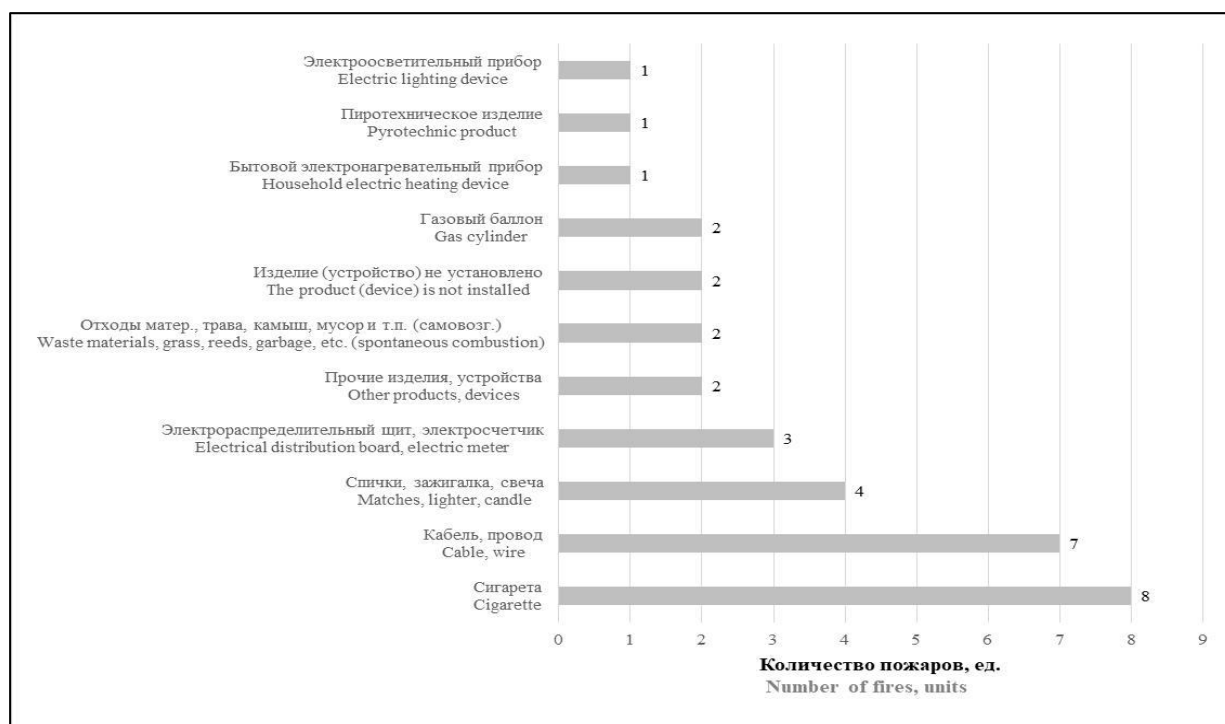


Рис. 3. Распределение суммарного количества пожаров в подземных переходах за период статистического наблюдения по источникам их возникновения

Fig. 3. Distribution of the total number of fires in underground passages during the period of statistical observation by sources of their occurrence

При пожарах в подземных переходах ежегодно в среднем погибал или получал травмы 1 чел. В абсолютных значениях количество погибших и травмированных людей при пожарах за весь период статистического наблюдения соответственно составляет 3 чел. и 7 чел. На пожарах в подземных переходах в основном погибали мужчины в возрасте от 40 до 47 лет. Основная причина гибели – отравление токсичными продуктами горения. А условие, способствовавшее гибели людей при пожаре, – алкогольное или наркотическое опьянение. Основными условиями, способствовавшими получению травм, являлись малолетний возраст и взрывы (газовых баллонов).

Учитывая, что подземный переход является сложным объемно-планировочным и инженерно-техническим сооружением и характеризуется повышенной потенциальной опасностью, то к данному объекту должны предъявляться соответ-

ствующие требования пожарной безопасности. Формирование перечня требований пожарной безопасности, направленных на предотвращение возникновения пожара и обеспечение противопожарной защиты людей и имущества при пожаре, связано с определением категории пожарной и взрывопожарной опасности задания, сооружения, его степени огнестойкости и класса функциональной пожарной опасности. В соответствии со ст. 27 123-ФЗ [11] подземные переходы по пожарной и взрывопожарной опасности относятся к категории Д (пониженная пожароопасность помещения). Однако, если общая площадь помещений, связанных с мелкорозничной и вендинговой торговлей, предоставлением мелких сервисных услуг населению, превышает 10 % общей площади или превышает 25 %, в случае оснащения помещений установками автоматического пожаротушения, то подземный переход по категории пожарной опасности уже должен

относиться к категории В (пожароопасное помещение).

Класс функциональной пожарной опасности любого объекта определяется в зависимости от назначения рассматриваемого объекта, возраста, физического состояния и количества людей, находящихся на данном объекте. Учитывая, что подземные переходы предназначены для перемещения людей (неоднородных по возрасту и физическому состоянию), то, в соответствии со ст. 32 123-ФЗ [11], они могут относиться к классу функциональной пожарной опасности Ф1 (здания с временным пребыванием людей). А при наличии павильонов мелкорозничной торговли, мелких сервисных услуг населению и торговых автоматов подземные пешеходные переходы могут относиться и к классу функциональной пожарной опасности Ф3.1 (организация торговли) или Ф3.2 (организация общественного питания). Нередко в городах подземные переходы интегрированы в инфраструктуру транспортной системы, поэтому они также могут относиться и к классу функциональной пожарной опасности Ф3.3 (вокзалы).

Таким образом, в 123-ФЗ [11] четко не определены категория подземных переходов по пожарной и взрывопожарной опасности и их принадлежность к конкретному классу функциональной пожарной опасности. Это, в свою очередь, создает определенные сложности в выборе и дальнейшем применении необходимых требований пожарной безопасности, а также проведении оценки (экспертизы) объекта на соответствие установленным требованиям пожарной безопасности.

Нормативный документ СП 4.13130.2013 [12] устанавливает соответствующие требования к объемно-планировочным и конструктивным решениям по ограничению распространения пожара на объектах защиты. Исходя из логики п. 6.5 данного документа, к подземным переходам должны предъявляться такие

же требования пожарной безопасности, как и к производственным объектам. А это означает, что подземные переходы также могут относиться и к классу функциональной пожарной опасности Ф5.1 (производственные здания и сооружения).

Такой неоднозначный подход к определению класса функциональной пожарной опасности подземных переходов вызывает много вопросов у проектировщиков, инженеров, экспертов и строителей. Министерство регионального развития РФ предложило при проектировании надземных и одноуровневых подземных мостов, тоннелей (переходов) руководствоваться требованиями действующих нормативных документов по пожарной безопасности для помещений общественного назначения [12, 13, 14]. А это класс функциональной опасности Ф2 (здания зрелищных и культурно-просветительных учреждений), Ф3 (здания организаций по обслуживанию населения) и Ф4 (здания образовательных организаций, научных и проектных организаций, органов управления учреждений). И, соответственно, для каждой из перечисленных групп функциональной пожарной опасности должны предъявляться свои требования пожарной безопасности.

Тем не менее в ряде нормативных документов содержатся конкретные требования пожарной безопасности, связанные с проектированием, устройством и эксплуатацией подземных переходов. Так, ГОСТ Р 59610-2021 [8] и стандарт организации СТО НОСТРОЙ-2014 [9] устанавливают следующие обязательные требования пожарной безопасности к подземным переходам:

- строительные конструкции должны быть I–II степени огнестойкости и соответствовать классу конструктивной пожарной опасности С1;

- расчет времени эвакуации людей из помещений подземного перехода осу-

ществляется с учетом максимальной плотности пешеходного потока – 0,8 чел. в расчете на 1 м²;

– электропитание потребителей предусматривается в виде однофазной и трехфазной сети переменного тока напряжением 380/220 В с использованием электрических кабелей с медными жилами в оболочке НГ (негорючая);

– прокладка электрических кабелей выполняется в кабельных каналах по стенам помещений, а в случае разрыва помещений – в стальных оцинкованных трубах в полу тоннельной части подземного перехода;

– в помещении дежурных должны храниться 10 % резерва переносных огнетушителей;

– пешеходные туннели оборудуются автономным аварийным освещением и системами теленаблюдения.

Требования пожарной безопасности к устройству объектов мелкокоррозийной торговли и сервиса (киоски и павильоны), размещаемых в подземных переходах, изложены в документе [6], однако данные нормы применимы только к объектам Москвы.

Что касается подземных переходов, совмещенных с выходами из станций метрополитена, то требования к их устройству и, соответственно, пожарной безопасности приведены в СП 120.13330.2022 [15], предъявляющем требования к зданиям и сооружениям метрополитенов. Требования пожарной безопасности при проектировании подземных пешеходных тоннелей (подземных переходов) под железнодорожными путями изложены в СП 153.13130.2013 [16].

Правила противопожарного режима в РФ (далее – ППР) [17] устанавливают обязательные требования пожарной безопасности, определяющие порядок поведения людей, организацию производства и содержание объектов защиты

в целях обеспечения их пожарной безопасности. В соответствии с п. 5 ППР [17] здания и сооружения (кроме жилых домов), в которых могут одновременно находиться 50 и более чел., являются объектами защиты с массовым пребыванием людей. В подземных переходах, особенно интегрированных в транспортные узлы или близко расположенных к ним, в час пик одновременно может находиться более 50 чел. Таким образом, значительное количество подземных переходов приобретает статус объекта защиты с массовым пребыванием людей, и тогда к ним должны предъявляться требования пожарной безопасности как к объектам с массовым пребыванием людей.

Как уже отмечалось ранее, в соответствии с 123-ФЗ [11] подземные переходы могут относиться к любому из следующих классов функциональной пожарной опасности: Ф1, Ф2, Ф3, Ф3.1, Ф3.2, Ф3.3, Ф4, Ф5.1. В ППР для каждого из классов функциональной пожарной опасности предусмотрены свои требования по обеспечению пожарной безопасности. Это требования к производственным объектам, объектам организаций торговли и транспортной инфраструктуры. Из всего перечня требований пожарной безопасности только два из них однозначно касаются подземных переходов:

– установка торговых киосков в наземных вестибюлях станций метрополитена и в подземных переходах: *«Торговые киоски должны быть изготовлены из негорючих материалов и размещаться с таким расчетом, чтобы они не препятствовали проходу пассажиров и не снижали ширины пути эвакуации, установленной требованиями пожарной безопасности»* [п. 223, 17];

– запрещение реализации пиротехнических изделий *«на объектах торговли, расположенных в жилых зданиях, зданиях вокзалов (воздушных, морских,*

речных, железнодорожных и автобусных), на платформах железнодорожных станций, остановках общественного транспорта, в наземных вестибюлях станций метрополитена, уличных переходах и в иных подземных сооружениях» [п. 447 а), 17].

Таким образом, идентификация и, соответственно, определение требований пожарной безопасности подземных переходов путем установления их соответствия существенным признакам класса функциональной пожарной опасности и категории пожарной и взрывопожарной опасности в полном объеме невозможна.

Результаты и их обсуждение

Как уже отмечалось выше, в подземных переходах практически ежегодно регистрируются пожары, а также погибшие и травмированные при пожарах люди. Риск возникновения пожара и его ожидаемые последствия в подземном переходе рассчитываются по следующей формуле:

$$R_{объi} = \frac{\sum_{j=1}^T N_{пожi}^j}{P_{ср} \cdot T}, \quad (1)$$

где

$R_{объi}$ – риск возникновения определенного события, ожидаемые последствия пожара в подземном переходе (объект) за год;

$i = 1$ – риск возникновения пожара в подземном переходе, ед./объект · год);

$i = 2$ – ожидаемый ущерб в подземном переходе в действующих ценах, руб./объект · год);

$i = 3$ – ожидаемая консолидированная уничтоженная и поврежденная площадь пожаром в подземном переходе, м²/объект · год);

$i = 4$ – консолидированный риск угрозы гибели и вреда здоровью людей от возможного пожара в подземном переходе, чел./объект · год);

$i = 5$ – риск угрозы гибели людей от возможного пожара в подземном переходе (индивидуальный пожарный риск), чел./объект · год);

$i = 6$ – риск угрозы вреда здоровью людей от возможного пожара в подземном переходе, чел./объект · год);

T – количество лет исследуемого периода (10 лет);

$N_{пожi}^j$ – значение показателя i -го события или ожидаемых последствий пожаров, возникших в подземных переходах за j -й год, $j=1..T$, для:

$i = 1$ – количество пожаров, ед.;

$i = 2$ – ущерб, руб.;

$i = 3$ – консолидированная уничтоженная и поврежденная пожарами площадь, м²;

$i = 4$ – число погибших и травмированных людей на пожарах, чел.;

$i = 5$ – число погибших людей на пожарах, чел.;

$i = 6$ – число травмированных людей на пожарах, чел.;

$P_{ср}$ – среднегодовое количество подземных переходов в РФ за период времени T , объект.

Ущерб в подземном переходе рассчитывается по формуле:

$$R_{пoжyщ} = \frac{\sum_{j=1}^T N_{пoж2}^j}{\sum_{j=1}^T N_{пoжyщ}^j}, \quad (2)$$

где

$R_{пoжyщ}$ – ущерб в расчете на 1 пожар, возникший в подземном переходе за период времени T , руб./ед.;

$N_{пoжyщ}^j$ – количество пожаров в подземных переходах за j -й год с зарегистрированным ущербом (в карточках учета которых проставлена величина ущерба больше нуля), ед.

Значения других показателей (риск возникновения события) в расчете на 1 пожар в подземном переходе определяется по формуле:

$$R_{пoжi} = \frac{\sum_{j=1}^T N_{пoжi}^j}{\sum_{j=1}^T N_{пoж1}^j}, \quad (3)$$

где
 $R_{\text{пож } i}$ – значение показателя в расчете на 1 пожар, возникший в подземном переходе за период времени T , $i = 3..6$, для:
 $i = 3$ – уничтоженная и поврежденная площадь на 1 пожар, $\text{м}^2/(\text{ед.} \cdot \text{год})$;
 $i = 4$ – количество погибших и травмированных людей на 1 пожар, $\text{чел.}/(\text{ед.} \cdot \text{год})$;

$i = 5$ – количество погибших людей на 1 пожар, $\text{чел.}/(\text{ед.} \cdot \text{год})$;
 $i = 6$ – количество травмированных людей на 1 пожар, $\text{чел.}/(\text{ед.} \cdot \text{год})$.
 Значения рисков показателей пожарной опасности подземных переходов, рассчитанные по приведенным выше формулам, сведены в итоговую табл. 2.

Таблица 2

Расчетные риски показателей пожарной опасности подземных переходов
Table 2
 Calculated risks of fire hazard indicators of underground crossings

Наименование расчетного показателя Name of the calculated indicator	Единица измерения Unit of measurement	Значение показателя The value of the indicator	Расчетная формула Calculation formula
В расчете на один подземный пешеходный переход Per underground pedestrian crossing			
Риск угрозы возникновения пожара на объекте The risk of a fire at the facility	ед./(\объект · год) unit/(object · year)	0,0028	(1)
Ожидаемый прямой материальный ущерб от пожара на объекте Expected direct material damage from a fire at the facility	руб./(\объект · год) rub./(object · year)	0,4167	(1)
Ожидаемая консолидированная уничтоженная и поврежденная площадь пожаром на объекте Expected consolidated destroyed and damaged area by fire at the facility	$\text{м}^2/(\text{объект} \cdot \text{год})$ $\text{m}^2/(\text{object} \cdot \text{year})$	0,0104	(1)
Консолидированный риск угрозы гибели и вреда здоровью людей на объекте Consolidated risk of death and harm to human health at the facility	чел./(\объект · год) person/(object · year)	0,0009	(1)
Риск угрозы гибели людей на объекте The risk of death at the facility	чел./(\объект · год) person/(object · year)	0,0003	(1)
Риск угрозы вреда здоровью людей на объекте The risk of harm to human health at the facility	чел./(\объект · год) person/(object · year)	0,0006	(1)
В расчете на один пожар в подземном пешеходном переходе Per fire in an underground pedestrian crossing			
Прямой материальный ущерб на 1 пожаре с	руб./(\ед. · год)	2500,0	(2)

ущербом Direct material damage per 1 fire with damage	RUB/(units · year)		
Уничтоженная и поврежденная площадь на 1 пожаре Destroyed and damaged area in 1 fire	м ² /(ед. · год) m ² /(units · year)	3,8	(3)
Консолидированный риск причинения гибели и вреда здоровью людей на 1 пожаре Consolidated risk of causing death and harm to human health in 1 fire	чел./((ед. · год) people/(units · year)	0,3	(3)
Риск причинения гибели людей на 1 пожаре The risk of causing death in 1 fire	чел./((ед. · год) people/(units · year)	0,1	(3)
Риск причинения вреда здоровью людей на 1 пожаре The risk of harm to human health in 1 fire	чел./((ед. · год) people/(units · year)	0,2	(3)

Из табл. 2 видно, что риск угрозы возникновения пожара в подземном переходе достаточно высок и составляет $2,8 \cdot 10^{-3}$ в год.

Консолидированный риск угрозы гибели и вреда здоровью людей при пожаре в подземном переходе в год составляет $9 \cdot 10^{-4}$. Риск угрозы вреда здоровью людей ($6 \cdot 10^{-4}$) в подземном переходе в два раза выше риска угрозы гибели людей при пожаре ($3 \cdot 10^{-4}$). Для сравнения нормативное значение пожарного риска не должно превышать 10^{-6} в год [11]. В свою очередь, консолидированный риск причинения гибели и вреда здоровью людей на 1 пожаре в подземном переходе составляет 0,3 чел. в год. Таким образом, риск угрозы гибели и вреда здоровью людей в подземном переходе тоже является высоким.

Ожидаемая величина ущерба и уничтоженной (поврежденной) площади пожаром в год характеризуются низкими числовыми значениями (соответственно 0,4 руб. и 0,01 м² в год). Однако в расчете на 1 пожар значения данных показателей более весомые. Так величина ущерба в расчете на 1 пожар с ущербом в подземном переходе составляет порядка 2,5 тыс. руб. в год, а уничтоженная (поврежденная) вследствие пожара площадь в расчете на 1 пожар – 3,8 м².

В соответствии со ст. 2 123-ФЗ [11] к объекту защиты относится различное имущество граждан, юридических лиц, государственных и муниципальных органов, в т. ч. объекты (здания, сооружения, транспортные средства, технологические установки, оборудование, агрегаты, изделия и другое имущество), расположенные на территориях населенных пунктов, к которым установлены требования пожарной безопасности для предотвращения пожара и защиты людей при пожаре. Соответственно, объект защиты должен быть обеспечен системой противопожарной защиты. А под системой противопожарной защиты любого объекта защиты понимается «комплекс организационных мероприятий и технических средств, направленных на защиту людей и имущества от воздействия опасных факторов пожара и (или) ограничение последствий воздействия опасных факторов пожара на объект защиты» [ст. 2 п. 41, 11]. Объектом государственного надзора являются здания, помещения, сооружения и другие объекты, к которым предъявляются обязательные требования 248-ФЗ [18]. В свою очередь, в соответствии с положениями 247-ФЗ [19], под обязательными требованиями понимаются требования, содержащиеся в нормативных правовых актах

(далее – НПА) и удовлетворяют следующим обязательным условиям:

- наличие риска причинения ущерба охраняемым законом ценностям, на устранение которого направлено обязательное требование;

- возможность и достаточность обязательных требований в качестве мер защиты охраняемых законом ценностей.

Исходя из вышеизложенного, подземные переходы являются объектами защиты. Учитывая наличие обязательных требований по обеспечению пожарной безопасности, изложенных в соответствующих НПА, а также риска причинения ущерба и значительного риска угрозы гибели и вреда здоровью людей при пожаре, подземные переходы должны относиться к объектам надзора (контроля) со стороны федерального государственного пожарного надзора.

Подземные переходы представляют для людей не только высокую пожарную опасность, но также могут быть опасными и в плане возникновения и развития различных чрезвычайных ситуаций (далее – ЧС). Одной из самых известных ЧС является взрыв 8 августа 2000 г. в 17:55 в подземном переходе метро на Пушкинской площади в Москве [20]. По данным следствия, террористами было использовано безоболочное взрывное устройство мощностью 800 г в тротиловом эквиваленте, начиненное различными металлическими элементами с целью усиления поражающего действия. В закрытом помещении воздействие взрывной волны значительно усилилось, что вызвало сильные разрушения и пожар в нескольких павильонах мелкооптовой торговли и привело к сильному задымлению тоннелей подземного перехода и, соответственно, к потере видимости для людей (см. рис. 4).



Рис. 4. Последствия взрыва в подземном переходе из метро на Пушкинской площади в Москве 8 августа 2000 г. (Фото: Антон Денисов / ТАСС)

Fig. 4. The consequences of an explosion in an underground passage from the metro on Pushkin Square in Moscow on August 8, 2000 (Photo: Anton Denisov / TASS)

В результате ЧС погибло 13 чел. и получили разной степени тяжести 118 чел. Все они получили ранения поражающими элементами взрывного устройства, элементами строительных конструкций подземного перехода и торговых киосков, а также термические ожоги и отравление продуктами горения.

Заключение

Проведенные исследования показали, что подземные переходы являются объектами защиты, сопряжены со значительными рисками возникновения пожара, угрозы жизни и здоровью людей и должны быть поднадзорными объектами со стороны федерального государственного пожарного надзора МЧС России. Однако предъявляемые к ним требования пожарной безопасности носят нечеткий и до конца не формализованный характер. Поэтому на законодательном уровне необходимо внести соответствующие изменения в ряд НПА. В первую очередь, в 123-ФЗ [11] в части конкретизации классификационных требований пожарной безопасности к подземным переходам. Это касается определения категории подземных переходов по пожарной и взрывопожарной опасности и класса их функцио-

нальной пожарной опасности. Также необходимо внести соответствующие изменения и в ППР [17]. Дополнить его отдельным разделом с перечнем необходимых требований пожарной безопасности, в т. ч. и обязательных требований пожарной безопасности к данным объектам надзора. После принятия перечисленных выше поправок и изменений в указанные документы следует внести соответствующие изменения и в другие связанные с ними нормативные акты. По мнению авторов, все подземные переходы по пожарной и взрывопожарной опасности должны относиться к категории не ниже ВЗ и иметь класс функциональной пожарной опасности не ниже ФЗ.

В заключение необходимо отметить, что подземный переход является не только объектом городской инфраструктуры, призванным обеспечить безопасность людей в мирное время, но и представляет собой важный стратегический объект по защите людей в случае возникновения опасностей по сигналам гражданской обороны. Поэтому к нему также должны предъявляться обязательные требования по защите населения в случае угрозы возникновения ЧС и ведения военных действий.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. История строительства подземных и надземных переходов в Москве // LiveJournal : информационный интернет-портал. URL: <https://ilovemoscow.livejournal.com/320034.html> (дата обращения: 30.12.2023).
2. История подземных пешеходных переходов Москвы // РИА Новости : сайт. URL: <https://ria.ru/20091016/189010041.html> (дата обращения: 30.12.2023).
3. С 2008 года число пешеходных переходов в России выросло на 30 тыс. // За рулем : сайт. URL: https://www.zr.ru/content/news/437835-s_2008_goda_chislo_peshehodnyh_perehodov_v_rossii_vyroslo_na_30_tys/ (дата обращения: 30.12.2023).
4. Госавтоинспекция ведет мониторинг реализации национальных стандартов по обустройству пешеходных переходов в регионах // Министерство внутренних дел Российской Федерации : офиц. сайт. URL: <https://мвд.пф/news/item/13262322/?ysclid=lqs2o7juw9266987893> (дата обращения: 30.12.2023).
5. О Правилах дорожного движения : постановление Правительства Российской Федерации от 23 октября 1993 г. № 1090 // КонсультантПлюс : сайт. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_2709/824c911000b3626674abf3ad6e38a6f04b8a7428/?ysclid=lsq2gu92pc771115866 (дата обращения: 27.01.2024). Режим доступа: для зарегистрир. пользователей.
6. МГСН 1.03-02. Пешеходные переходы вне проезжей части улиц. Объекты мелкорозничной торговли и сервиса в пешеходных переходах : московские городские строительные нормы (ТСН 32-302-2003 г. Москвы) : утверждены и введены постановлением Правительства Москвы от 19 августа 2003 г. № 693-ПП :

введены впервые : дата введения с 19.08.2003 г. // files.stroyinf.ru : сайт. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294814/4294814348> (дата обращения: 05.06.2024).

7. Александров, Н. В. Подземный пешеходный переход — безопасное решение транспортных проблем // Подземный эксперт : информационный портал о подземном строительстве. URL: <https://undergroundexpert.info/issledovaniya-i-tehnologii/tehnologii/podzemnyj-perehod-reshenie-problem/?ysclid=lqs3kt6gcf583660805> (дата обращения: 30.12.2023).

8. ГОСТ Р 59610–2021. Дороги автомобильные общего пользования. Пешеходные переходы в разных уровнях. Общие требования. Правила размещения : нац. стандарт Российской Федерации : утвержден и введен в действие приказом Федер. агентства по техн. регулированию и метрологии от 5 августа 2021 г. № 688-ст : дата введения 2021-09-01 // Кодекс : электрон. фонд правовой и норматив.-техн. информ. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200180479> (дата обращения: 05.06.2024).

9. Освоение подземного пространства. Подземные пешеходные переходы. Требования к проектированию, строительству, контролю качества и приемке работ. СТО НОСТРОЙ-2014 : стандарт организации : введен и утвержден Решением Совета Национального объединения строителей, протокол от 21 ноября 2011 г. № 7 : введен впервые : 5 декабря 2011 г. // rodosnpp.ru : сайт. URL: <https://rodosnpp.ru/media/podzempeshperehody.pdf> (дата обращения: 30.01.2024).

10. Кононов Д. А., Белениник О. И. Дымоудаление в подземных пешеходных переходах и станциях метрополитена при осуществлении вендинговой торговли // Транспорт и логистика устойчивого развития территорий, бизнеса, государства (драйверы роста, тренды и барьеры) : материалы II Междунар. науч.-практ. конф., Москва, 30 марта 2023 года. М. : Государственный университет управления, 2023. С. 175–178.

11. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : Федер. закон № 123-ФЗ : принят Государственной Думой 4 июля 2008 г. : одобрен Советом Федерации 11 июля 2008 г. // Кодекс : электрон. фонд правовой и норматив.-техн. информ. URL: <https://docs.cntd.ru/document/902111644> (дата обращения: 05.06.2024).

12. СП 4.13130.2013. Системы противопожарной защиты. Ограничение распространения пожара на объектах защиты. Требования к объемно-планировочным и конструктивным решениям // Кодекс : электрон. фонд правовой и норматив.-техн. информ. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200101593?ysclid=lqxfku2i4294298388> (дата обращения: 30.12.2023).

13. Требования пожарной безопасности к пешеходным переходам. Классификация пешеходных переходов по принципу «здание общественного назначения» / «производственное сооружение» // Пожарная безопасность : блог Николая Морозова. URL: <https://morozofkk.ru/article/id4519/> (дата обращения: 30.12.2023).

14. Класс функциональной пожарной опасности подземного пешеходного тоннеля // proinfosoft.ru : сайт. URL: <https://proinfosoft.ru> (дата обращения: 30.12.2023).

15. СП 120.13330.2022. Метрополитены СНиП 32-02-2003 // Кодекс : электрон. фонд правовой и норматив.-техн. информ. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1300886470?ysclid=lqxm1xxrl835002213> (дата обращения: 30.12.2023).

16. СП 153.13130.2013. Инфраструктура железнодорожного транспорта. Требования пожарной безопасности // Кодекс : электрон. фонд правовой и норматив.-техн. информ. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200097503?ysclid=lqy1qqhlsa256197959> (дата обращения: 30.12.2023).

17. Об утверждении Правил противопожарного режима в Российской Федерации : постановление Правительства Российской Федерации от 16 сентября 2020 г. № 1479 // Кодекс : электрон. фонд правовой и норматив.-техн. информ. URL: <https://docs.cntd.ru/document/565837297?ysclid=lqz> (дата обращения: 30.12.2023).

18. О государственном контроле (надзоре) и муниципальном контроле в Российской Федерации : Федер. закон от 31 июля 2020 г. № 248-ФЗ : послед. ред. // КонсультантПлюс : сайт. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_358750/372 (дата обращения: 28.01.2024).

19. Об обязательных требованиях в Российской Федерации : Федер. закон от 31 июля 2020 г. № 247-ФЗ // КонсультантПлюс : сайт. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_358670/?ysclid=lrxf&xdl7554223144 (дата обращения: 27.01.2024).

20. Теракт в подземном переходе на Пушкинской площади в Москве (2000) // РИА Новости : сайт. URL: <https://ria.ru/20190808/1557209206.html?ysclid=lrwewg0tet2> (дата обращения: 27.01.2024).

REFERENCES

1. The history of the construction of underground and aboveground crossings in Moscow // LiveJournal : information Internet portal. URL: <https://ilovemoscow.livejournal.com/320034.html> (date of access: 12/30/2023). (rus).
2. The history of underground pedestrian crossings in Moscow // RIA Novosti : website. URL: <https://ria.ru/20091016/189010041.html> (date of access: 12/30/2023). (rus).
3. Since 2008, the number of pedestrian crossings in Russia has increased by 30 thousand. // Behind the wheel : website. URL: https://www.zr.ru/content/news/437835-s_2008_goda_chislo_peshehodnyh_perehodov_v_rossii_vyroslo_na_30_tys/ (date of appeal: 12/30/2023). (rus).
4. The State Traffic Inspectorate is monitoring the implementation of national standards for the arrangement of pedestrian crossings in the regions // Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation : ofic. website. URL: <https://мвд.рф/news/item/13262322/?ysclid=lqs2o7juw9266987893> (accessed: 12/30/2023). (rus).
5. On the Rules of the road : Decree of the Government of the Russian Federation No. 1090 of October 23, 1993 // ConsultantPlus : website. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_2709/824c911000b3626674abf3ad6e38a6f04b8a7428/?ysclid=lsq2gu92pc771115866 (accessed: 01/27/2024). Access mode: for registration. users. (rus).
6. MGSN 1.03-02. Pedestrian crossings outside the roadway. Objects of small-scale trade and service in pedestrian crossings : Moscow city building standards (TSN 32-302-2003 of Moscow) : approved and introduced by Decree of the Government of Moscow dated August 19, 2003 No. 693-PP : introduced for the first time : date of introduction from 08/19/2003 // files.stroyinf.ru : website. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294814/4294814348> (date of application: 06/05/2024). (rus).
7. Alexandrov, N. V. Underground pedestrian crossing — a safe solution to transport problems // Underground Expert : an information portal about underground construction. URL: <https://undergroundexpert.info/is-sledovaniya-i-tehnologii/tehnologii/podzemnyj-perehod-reshenie-problem/?ysclid=lqs3kt6gcf583660805> (accessed: 12/30/2023). (rus).
8. GOST R 59610-2021. Public roads. Pedestrian crossings at different levels. General requirements. Rules of placement : national the standard of the Russian Federation : approved and put into effect by the order of the Feder. technical agencies regulation and Metrology dated August 5, 2021 No. 688-st : date of introduction 2021-09-01 // Code : electron. the legal and regulatory foundation.- Tech. inform. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200180479> (date of application: 06/05/2024). (rus).
9. Development of underground space. Underground pedestrian crossings. Requirements for design, construction, quality control and acceptance of works. STO NOSTROY-2014 : organization standard : introduced and approved by the Decision of the Council of the National Association of Builders, Protocol No. 7 dated November 21, 2011 : introduced for the first time : December 5, 2011// rodosnpp.ru : website. URL: <https://rodosnpp.ru/media/podzempeshperehody.pdf> (date of application: 30.01.2024). (rus).
10. Kononov D. A., Beleninik O. I. Smoke removal in underground pedestrian crossings and metro stations in the implementation of vending trade // Transport and logistics of sustainable development of territories, business, state (growth drivers, trends and barriers) : materials of the II International Scientific and Practical Conference, Moscow, March 30, 2023 Moscow : State University of Management, 2023. pp. 175-178. (rus).
11. Technical regulations on fire safety requirements : Feder. Law No. 123-FZ : adopted by the State Duma on July 4, 2008 : approved by the Federation Council on July 11, 2008 // Code : elec-throne. the legal and regulatory foundation.- Tech. inform. URL: <https://docs.cntd.ru/document/902111644> (date of publication: 06/05/2024). (rus).
12. SP 4.13130.2013. Fire protection systems. Limiting the spread of fire at protection facilities. Requirements for space-planning and structural solutions // Codex : elec-throne. the legal and regulatory foundation.- Tech. inform. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200101593?ysclid=lqxsfku2i4294298388> (accessed: 12/30/2023). (rus).
13. Fire safety requirements for pedestrian crossings. Classification of pedestrian crossings according to the principle of "public purpose building" / "production facility" // Public safety : blog of Nikolai Morozov. URL: <https://morozovfk.ru/article/id4519/> (date of application: 12/30/2023). (rus).
14. Functional fire hazard class of an underground pedestrian tunnel // proinfosoft.ru : website. URL: <https://proinfosoft.ru> (date of application: 12/30/2023). (rus).
15. SP 120.13330.2022. Metros SNIIP 32-02-2003 // Code : electron. the legal and regulatory foundation.- Tech. inform. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1300886470?ysclid=lqxm1xxrl835002213> (accessed: 12/30/2023). (rus).
16. SP 153.13130.2013. Railway transport infrastructure. Fire safety requirements // Code : electron. the legal and regulatory foundation.- Tech. inform. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200097503?ysclid=lqy1qqhlsa256197959> (date of application: 12/30/2023). (rus).

17. On approval of the Rules of fire protection in the Russian Federation : Decree of the Government of the Russian Federation dated September 16, 2020 No. 1479 // Code : electron. the legal and regulatory foundation.- Tech. inform. URL: <https://docs.cntd.ru/document/565837297?ysclid=lqz> (accessed: 12/30/2023). URL: <https://docs.cntd.ru/document/565837297?ysclid=lqz> (data obrashheniya 30.12.2023) (rus).

18. On State Control (Supervision) and Municipal Control in the Russian Federation : Federal Law No. 248-FZ dated July 31, 2020 : last ed. // ConsultantPlus : website. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_358750/372 (date of application: 01/28/2024).

19. On mandatory requirements in the Russian Federation : Feder. Law No. 247-FZ of July 31, 2020 // ConsultantPlus : website. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_358670/?ysclid=lrxf8xdl7554223144 (date of issue: 01/27/2024). (rus).

20. The terrorist attack in the underpass on Pushkin Square in Moscow (2000) // RIA Novosti : website. URL: <https://ria.ru/20190808/1557209206.html?ysclid=lrwewg0tet2> (accessed: 01/27/2024 (rus)).

Информация об авторах

Фирсов Александр Георгиевич, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник отдела пожарной статистики, ФГБУ ВНИИПО МЧС России, Россия, 143903, Московская область, г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, д. 12; РИНЦ ID: 462043; ORCID: 0000-0003-3272-1972; e-mail: otdel-16@vniipo.ru

Сибирко Виталий Иванович, начальник сектора отдела пожарной статистики ФГБУ ВНИИПО МЧС России, Россия, 143903, Московская область, г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, д. 12; РИНЦ ID: 761310; ResearcherID: ABB-8963-2021; ORCID: 0000-0002-5319-6823; e-mail: otdel-16@vniipo.ru

Загуменнова Марина Викторовна, начальник сектора отдела пожарной статистики ФГБУ ВНИИПО МЧС России, Россия, 143903, Московская область, г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, д. 12; РИНЦ ID: 749141; ORCID: 0000-0002-7867-8175; e-mail: otdel-16@vniipo.ru

Information about the authors

Alexander G. Firsov, Cand. Sci. (Eng.), Leading Researcher of the Department of Fire Statistics, Federal State Institution VNIIPO of the Ministry of Emergency Situations of Russia, mkr. VNIIPO, 12, Balashikha, Moscow region, 143903, Russian Federation; ID RISC: 462043; ORCID: 0000-0003-3272-1972; e-mail: otdel-16@vniipo.ru

Vitaly I. Sibirko, Head of the Sector of the Fire Statistics Department of the Federal State Budgetary Institution VNIIPO of the Ministry of Emergency Situations of Russia, mkr. VNIIPO, 12, Balashikha, Moscow region, 143903, Russian Federation; ID RISC: 761310; ResearcherID: ABB-8963-2021; ORCID: 0000-0002-5319-6823; e-mail: otdel-16@vniipo.ru

Marina V. Zagumennova, Head of the Sector of the Fire Statistics Department of the Federal State Budgetary Institution VNIIPO of the Ministry of Emergency Situations of Russia, mkr. VNIIPO, 12, Balashikha, Moscow region, 143903, Russian Federation; ID RISC: 749141; ORCID: 0000-0002-7867-8175; e-mail: otdel-16@vniipo.ru

УДК 614.849; 694

К ВОПРОСУ АКТУАЛЬНОСТИ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЫСОКОПРОЧНЫХ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ДРЕВЕСИНЫ

**Хабибуллина Наталия Валерьевна, Лазарев Иван Сергеевич,
Кузнецов Антон Александрович, Опарин Иван Дмитриевич**

Уральский институт ГПС МЧС России, г. Екатеринбург, Россия

АННОТАЦИЯ

Статья посвящена вопросам современного строительства зданий средней этажности и высотных зданий с применением высокопрочных композитных материалов на основе древесины. Целью данной статьи является исследование перспектив применения высокопрочных композитных материалов на основе древесины при строительстве высотных зданий. Рассматриваются конструктивные схемы и методы возведения деревянных домов с использованием древесины в несущих конструкциях. Приводятся примеры отечественного производства высокопрочных композитных материалов на основе древесины. Описывается порядок производства панелей на основе технологии Cross Laminated Timber, а также Laminated Veneer Lumber бруса. Указаны плюсы данных материалов в сравнении с другими, более распространенными строительными материалами. Описываются основные высокопрочные композитные материалы на основе древесины, используемые при возведении зданий. Изучен опыт возведения высотных зданий из древесных материалов других стран. Обозначены перспективы применения данных строительных материалов и дана оценка их эксплуатационным характеристикам. Рассмотрена актуальность отечественной нормативно-правовой базы по противопожарной безопасности. Обозначена проблема в современном строительстве многоэтажных деревянных зданий в Российской Федерации. Сделан вывод и определены дальнейшие задачи для проведения исследований.

Ключевые слова: пожарная безопасность, деревянные конструкции, многоэтажные жилые дома, высокопрочные композитные материалы, LVL-брус, CLT-панели

TO THE QUESTION OF THE RELEVANCE OF THE STUDY OF HIGH-STRENGTH COMPOSITE MATERIALS BASED ON WOOD

Natalia V. Khabibullina, Ivan S. Lazarev, Anton A. Kuznetsov, Ivan D. Oparin

Ural Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia, Yekaterinburg, Russian Federation

ABSTRACT

The article is devoted to the issues of modern construction of medium-rise buildings and high-rise buildings with the use of high-strength composite materials based on wood.

The purpose of this article is to study and prospects for the use of high-strength composite materials based on wood in the construction of high-rise buildings. Constructive schemes and methods of construction of wooden houses using wood in load-bearing structures are considered. Examples of domestic production of high-strength composite materials based on wood are given. The procedure for the production of panels based on Cross Laminated Timber technology, as well as LVL timber, is described. The advantages of these materials in comparison with other, more common building materials are indicated. The main high-strength composite materials based on wood used in the construction of buildings are described. The experience of erecting high-rise buildings made of wood materials from other countries has been studied. The prospects for the use of these building materials are outlined and their operational characteristics are evaluated. The relevance of the domestic regulatory framework for fire safety is considered. The problem in the modern construction of multi-storey wooden buildings in the Russian Federation is outlined. The conclusion is made and further tasks for conducting research are determined.

Keywords: : fire safety, wooden structures, multi-storey residential buildings, high-strength composite materials, LVL timber, CLT panel

Введение

В последнее время в нашей стране значительно возрос интерес к строительству зданий с использованием древесины. По данным Росстата, в 2020 г. были достигнуты рекордные показатели по сдаче деревянного жилья, составившие 9,35 млн м², с начала ведения данной статистики. Однако эксперты из НП «Ассоциации деревянного домостроения» (АДД) считают, что опубликованные данные не отображают истинной картины и фактическое количество сданного жилья значительно выше приведенных показателей Росстата. Согласно данным опроса, проведенного АДД, в 2020 г. пандемия COVID-19 способствовала повышению спроса на строительство деревянных домов. Популярность зданий с использованием древесины объясняется их скоростью строительства, технологической простотой, удобством работы с материалом и экологичностью, что является одним из ключевых моментов, если не определяющим [1].

В настоящее время значительно набирает обороты вопрос деревянного

строительства в условиях городской застройки. Существующие строительные материалы, изготовленные с использованием древесины в несущих конструкциях, позволяют возводить жилые здания от 4 этажей и выше. Самой распространенной и востребованной конструктивной схемой возведения многоэтажного деревянного здания является каркасная система, в которой используются массивные панели, созданные на основе технологии Cross Laminated Timber (CLT). В качестве основы CLT панели одновременно могут использоваться при панельном и объемно-модульном методе возведения здания. При панельном методе возведения речь идет исключительно о сборке уже готовых панелей, а при работе с готовыми объемными элементами стоит говорить о объемно-модульном методе возведения.

Материалы и методы

На сегодняшний день, на территории РФ производятся все необходимые материалы для деревянного домостроения. К примеру, брус Laminated Veneer Lumber (LVL) – это клееный брус на основе шпона, предназначенный для создания

прочных несущих конструкций. LVL-брус изготавливается в Торжке, а самое крупное европейское производство CLT-панелей расположено в Карелии.

LVL-брус и CLT – это высокопрочные композитные материалы на основе древесины. LVL-брус используют в качестве элементов несущего каркаса здания. Брус изготавливают из многослойного шпона хвойных пород. Толщина каждого слоя около 3 мм, волокна располагаются параллельно друг другу [2]. LVL-брус в течение времени всего срока службы и под воздействием внешних факторов не меняет своих геометрических размеров, что безусловно говорит о его превосходстве над брусом из обычного дерева.

Панели, изготовленные по технологии CLT, представляют собой достаточно массивные плиты, которые можно использовать в качестве стен и перекрытий при

возведении строений (рис. 1). Панели изготавливаются из древесины хвойных пород влажностью не менее 12 %. Вертикальные ламели-плиты задают несущую способность, горизонтальные – продольную жесткость. Клеевой шов между ламелями формируется на молекулярном уровне и абсолютно безвреден, т. к. используются только сертифицированные в Европе клеевые системы.

Сначала заготовки проходят процедуру камерной сушки, потом торцуются. Для достижения ламели заданной длины заготовки сращивают на зубчатый шип, затем ламели склеиваются и в заключении подвергаются прессовке. После этого следуют этапы строгания и шлифовки до состояния идеально гладкой поверхности.

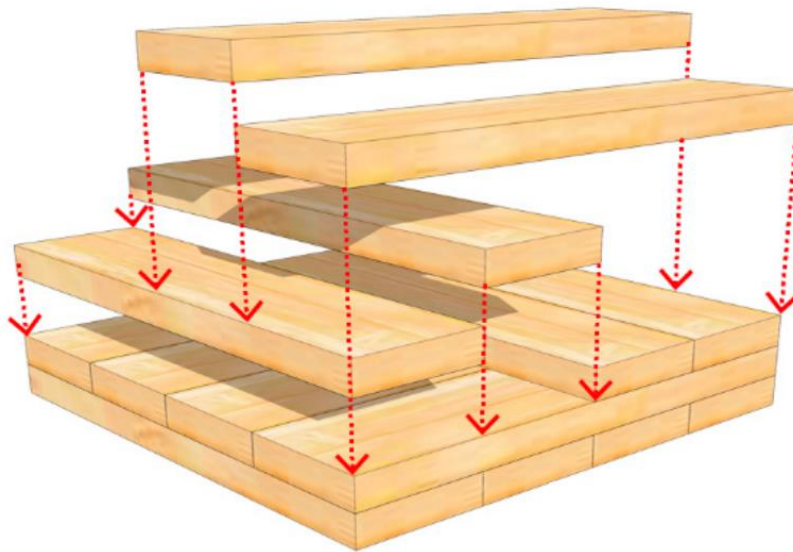


Рис. 1. Схема расположения слоев в CLT-панелях

Fig. 1. Layout of layers in CLT-panels

Благодаря своим физическим и механическим свойствам CLT-панели обладают превосходными теплоизоляционными свойствами: они в 4–5 раз превышают показатели стен из кирпича или бетона и выдерживают большие нагрузки.

Композитные панели используются для облицовки и перекрытия зданий [3].

LVL-брус изготавливается методом послойного склеивания шпона с параллельным расположением волокон (рис. 2).

Схематически это очень напоминает изготовление фанеры, но принципиальная разница в большем количестве слоев. Уникальность данного материала – это способность сохранять заданные при изготовлении размеры. Под воздействием внешних факторов материал так же не меняет ни своих характеристик, ни геометриче-

ских размеров. По указанным характеристикам сравнить LVL-брус можно разве что с клееным брусом. Использование LVL-бруса при возведении несущих опор и перекрытий обосновано более значительными показателями прочности в сравнении с клееным брусом.

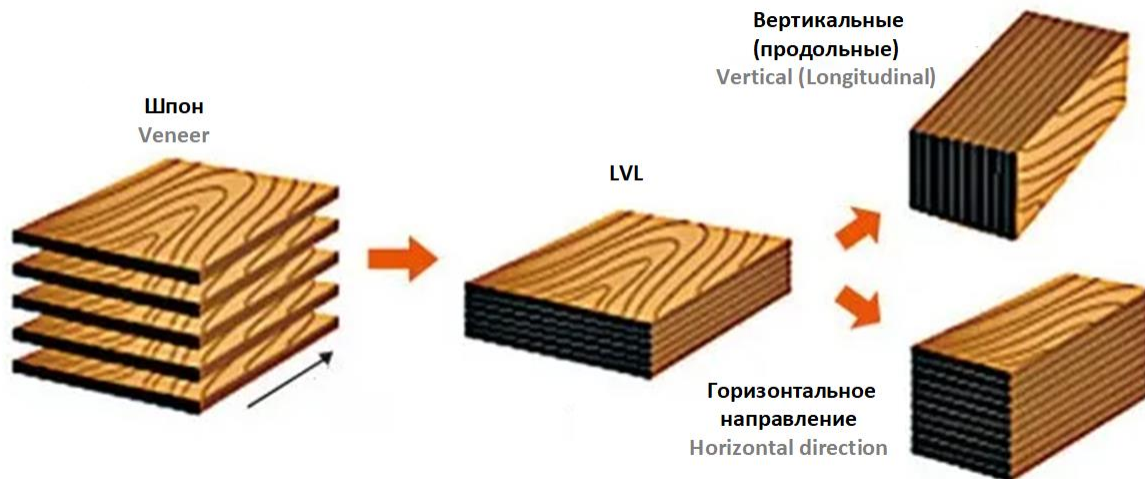


Рис.2. Схема расположения слоев в LVL-брусе
Fig.2. The layout of the layers in the LVL-beam

При возведении зданий есть возможность комбинировать высокопрочные композитные материалы на основе древесины в разных вариациях. Предположим, каркас здания собирают из LVL-бруса, а стены и перекрытия из CLT-панелей разной толщины. Еще одним из плюсов данной технологии является возможность задать нужные параметры всех используемых материалов прямо на производстве. За счет небольшой толщины композитных панелей при возведении стен, площадь помещения увеличивается до 10 % в сравнении с другими домами из дерева. Скорость монтажа таких зданий значительно выше, чем в другом виде строительства, и напрямую зависит от возможности транспортировки готовых блоков или модулей к месту проведения работ. В итоге готовая конструкция здания, имея небольшой вес, способна выдерживать большие нагрузки [4].

Необходимо отметить, что, говоря о строительстве многоэтажных домов в нашей стране, мы говорим об индустриальном строительстве. Безусловно, дерево в составе высокопрочных композитных материалов может выступать при возведении таких типов зданий. Успешный опыт других стран по применению данных материалов говорит сам за себя, к примеру в США, Канаде, Швеции и других европейских странах уже давно возводят высотные здания из древесных материалов. В настоящее время самым высоким деревянным сооружением в мире считается здание Mjøstårnet Tower высотой 85,4 метра в городе Брумундал (Норвегия). Дом построен в 2019 г., имеет 18 этажей, в котором даже лифтовые шахты построены из дерева. Он сместил на 2-е место канадский деревянный дом (Brock Commons) высотой 54 метра.

В последние десятилетия появляются все новые и новые материалы и технологии в области возведения деревянных зданий, и, судя по всему, это только начинает набирать обороты у нас в стране. Применение высокопрочных композитных материалов при возведении домов позволяет в короткие сроки обеспечить качественные строительные работы домов из древесины с достаточно высокими эксплуатационными характеристиками. К сожалению, в нашей стране вопрос деревянного домостроения, имеет немало сдерживающих факторов. Ключевыми из них являются консервативные нормы противопожарной безопасности. Фактически нормативно-правовая база по данному вопросу не обновлялась несколько последних десятилетий, что оставило ее актуальность в 80-х годах прошлого века. В подтверждение данных слов говорит и то, что строительство деревянных домов ограничивалось тремя этажами. При этом Совет Федерации неоднократно обращался в Минстрой с просьбой о разработке новых норм пожарной безопасности и строительства деревянных домов. При принятии стратегии развития лесного комплекса до 2030 г., устаревшее нормативное регулирование было обозначено как одна из главных проблем, не позволяющих развиваться деревянному домостроению.

В конце сентября 2020 г. Президент РФ провел совещание с руководителями федеральных министерств и ведомств по вопросам развития и декриминализации лесного комплекса, в ходе которого было отмечено, что у деревянного домостроения с использованием готовых домокомплектов большие перспективы для развития и для его поддержания необходимо устранить все правовые преграды. В конечном счете это открывает новые перспективы для возведения собственных домов, что повлечет за собой улучшение жилищных условий граждан. Спрос на возведе-

ние домов с применением высокопрочных композитных материалов на основе древесины обеспечит подъем в строительной индустрии, что повлечет за собой увеличение рабочих мест на предприятиях по переработке древесины. Опираясь на опыт зарубежных стран, можно сказать, что появление высокопрочных композитных материалов на основе древесины позволяет строить безопасные высотные здания из древесины.

В настоящее время отмечаются положительные изменения в нормативно-правовой базе в части регулирования вопросов деревянного строительства. Так, в 2019 г. были утверждены два свода правил: СП 451.1325800.2019 «Здания общественные с применением деревянных конструкций. Правила проектирования» [5] и СП 452.1325800.2019 «Здания жилые многоквартирные с применением деревянных конструкций. Правила проектирования» [6], благодаря которым становится возможным проектирование деревянных зданий высотой до 28 метров с учетом их особенностей.

Заключение

Несмотря на существование СП [5] и [6], наблюдается определенный нормативный пробел в сфере регулирования вопросов деревянного строительства. Решение данной проблемы требует комплексного подхода, а именно:

- 1) изучить зарубежный опыт в применении нормативно-правовых документов, регулирующих вопросы деревянного строительства, для возможности применения зарубежных стандартов и норм в России либо гармонизации их с учетом требований ФЗ-123 «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности»;

- 2) провести комплексные испытания на огнезащитную эффективность высокопрочных композитных материалов на основе древесины с применением суще-

ствующих средств огне- и биозащиты, используемых для улучшения характеристик испытываемых материалов. Проанализировать их эффективность на основе показателей пожарной опасности, а также разработать метод оценки наличия средств огне и

биозащиты на строительных изделиях из высокопрочных композитных материалов.

3) изучить отечественный рынок огнезащитной продукции и основных компонентов огнеупорных составов для защиты древесины и высококомпозитных материалов на основе древесины.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Хабибуллина Н. В. Необходимость исследования высокопрочных композитных материалов на основе древесины // Современные проблемы обеспечения безопасности : сборник материалов XXV Международ. науч.-практ. конф. (26–27 апреля 2023 г.) / ред. колл. М. В. Елфимова, О. В. Беззапонная, Е. В. Головина [и др.]. Екатеринбург : Уральский институт ГПС МЧС России, 2023. С. 41–43.
2. Бойтемирова И. Н. Паутова Е. П., Артамонова Е. А. Многоэтажное деревянное строительство // Россия: тенденции и перспективы развития. 2021. Вып. 16. С. 458–461.
3. Переходова И. Городское строительство из дерева. Зарубежный опыт // Доклады 66-й науч. конф. профессоров, преподавателей, науч. работников, инженеров и аспирантов СПбГАСУ. СПб. : СПбГАСУ, 2009. С. 137–139.
4. Гилетич А. Н. Хасанов И. Р., Макеев А. А. Пожарная безопасность многоэтажных зданий из деревянных конструкций // Пожарная безопасность. 2014. № 2. С. 116–125.
5. СП 451.1325800.2019. Здания общественные с применением деревянных конструкций. Правила проектирования // Минстрой России : офиц. сайт. URL: <https://www.minstroyrf.gov.ru/docs/57862/> (дата обращения: 05.07.2023).
6. СП 452.1325800.2019. Здания жилые многоквартирные с применением деревянных конструкций. Правила проектирования // Минстрой России : офиц. сайт. URL: <https://www.minstroyrf.gov.ru/docs/57864/> (дата обращения: 05.07.2023)

REFERENCES

1. Khabibullina N. V., The need to study high-strength composite materials based on wood // Modern problems of security: a collection of materials of the XXV International Scientific and Practical Conference (April 26–27, 2023). M. V. Elfimova, O. V. Bezzaponnaya, E. V. Golovina [et al.] (ed.). Yekaterinburg, Ural Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia, 2023; 41–43. (rus).
2. Boytemirova I.N., Pautova E.P., Artamonova E.A. Multi-storey wooden construction. Russia: Trends and Prospects of Development. Yearbook, Kursk, 04-05 June 2021. Moscow, Institute of Scientific Information on Social Sciences of the Russian Academy of Sciences, 2021; 16. Part 2: 458–461. (rus).
3. Perekhodova I. Urban construction from wood. Foreign experience. Reports of the 66th Scientific Conference of professors, teachers, researchers, engineers and graduate students of SPbGASU. St. Petersburg, 2009; 137–139. (rus).
4. Giletic A.N., Khasanov A. R., Makeev A.A. Fire safety of multi-storey buildings made of wooden structures. Pozharnaya bezopasnost'/Fire safety. 2014; 2: 116–125. (rus).
5. SP 451.1325800.2019 Public buildings with the use of wooden structures. Design rules. URL: <https://www.minstroyrf.gov.ru/docs/57862/> / (accessed: 05.07.2023) (rus).
6. SP 452.1325800.2019 Residential apartment buildings with the use of wooden structures. Design rules. URL: <https://www.minstroyrf.gov.ru/docs/57864/> / (accessed: 05.07.2023) (rus).

Информация об авторах

Хабибуллина Наталия Валерьевна, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник научно-исследовательского отдела, Уральский институт ГПС МЧС России, Россия, 620062, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 22; Author ID: 759109; ORCID ID: 0009-0008-4435-4202; e-mail: natys9i@mail.ru

Information about the authors

Natalia V. Khabibullina, Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher of the Research Department, Ural Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia, Mira St., 22, Yekaterinburg, 620062, Russian Federation; Author ID: 759109; ORCID ID: 0009-0008-4435-4202 e-mail: natys9i@mail.ru

Лазарев Иван Сергеевич, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, начальник кафедры пожарно-прикладной подготовки, Уральский институт ГПС МЧС России, Россия, 620062, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 22; Author ID: 811516; e-mail: ivanlazarev1987@mail.ru

Кузнецов Антон Александрович, кандидат психологических наук, старший преподаватель кафедры пожарно-прикладной подготовки, Уральский институт ГПС МЧС России, Россия, 620062, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 22; Author ID: 850940; e-mail: kuznetzoff.aa@yandex.ru

Опарин Иван Дмитриевич, кандидат экономических наук, доцент кафедры пожарной, аварийно-спасательной техники и специальных технических средств, Уральский институт ГПС МЧС России, Россия, 620062, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 22; Author ID: 793882; ORCID ID: 0000-0002-3885-0540; Scopus AuthorID 57221759263; e-mail: oparinivan@mail.ru

Ivan S. Lazarev, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Fire-applied Training, Ural Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia, Mira St., 22, Yekaterinburg, 620062, Russian Federation; Author ID: 811516
e-mail: ivanlazarev1987@mail.ru

Anton A. Kuznetsov, Candidate of Psychological Sciences, Senior lecturer of the Department of Fire-applied Training, Ural Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia, Mira St., 22, Yekaterinburg, 620062, Russian Federation; Author ID: 850940
e-mail: kuznetzoff.aa@yandex.ru

Ivan D. Oparin, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor of the Department of Fire, Emergency Rescue Equipment and Special Technical Means, Ural Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia, Mira St., 22, Yekaterinburg, 620062, Russian Federation; Author ID: 793882; ORCID ID: 0000-0002-3885-0540; Scopus AuthorID 57221759263
e-mail: oparinivan@mail.ru

БЕЗОПАСНОСТЬ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ / SAFETY IN EMERGENCY SITUATIONS

УДК 614.8

ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ ВЕДЕНИИ АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНЫХ РАБОТ И ТУШЕНИИ ПОЖАРОВ**Королев Денис Сергеевич¹, Арифупин Евгений Заудятович¹,
Русских Дмитрий Викторович², Шмырева Марианна Борисовна³**¹Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, Россия²Академия Государственной противопожарной службы МЧС России, г. Москва, Россия³Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, Красноярский край, г. Железногорск, Российская Федерация**АННОТАЦИЯ**

В настоящее время количество чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера стремительно увеличивается, что обусловлено прямыми и косвенными факторами (изменением климата, авариями на различных объектах инфраструктуры и т. д.). Таким образом, для достижения общей цели системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций – защиты людей, имущества, территорий и прочего – необходима слаженная работа всех ее элементов с учетом применения последних достижений в области цифровой трансформации. Однако цифровизация государственного управления несет в себе определенные риски (технические сбои, нарушение информационной безопасности и т. д.). Поэтому авторами статьи была проведена статистическая обработка данных и был рассчитан коэффициент Фехнера, значение которого оказалось незначимым, т.е. вероятность возникновения и степень негативного воздействия от внедрения цифровых технологий в деятельность МЧС не должны оказать отрицательного эффекта. Кроме того, разработав анкеты-опросники и определив коэффициент конкордации, показавший удовлетворительную степень согласованности экспертов по вопросу эффективности применения современных технологий, авторами статьи предложены избыточные рекомендации по разработке цифровых ортофотопланов, необходимых при прогнозировании и моделировании различных процессов, а также для мониторинга и контроля проведения аварийно-спасательных работ.

Ключевые слова: чрезвычайная ситуация, статистические данные, анкеты-опросники, аварийные работы, методика

DIGITAL TECHNOLOGIES FOR EMERGENCY RESCUE AND FIRE FIGHTING**Denis S. Korolev¹, Evgeniy Z. Arifulin¹, Dmitriy V. Russskikh², Marianna B. Shmyreva³**¹Voronezh State Technical University, Voronezh, Russian Federation²Academy of the State Fire Service, Moscow, Russian Federation

³Siberian Fire and Rescue Academy of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia, Krasnoyarsk Territory, Zheleznogorsk, Russian Federation

ABSTRACT

Currently, the number of emergency situations of a natural and technogenic nature is rapidly increasing, due to direct and indirect factors (climate change, accidents at various infrastructure facilities, etc.). Thus, to achieve the general goal of the system of preventing and eliminating emergency situations - the protection of people, property, territories and other things, the coordinated work of all its elements is necessary, taking into account the application of the latest achievements in the field of digital transformation. However, the digitalization of public administration carries certain risks (technical failures, violation of information security, etc.). Therefore, the authors of the article carried out statistical data processing and the fekhner coefficient was calculated, the value of which was not significant. Those, the probability of occurrence and the degree of negative impact from the introduction of digital technologies in the activity of the Ministry of Emergencies should not have a negative effect. In addition, developing questionnaires and determining the concordance coefficient, showing the satisfactory degree of consistency of experts on the effectiveness of the use of modern technologies, the authors of the article proposed excessive recommendations for the development of digital orthoplatoles necessary when predicting and modeling various processes, as well as monitoring and monitoring of emergency and control rescue work.

Keywords: emergency situation, statistics, questionnaires, emergency work, methodology

Введение

Внутриполитическая деятельность Российской Федерации представляет собой систему государственного управления, основной целью которой является контроль состояния и обеспечения национальной безопасности страны, что достигается путем разработки особого комплекса мер, направленных на защиту населения и территорий от чрезвычайных ситуаций (далее – ЧС) природного и техногенного характера, ситуаций, вызванных военными конфликтами. Реализует деятельность по раннему выявлению или локализации деструктивных событий, сводит к минимуму воздействия поражающих факторов при ЧС, размеров ущерба от них [1, 2].

К основным событиям настоящего времени, негативно влияющим на состоя-

ние защищенности населения, территории, имущества и др., следует отнести [3, 4]:

– климатические изменения и некоторые стихийные бедствия, не характерные для определенной территории, активизация геофизических и космогенных процессов;

– техногенные аварии и катастрофы, причиной которых послужили изношенность коммунальной инфраструктуры, пожар или природный катаклизм;

– возникновение опасных инфекционных заболеваний людей, растений и животных, вызванных, в том числе увеличением интенсивности миграционных процессов и урбанизацией городской среды;

– угрозы, вызванные негативным изменением окружающей среды,

усложнением технологических процессов и т. д.

Таким образом, в стремительно меняющемся мире необходимо экстренно реагировать на меняющиеся внутренние и внешние угрозы. Поэтому своевременный контроль состояния готовности муниципальных систем управления и связи, информирования и оповещения населения путем постоянной проверки их работоспособности, отслеживание динамики рисков в техносфере, совершенствование и подготовка населения в вопросах культуры безопасности жизнедеятельности и др., актуализация нормативно-правовой базы в области защиты населения и территорий от ЧС будут способствовать повышению уровня защищенности населения и, как следствие, процветанию государства.

Например, министерством МЧС России был подготовлен законопроект, а позже подписан Президентом РФ Федеральный закон от 30.01.2024 № 5 «О внесении изменений в Федеральный закон "О защите населения и территорий от ЧС природного и техногенного характера" (редакция вступает в силу 29.06.2024). Теперь ст. 25 «Создание и использование резервов финансовых и материальных ресурсов для ликвидации чрезвычайных ситуаций» дополнена тем, что финансовые и материальные ресурсы, за исключением государственного материального резерва, можно использовать при введении режима повышенной готовности, если это предусмотрено порядком создания и использования резервов.

Таким образом имеющиеся резервы финансовых и материальных ресурсов могут быть использованы при выполнении мероприятий, направленных на предупреждение ЧС при введении режима повышенной готовности, что позволит вовремя выполнить комплекс мер, направленных на минимизацию потерь от ЧС.

Методы и результаты исследований

Одной из основных проблем, влияющих на успешный исход проведения аварийно-спасательных работ в случае ЧС, является оперативный сбор точной информации, достоверное владение и умение качественно осуществлять оперативный обмен прогнозными сведениями, что даст возможность заблаговременно подготовить необходимые силы и средства для выполнения специальных работ в зоне ЧС и дальнейшего реагирования на них [5].

Для решения складывающейся проблемы в рамках системы антикризисного управления целесообразно применение современных технологий. Конечно, цифровизация государственного управления несет в себе определенные риски. Оценить вероятность возникновения и степень их воздействия в сфере деятельности МЧС России позволит статистический коэффициент Г. Фехнера [6], который показывает уровень взаимосвязи направлений отклонений индивидуальных параметров факторного и конечного признаков от соответствующих средних. Особенностью коэффициента корреляции знаков является то, что он лежит в пределах $-1...+1$. Если полученное расчетное значение близко или равняется 1, то говорят о прямой связи, если значение менее 0, то присутствует обратная связь. Для определения искомой величины авторами разработана и представлена сводная таблица с деструктивными ситуациями, которые могут возникнуть в процессе цифровой трансформации (табл. 3).

Определим коэффициент корреляции знаков при помощи формул (1, 2), где исходными данными будут являться значения экспертов (табл. 1):

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} = \frac{32}{7} \approx 4,57 \quad \bar{y} = \frac{\sum y_i}{n} = \frac{28}{7} \approx 4; \quad (1)$$

$$K_f = \frac{n_a - n_b}{n_a + n_b} = \frac{6 - 1}{6 + 1} \approx 0,71; \quad (2)$$

n_a — количество соответствий знаков отличия индивидуальных показателей от среднего;

n_b — количество отклонений.

утверждать о наличии прямой связи.

Поскольку полученное значение лежит в пределах от 0 до +1, то можно

Таблица 1
Негативные последствия применения цифровых технологий
Table 1
Negative consequences of using digital technologies

Вероятностные риски Probabilistic risks	Вероятность возникновения, от 1 до 5 (X) Probability of occurrence from 1 to 5(X)	Степень воздействия, от 1 до 5 (Y) Impact level from 1 to 5(U)	Отклонение от среднего X Deviation from the mean X	Отклонение от среднего Y Deviation from the mean Y
Риск технических сбоев оборудования и (или) программного обеспечения Risk of technical failures of equipment and (or) software	4	4	-	+
Риск нарушения информационной безопасности (утечка данных, хакерские атаки и т. п.) Risk of information security violation (data leaks, hacker attacks, etc.)	5	5	+	+
Риск недостаточного качества государственных данных (дублирование, пустые значения, отсутствие единых правил сокращения слов и т. п.) Risk of insufficient quality of government data (duplication, empty values, lack of uniform rules for abbreviating words, etc.)	5	4	+	+
Риск искажения данных при использовании неадекватных методик их расчета Risk of data distortion when using inadequate methods for their calculation	4	3	-	-
Риск формального подхода к цифровизации управления, решение задач цифровизации без реального улучшения жизни людей The risk of a formal approach to digitalization of management, solving digitalization problems without really improving people's lives	4	3	-	-
Риск чрезмерного доверия субъекта управления к вердиктам, выносимым искусственным интеллектом The risk of excessive trust of the subject of management in the verdicts made by artificial intelligence	5	5	+	+

Риск недостатка цифровых компетенций служащих, реализующих управленческие задачи, в том числе по части цифровизации Risk of lack of digital competencies of employees implementing management tasks, including in terms of digitalization	5	4	+	+
Среднее Average	32	28		

Тогда для оценки его значимости воспользуемся формулой (3):

$$T_{nabl} = K_f \cdot \frac{\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-K_f^2}} = 0,71 \cdot \frac{\sqrt{5}}{\sqrt{1-0,71^2}} \approx 2,28 \quad (3)$$

T_{nabl} – значимость коэффициента Фехнера;

K_f – коэффициент корреляции;

n – значения- критерии.

По имеющейся таблице критических значений-критериев Стьюдента определяем, что $t_{табл} : t_{табл} (n - m - 1; a) = (5; 0,05) = 2,571$. Учитывая, что $T_{nabl} < t_{табл}$, то существует гипотеза о равенстве нулевого коэффициента Фехнера, т. е. вероятность возникновения и степень воздействия не должны оказать негативного влияния на деятельность МЧС.

Отсюда и неудивительно, что в последнее время особое прикладное значение приобретают цифровые ортофотопланы, создаваемые на базе цифровых матриц рельефа местности и метаданных специалистами центров управления в кризисных ситуациях. Они применяются как готовые фотодокументы местности (например, для ориентирования на местности или привязки объектов к заданной системе координат) или как основа для топографической карты [7, 8].

Условно применение цифровых ортофотопланов в МЧС России можно разделить на три группы в зависимости от цели, которая ставится перед специалистами:

- для прогнозирования возможных последствий затопления (рис. 1);
- для определения и тематической обработки зон подтопления и строений (рис. 2);
- для анализа динамики проведения аварийно-спасательных работ и ликвидации последствий ЧС (рис. 3);
- для анализа природных явлений.

Для оценки эффективности применения современных цифровых технологий в деятельности МЧС России воспользуемся методом, в основе которого заложен принцип определения положительных и отрицательных эффектов от внедрения технологий, по мнению экспертов.

Отметим, что расчет экспертного коэффициента определяется как отношение результативного интегрального показателя эффективности к затратному показателю результативности, а исходными данными являются показатели, представленные в табл. 2.

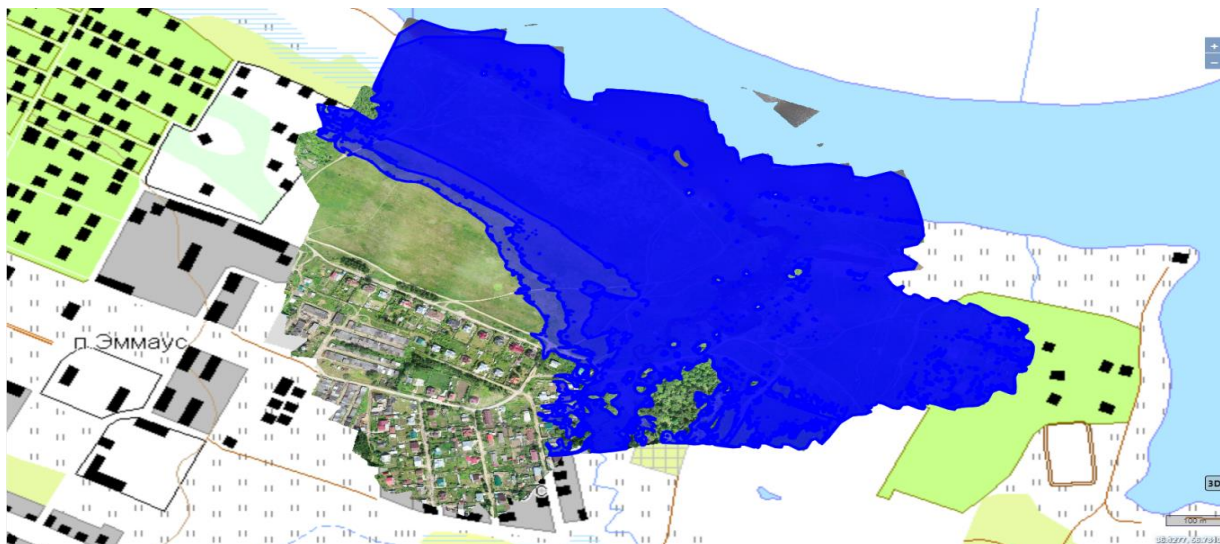


Рис. 1. Моделирование последствий подтопления в н. п. Эммаус, Тверская область

Fig. 1. Modeling the consequences of flooding in n.p. Emmaus, Tver region



Рис. 2. Определение зон наводнения в г. Тулун, Иркутская область

Fig. 2. Determination of flood zones in Tulun, Irkutsk region



Рис. 3. Проведение аварийно-восстановительных работ после наводнения

Fig. 3. Carrying out emergency recovery work after flood

Таблица 2

Показатели эффективности использования цифровых технологий [9]

Table 2

Digital technology performance indicators

Социальные и экономические показатели Social and economic indicators	Технологические показатели Technological indicators
снижение потребления материальных ресурсов reduction in consumption of material resources	повышение оперативности принятия управленческих решений increasing the efficiency of making management decisions
увеличение производительности increase in productivity	повышение контроля increased control
повышение безопасности личного состава increasing personnel safety	повышение прозрачности взаимодействия служб, населения increasing the transparency of interaction between services and the population
повышение квалификации training	повышение коэффициента использования вычислительных ресурсов increasing the utilization rate of computing resources

В целях получения достоверных данных, позволяющих сопоставить ситуацию в различных направлениях деятельности МЧС России, включая управление при проведении аварийно-спасательных работ, особенностей применения современных технологий и т. д., были разработаны специальные анкеты-опросники, наиболее полно отражающие реальную

обстановку (рис. 4), а для оценки значимости 11 факторов создана комиссия в количестве 5 человек.

В чек-листах для удобства использования предлагались различные варианты ответов, а в случае отсутствия необходимого эксперт записывал свое мнение в специально отведенном для этого месте.

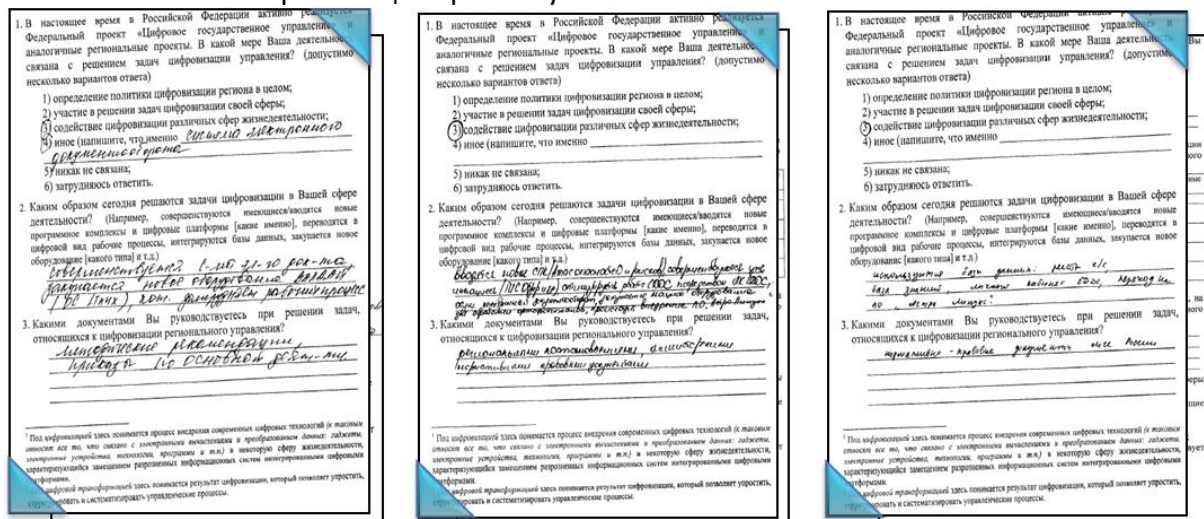


Рис. 4. Разработанные анкеты-опросники

Fig. 4. Developed questionnaires

Для удобства обработки данных авторами была сформирована матрица рангов, особенностью которой являлось то, что каждому рассматриваемому параметру присваивался номер, и если оценка

эксперта была наивысшей или несколько факторов были равнозначными, то им выставлялось значение 1 (табл. 3).

Таблица 3
Сводная таблица рангов
Table 3
Summary table of ranks

№ / Эксперты Experts	1	2	3	4	5
1	4	4	3	5	3
2	5	5	3	5	4
3	5	4	3	4	3
4	4	3	3	4	3
5	4	3	3	5	3
6	5	5	3	5	4
7	5	4	3	5	3
8	4	3	3	3	5
9	5	5	3	3	5
10	5	4	3	4	4
11	5	5	3	3	4

Стоит отметить, что некоторые ответы экспертов совпадали, собственно как и присваиваемый порядковый номер, поэтому была проведена дефрагментация матрицы без изменения мнений и номе-

ров для сохранения соответствующих соотношений. Конечный вариант ранжирования и переформатирования рангов представлены в табл. 4.

Таблица 4
Итоги ранжирования и переформатирования
Table 4
Results of ranking and reformatting

Номера мест в упорядоченном ряду Seat numbers in ordered row	Расположение факторов по оценке эксперта Arrangement of factors according to the expert's assessment	Новые ранги New ranks
1	3	3
2	3	3
3	3	3
4	3	3
5	3	3
6	4	7,5
7	4	7,5
8	4	7,5
9	4	7,5

10	5	10,5
11	5	10,5

На основании переформирования, строится новая матрица рангов (табл. 5). Проверим правильность составления матрицы на основе исчисления контрольной суммы по формуле (4):

$$\sum x_{ij} = \frac{(1+n) \cdot n}{2} = \frac{(1+11) \cdot 11}{2} = 66. \quad (4)$$

Поскольку суммы по столбцам матрицы равны между собой и контрольной

суммой, значит, матрица составлена правильно. Тогда для расчета коэффициента d воспользуемся формулой (5) и полученные значения сведем в табл.5:

$$d = \sum x_{ij} - \frac{\sum \sum x_{ij}}{n} = \sum x_{ij} - 30. \quad (5)$$

Таблица 5
Основные результаты
Table 5
Main results

Факторы / Эксперты Factors / Experts	1	2	3	4	5	Сумма рангов The sum of the ranks	d	d ₂	Факторы Factors	Сумма рангов The sum of the ranks	Σ	λ
x ₁	2,5	5,5	6	9	3	26	-4	16	x ₄	18,5	6	0,1017
x ₂	8	9,5	6	9	7,5	40	10	100	x ₅	22,5	3	0,05085
x ₃	8	5,5	6	5	3	27,5	-2,5	6,25	x ₈	23	6	0,1017
x ₄	2,5	2	6	5	3	18,5	-11,5	132,25	x ₁	26	8	0,1356
x ₅	2,5	2	6	9	3	22,5	-7,5	56,25	x ₃	27,5	7	0,1186
x ₆	8	9,5	6	9	7,5	40	10	100	x ₇	31,5	3	0,05085
x ₇	8	5,5	6	9	3	31,5	1,5	2,25	x ₁₀	32	5	0,08475
x ₈	2,5	2	6	2	10,5	23	-7	49	x ₁₁	33	7	0,1186
x ₉	8	9,5	6	2	10,5	36	6	36	x ₉	36	4	0,0678
x ₁₀	8	5,5	6	5	7,5	32	2	4	x ₂	40	5	0,08475
x ₁₁	8	9,5	6	2	7,5	33	3	9	x ₆	40	5	0,08475
Σ	66	66	66	66	66	330		511			59	1

В табл. 5 представлены суммы рангов, при помощи которых можно рассчитать весомость рассмотренных параметров, а матрицу опроса преобразуем при помощи формулы (6), где $x_{max} = 5$:

$$S_{ij} = x_{max} - x_{ij}. \quad (6)$$

Затем определим коэффициент конкордации для связанных рангов и определим степень согласованности мнений всех экспертов (7–8) [10, 11, 12]:

$$W = \frac{511}{\frac{1}{12} \cdot 5^2 \cdot (11^3 - 11) - 5 \cdot 184,5} = 0,58; \quad (7)$$

$$T_i = \frac{1}{12} \cdot \sum (t_i^3 - t_i), \quad (8)$$

где L_i – количество повторений в оценках i -го эксперта;
 t_i – число показателей в i -й связке для i -го эксперта;
 S – значение квадратов отклонений суммы рангов (511);
 n – количество экспертов (11);
 m – количество факторов (5).

$$W = \frac{511}{\frac{1}{12} \cdot 5^2 \cdot (11^3 - 11) - 5 \cdot 184,5} = 0,58$$

Полученное значение (0,58) определяет степень согласованности мнений экспертов как среднюю. Тогда значимость коэффициента конкордации определим при помощи критерия Пирсона (9):

$$x^2 = \frac{S}{\frac{1}{12} \cdot m \cdot n \cdot (n+1) + \frac{1}{n-1} \cdot \sum T_i} = \frac{511}{\frac{1}{12} \cdot 5 \cdot 11 \cdot (11+1) + \frac{1}{11-1} \cdot 184,5} = 19,98 \quad (9)$$

Критерий Пирсона (χ^2) может быть сравним с табличным значением для числа степеней свободы при заданном уровне значимости $\alpha = 0,05$. Так как χ^2 -расчетный (19,98) > табличного (18,30704), то коэффициент конкордации – величина неслучайная, а потому полученные результаты имеют смысл и могут использоваться в дальнейших исследованиях.

В целях постоянного мониторинга и оценки результатов проведения аварийно-спасательных работ при помощи

ортофотопланов необходимо обеспечить их высокое качество. Для этого авторами предлагается руководствоваться следующей методикой:

1) в меню беспилотного воздушного судна [13] необходимо перейти в режим настроек и выбрать интервальную съемку (рис. 5), учитывая величину заданного интервала, зависящего от высоты, т. е. чем больше высота, тем больше интервал съемки (табл. 6);

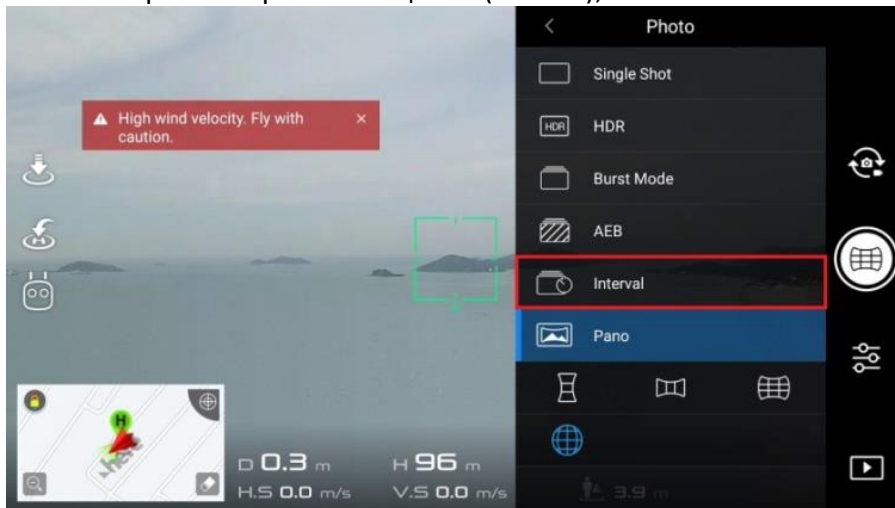


Рис. 5. Переход в режим интервальной съемки в приложении DJI Go

Fig. 5. Switching to interval shooting mode in the DJI Go

Таблица 6

Оптимальные параметры для осуществления интервальной съемки

Table 6

Optimal parameters for interval shooting

Высота полета беспилотного воздушного судна Unmanned aircraft flight altitude	Интервал съемки Shooting interval
0–100 м	1 с
100–200 м	3 с
200–300 м	5 с
300–400 м	7 с
400–500 м	10 с

2) положение камеры при этом должно быть направлено вертикально вниз (рис. 6);



Рис. 6. Положение камеры для осуществления оперативной аэрофотосъемки с целью построения ортофотоплана

Fig. 6. The position of the camera for carrying out operational aerial photography in order to build an orthophotoplane

3) для решения задачи проведения плановой съемки с целью получения ортофотоплана на интересующую территорию достаточно полета по следующей схеме (рис. 7):

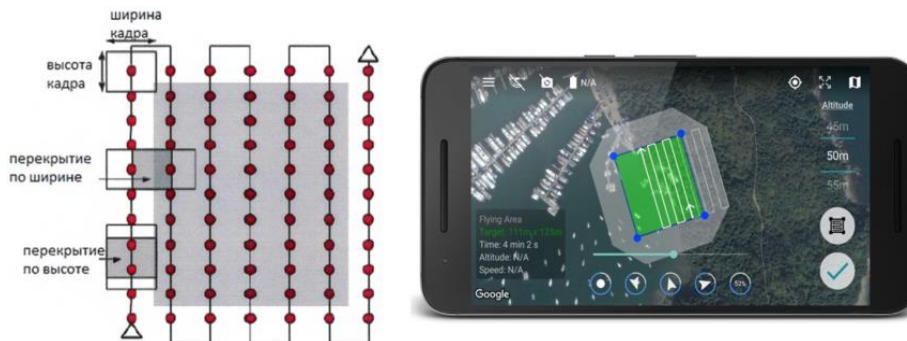


Рис. 7. Траектория полета

Fig. 7. Flight path

Съемку необходимо проводить с условием обеспечения межкадрового перекрытия по ширине 60 % и по длине (высоте) кадра 80 %. Причем при проведении съемки желательно обеспечивать постоянную высоту полета для достижения наилучшего результата построения ортофотоплана (кроме случая значительного изменения высоты рельефа территории, см. ниже). Площадь фактической съемки должна превышать площадь заданной территории;

4) для построения трехмерной модели по данным аэрофотосъемки

(съемки с БАС) необходимо, чтобы на фотоснимках присутствовали все фасады строений, поэтому для получения исходных материалов рекомендуется выполнять полет с сохранением указанных ранее параметров межкадрового перекрытия;

5) если требуемая территория не покрывается съемкой, произведенной в ходе одного вылета, то проводится несколько вылетов в зависимости от задачи (примеры достаточного и недостаточного межмаршрутного перекрытия представлены на рис. 8).

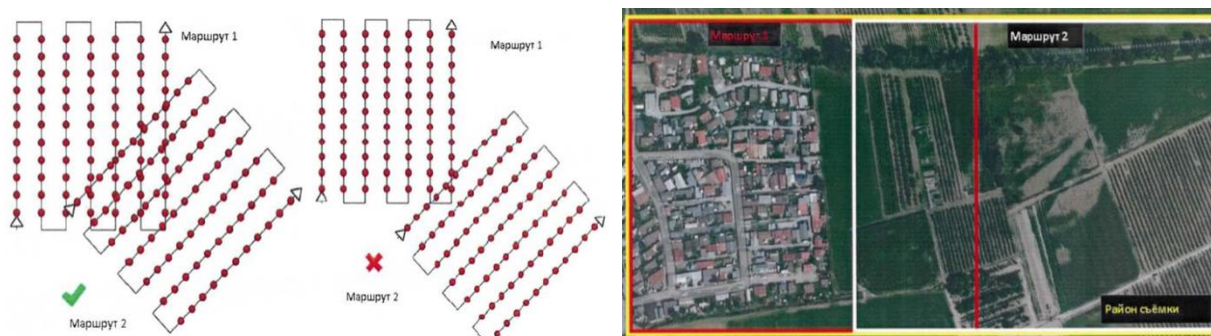


Рис. 8. Примеры полетов

Fig. 8. Flight examples

Получаемые цифровые материалы при помощи представленной методики будут способствовать повышению эффективности проведения аварийно-спасательных работ при ликвидации последствий ЧС различного характера. Такой подход позволит оперативно формировать выводы исходя из складывающейся обстановки, проводить моделирование и последующее прогнозирование.

Заключение

Таким образом, в материалах статьи поднимается актуальная проблема — повышение эффективности проведения аварийно-спасательных работ при помощи современных технологий, являющихся объектами цифровой трансформации государственного управления. Некоторыми экспертами отмечается, что цифровизация может нести в себе определенные риски

для системы МЧС России. Однако данное предположение было опровергнуто путем расчета коэффициента Фехнера. В целях получения достоверных данных, позволяющих сопоставить ситуации в различных направлениях деятельности МЧС России, авторами определен коэффициент корреляции на базе разработанных анкет-опросников. Полученная величина является неслучайной, а потому результаты имеют смысл и могут быть использованы в дальнейших исследованиях. Кроме того, для повышения эффективности проведения аварийно-спасательных работ, мониторинга обстановки в режиме реального времени предлагается использовать ортофотопланы. Для поддержания высокого качества цифровых материалов, авторами предлагается методика их построения.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Королёв Д. С., Калач А. В. Современные аспекты совершенствования системы гражданской обороны Российской Федерации // Гражданская оборона на страже мира и безопасности : материалы VII Междунар. науч.-практ. конф., посвященной Всемирному дню гражданской обороны в год 90-летия со дня образования Академии ГПС МЧС России: в 5 ч. М., 2023. С. 135–139.
2. Концепция модели развития системы управления в кризисных ситуациях / Д. С. Королёв [и др.] // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2021. № 2 (21). С. 64–69.
3. Федулов А. И., Дьячковский С. В. Модель поддержки управления подразделениями МЧС при угрозе ЧС // Наука и мир. 2023. № 10 (122). С. 29–31.
4. Вяльшев А. И., Таранов А. А., Федосеева Т. А. Радиационные угрозы и риски ЧС радиационного характера в Арктическом регионе и возможность их мониторинга // Безопасность в современном мире. 2023. № 1 (1). С. 29–39.
5. Духанов А. А. Информация как базовый ресурс управления // Новая наука: современное состояние и пути развития. 2015. № 1. С. 127–129.
6. Попускайло В. С. Исследование линейной корреляционной связи в парных выборках малого объема // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. 2016. № 1. С. 27–32.

7. Пиримов Ж. Ж., Шеркулов Ш. Ж. У. Зарубежный опыт использования аэрокосмических снимков при создании ортофотопланов различных масштабов // Актуальные проблемы современной науки. 2022. № 6 (129). С. 30–33.
8. Хрущ Р. М. Фотопланы (ортофотопланы): сущность, содержание и развитие методов, способов и средств трансформирования снимков // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2018. Т. 10, № 3. С. 94–102.
9. Karataeva G. E. Fuzzy-multiple efficiency rating of universities based on a complex of additional indicator // Modern Information Technologies and IT-Education. 2018. Т. 14, № 2. pp. 462–471.
10. Demchenko S. K., Melnikova T. A. The methodology of developing the system of indicators to evaluate the socio-economic development efficiency // Journal of Siberian Federal University. Humanities and Social Sciences. 2015. Т. 8, № 11. pp. 2356–2384.
11. Лубенец Ю. В. Модифицированный коэффициент конкордации, учитывающий в большей степени согласованность лучших альтернатив, при наличии связанных рангов // Вести высших учебных заведений Черноземья. 2021. № 3 (65). С. 39–46.
12. Лубенец Ю. В. Альтернативный коэффициент конкордации при наличии связанных рангов // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2021. Т. 17, № 1. С. 40–45.
13. Джанджапонян Е. П., Титова Е. С. Опасные метеорологические явления и условия, при которых полеты бвс запрещаются // Уральский научный вестник. 2023. Т. 7, № 3. С. 181–184.

REFERENCES

1. Korolev D.S., Kalach A.V. Modern aspects of improving the civil defense system of the Russian Federation. Civil defense on guard of peace and security. Materials of the VII International Scientific and Practical Conference dedicated to World Civil Defense Day in the Year of the 90th anniversary of the formation of the State Fire Service Academy of the Ministry of Emergency Situations of Russia. Moscow, 2023; 135–139. (rus).
2. Korolev D.S., Shmyreva M.B., Boyko G.M., Kvashnina G.A. Concept of a model for the development of a management system in crisis situations. Siberian Fire and Rescue Bulletin. 2021; 2 (21): 64–69. (rus).
3. Fedulov A.I., Dyachkovsky S.V. Model for supporting the management of EMERCOM departments in the event of a threat of emergency. Science and World. 2023; 10 (122): 29–31. (rus).
4. Vyalyshv A.I., Taranov A.A., Fedoseeva T.A. Radiation threats and risks of radiation emergencies in the Arctic region and the possibility of their monitoring. Security in the modern world. 2023; 1 (1): 29–39. (rus).
5. Dukhanov A.A. Information as a basic management resource. New science: Current state and development paths. 2015; 1: 127–129. (rus).
6. Popukailo V.S. Study of linear correlation in paired samples of small volume. Technology and design in electronic equipment. 2016; 1: 27–32. (rus).
7. Pirimov Zh.Zh., Sherkulov Sh.Zh.U. Foreign experience in using aerospace images to create orthophotomaps of various scales. Current problems of modern science. 2022; 6 (129): 30–33. (rus).
8. Khrushch R.M. Photomaps (orthophotomaps): essence, content and development of methods, methods and means of transforming images. Science-intensive technologies in space research of the Earth. 2018; 10(3): 94–102. (rus).
9. Karataeva G.E. Fuzzy-multiple efficiency rating of universities based on a complex of additional indicator. Modern Information Technologies and IT-Education. 2018; 14 (2): 462–471. (rus).
10. Demchenko S.K., Melnikova T.A. The methodology of developing the system of indicators to evaluate the socio-economic development efficiency. Journal of Siberian Federal University. Humanities and Social Sciences. 2015; 8 (11): 2356–2384. (rus).
11. Lubenets Yu.V. Modified concordance coefficient, which takes into account to a greater extent the consistency of the best alternatives in the presence of related ranks. News of higher educational institutions of the Chernozem region. 2021; 3 (65): 39–46. (rus).
12. Lubenets Yu.V. Alternative concordance coefficient in the presence of related ranks. Bulletin of the Voronezh State Technical University. 2021; 17(1): 40–45. (rus).
13. Dzhandzhaponyan E.P., Titova E.S. Dangerous meteorological phenomena and conditions under which UAV flights are prohibited. Ural Scientific Bulletin. 2023; 7(3): 181–184. (rus).

Информация об авторах

Королев Денис Сергеевич, доцент кафедры техносферной и пожарной безопасности, кандидат технических наук, доцент Воронежского государственного технического университета, Россия, 394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, д. 84; РИНЦ ID: 829407; e-mail: otrid@rambler.ru

Арифюлин Евгений Заудятович, доцент кафедры техносферной и пожарной безопасности, кандидат технических наук, Воронежский государственный технический университет, Россия, 394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, д. 84; РИНЦ ID: 715908

Русских Дмитрий Викторович, заместитель начальника учебно-научного комплекса – начальник кафедры (процессов горения и экологической безопасности) учебно-научного комплекса процессов горения и экологической безопасности, кандидат технических наук, Академия Государственной противопожарной службы МЧС России, Россия, 129366, г. Москва ул. Бориса Галушкина, д. 4; РИНЦ ID: 175685

Шмырева Марианна Борисовна, заместитель начальника научно-технического центра, кандидат экономических наук, Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, Россия, 662972, Красноярский край, г. Железногорск, ул. Северная, 1; РИНЦ ID: 754990

Information about the authors

Denis S. Korolev, Associate Professor of the Department of Technosphere and Fire Safety, Ph.D., Associate Professor Voronezh State Technical University, st. 20th Anniversary of October, 84, Voronezh, 394006, Russian Federation; ID RISC: 829407; e-mail: otrid@rambler.ru

Evgeniy Z. Arifulin, Associate Professor of the Department of Technosphere and Fire Safety, Ph.D, Voronezh State Technical University, st. 20th Anniversary of October, 84, Voronezh, 394006, Russian Federation; ID RISC: 715908;

Dmitry V. Russkikh, Deputy Head of the Educational and Scientific Complex - Head of the Department (Combustion Processes and Environmental Safety) of the Educational and Scientific Complex of Combustion Processes and Environmental Safety, Ph.D., Academy of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia, st. Boris Galushkin, 4, Moscow, 129366, Russia, ID RSCI: 175685

Marianna B. Shmyreva, Deputy Head of the Scientific and Technical Center, Ph.D., Siberian Fire and Rescue Academy of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia, Russia, 662972, Krasnoyarsk region, Zheleznogorsk, st. North, 1; ID RSCI: 754990

УДК 502.45

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ СУММАРНОЙ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ДЕЙСТВИЯ ОПАСНЫХ ВЕТРОВ В ЮЖНЫХ РЕГИОНАХ СИБИРИ ДЛЯ ВЕСЕННЕ-ЛЕТНИХ МЕСЯЦЕВ

Холопцев Александр Вадимович^{1,2}, Шубкин Роман Геннадьевич¹,
Проскова Наталья Юрьевна¹

¹ Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, г. Железногорск, Россия

² Севастопольское отделение ФГБУ «Государственный океанографический институт имени Н. Н. Зубова», г. Севастополь, Россия

АННОТАЦИЯ

Ветры, скорость которых превосходит безопасные значения, могут способствовать возникновению ландшафтных пожаров и усложнять их ликвидацию. Поэтому выявление современных тенденций межгодовых изменений их повторяемости над различными участками земной поверхности является актуальной проблемой не только физической географии и метеорологии, но и безопасности при чрезвычайных ситуациях.

Целью статьи является выявление значимых тенденций изменчивости суммарной продолжительности действия изучаемых ветров, характерных для весенне-летних месяцев 1991–2021 гг., а также перемен в 1961–2020 гг. климатических норм этой характеристики, которые соответствуют различным участкам территорий на юге Сибири.

Для достижения указанной цели как фактический материал использована информация глобального реанализа ERA-5. Методика исследования основана на применении стандартных методов математической статистики.

Установлено, что в современном климатическом периоде существенно изменилось по отношению к базовому периоду распределение тенденций межгодовых вариаций суммарной продолжительности действия опасных ветров, соответствующих участкам территории южной части Сибири. Выявленные тенденции свидетельствуют об усилении влияния опасных ветров на динамику рисков, связанных с возникновением ландшафтных пожаров в изучаемых регионах России.

Ключевые слова: суммарная продолжительность действия, опасный ветер, чрезвычайная ситуация, Южная Сибирь, климатическая норма, тенденция, пожарная безопасность

CURRENT TRENDS OF CHANGES IN THE TOTAL DURATION OF HAZARDOUS WINDS IN THE SOUTHERN REGIONS OF SIBERIA FOR SPRING-SUMMER MONTHS

Kholoptsev Alexander Vadimovich^{1,2}, Shubkin Roman Gennadievich¹,
Proskova Natalia Yurievna¹

¹ Siberian Fire and Rescue Academy of the State Fire Service of the Ministry of Emergencies of Russia, Zheleznogorsk, Russian Federation

² Sevastopol Branch of the State Oceanographic Institute named after N.N. Zubov, Sevastopol, Russian Federation

ABSTRACT

Wind speeds exceeding safe values can contribute to the emergence of landscape fires and complicate their liquidation. Therefore, identification of current trends of interannual changes in their frequency of occurrence over different areas of the Earth's surface is an urgent problem not only of physical geography and meteorology, but also of safety in emergency situations.

The aim of the article is to identify significant trends in the variability of the total duration of the studied winds, characteristic of the spring-summer months of 1991 - 2021, as well as changes in 1961 - 2020 climatic norms of this characteristic, which correspond to different areas of territories in southern Siberia.

To achieve the above goal, the information of the global reanalysis ERA-5 was used as factual material. The research methodology is based on the application of standard methods of mathematical statistics.

It was found that in the modern climatic period the distribution of trends of interannual variations of the total duration of hazardous winds corresponding to the areas of the territory of the southern part of Siberia has changed significantly in relation to the base period. The revealed trends indicate an increased influence of hazardous winds on the dynamics of risks associated with the occurrence of landscape fires in the studied regions of Russia.

Keywords: total duration of action, dangerous wind, emergency situation, South Siberia, climatic norm, trend, fire safety

Введение

Ветер, скорость которого выходит за пределы диапазона безопасных его значений, является одним из мощнейших экологических факторов и способен вызывать разрушения природных, техногенных объектов, повысить риски возникновения ландшафтных пожаров, а также усложняет их тушение. Поэтому выявление современных тенденций межгодовых изменений характеристик таких ветров на различных участках территории тех или иных регионов мира является актуальной проблемой не только физической географии и метеорологии, но также безопасности при чрезвычайных ситуациях.

Наибольший интерес решение этой проблемы представляет для регионов

с засушливым климатом, в которых увеличение повторяемости опасных ветров может способствовать повышению рисков возникновения засух, наносящих существенный ущерб природным экосистемам, а также лесному и сельскому хозяйству. В России многие из таких регионов расположены в южной, наиболее населенной, части территории Сибири (далее ЮС) [1].

К ним относятся: Свердловская область (1); Челябинская область (2); Курганская область (3); Тюменская область (4) с Ханты-Мансийским автономным округом (5); Омская область (6); Новосибирская область (7); Томская область (8); Кемеровская область (9); Алтайский край (10); Красноярский край (11); Республика Хакасия (12); Республика Алтай (13); Республика Тыва (14); Иркутская область (15); Республика

Бурятия (16); Забайкальский край (17); Хабаровский край (18); Амурская область (19).

С ЮС на западе граничат многие регионы европейской территории России, а на юге — страны: Казахстан, Монголия, а также Китай.

Существенной особенностью ЮС является наличие здесь значительного количества пунктов, в которых систематический мониторинг ветрового режима осуществляется соответствующими подразделениями Росгидромета [2, 3].

Значительную часть территории ЮС покрывают широколиственные и хвойные леса, лесостепи, а также степи, где ежегодно в месяцы с апреля по октябрь возникают многочисленные ландшафтные пожары. В последние годы они чаще всего возникают на территориях Иркутской области, Республики Бурятия и Красноярского края, нанося значительный ущерб их населению и экономике [4].

ЮС практически полностью относится к Сибирскому (60 – 120° в. д.) сектору Северного полушария, вследствие чего изменения ее ветрового режима связаны с переменами характеристик протекающих здесь макроциркуляционных процессов. К одним из таких характеристик относятся суммарные продолжительности действия (далее СПД) тех или иных групп атмосферной циркуляции (при выделении которых применяется типизация макроциркуляционных процессов по Б. Л. Дзердзеевскому [5, 6]).

Указанные характеристики в XX и XXI вв. претерпевали существенные изменения, особенности которых описаны в [7-10].

Н. К. Кононовой в этих изменениях выделены различные циркуляционные эпохи, последняя из которых – Меридиональная южная – охватывает период с 1957 г. по настоящее время. В указанной эпохе различают четыре периода, в которых происходили те или иные изменения СПД

меридиональных северных и южных процессов. К современному климатическому периоду относятся окончание третьего и весь четвертый периоды, за которые СПД для меридиональных южных процессов от их максимальных уровней снижались, а для меридиональных северных процессов они увеличивались [10]. Учитывая это, можно предположить, что соответствующие изменения происходили и в динамике СПД рассматриваемых ветров для различных месяцев и участков территории ЮС.

Наибольшее количество ландшафтных пожаров на территории ЮС, как правило, возникает в первой половине пожароопасного периода — в весенне-летние месяцы [11, 12]. Эта закономерность может быть отчасти обусловлена изменениями СПД ветров, воздействующих на те или иные территории ЮС и способствующих удалению влаги из находящегося на них горючего материала [13, 14].

Ветер также способен доставлять в область горения кислород, удалять из нее искры, сажу и газообразные продукты горения, что способствует быстрому распространению пламени и затрудняет тушение пожаров [15–17]. Вследствие последнего увеличение СПД опасного ветра, воздействующего на некоторую территорию, может служить значимой причиной повышения вероятности возникновения и быстрого развития на ней ландшафтного пожара. Поэтому современные тенденции изменения СПД изучаемых ветров над различными территориями ЮС целесообразно учитывать при планировании основных мероприятий функционирующих здесь подразделений ГПС МЧС России и лесной охраны.

Степень опасности некоторого ветра как фактора риска возникновения ландшафтного пожара может быть охарактеризована значением модуля его скорости. Она зависит также от особенностей ландшафтов, на которые рассматриваемый ветер воздействует.

При развитии ландшафтного пожара наибольший ущерб, как правило, наносят самые мощные порывы ветра, в которых его мгновенная скорость достигает максимального уровня.

В период, предшествующий пожару, более существенное влияние на динамику риска его возникновения оказывают изменения интенсивности удаления влаги из горючего материала, обусловленные вариациями среднечасовой скорости ветра у земной поверхности [14, 18, 19]. Учитывая последнее, указанная характеристика ветра учитывалась в данной работе как основной критерий его опасности.

Так как значимое влияние на возникновение и развитие пожара способны оказывать ветры, сила которых превышает умеренную, как опасные рассматривались ветры любых румбов, для которых значение модуля среднечасовой скорости составляет не менее 7 м/с (что близко к верхней границе диапазона умеренных ветров согласно шкале Бофорта [20]).

К числу важнейших характеристик межгодовых изменений СПД в течение некоторого периода времени относится соответствующее ему среднее значение этого показателя. К ним также относится тенденция межгодовых изменений СПД, определяемая как угловой коэффициент линейного тренда соответствующего временного ряда (далее Тренд) [21].

Как одна из характеристик местного климата может рассматриваться климатическая норма СПД (далее КН), вычисляемая как среднее значение этого показателя для рассматриваемого месяца за тот или иной климатический период [22].

Тенденция перемен КН определяется путем сопоставления ее оценок для современного (1991–2020 гг.) и базового климатического периода (1961–1990 гг.).

Одним из наиболее совершенных источников информации об изменениях характеристик поля скорости ветра в зем-

ной атмосфере является глобальный реанализ ERA-5 [23, 24], который поддерживается сервисом Copernicus.

Реанализ содержит сведения об изменениях меридиональных и зональных компонентов вектора среднечасовой скорости ветра над любым пунктом земной поверхности, который совпадает с тем или иным узлом его координатной сетки с шагом 0,25 о.

Эти сведения соответствуют различным высотам над земной поверхностью и каждому часу из интервала времени с 00:00. 01.01.1959 по 23:00 31.12.2021 [25]. Тем не менее оценки значений перечисленных характеристик ветрового режима для различных месяцев и для каких-либо пунктов территории ЮС с их использованием ранее определены не были. Последнее не позволяет для таких пунктов определить вероятные тенденции дальнейших изменений СПД, а также учесть их при планировании и осуществлении на них хозяйственной деятельности.

Целью данной работы является выявление для различных участков территории ЮС и весенне-летних месяцев КН опасных ветров, значимых тенденций их перемен за 1961–2020 гг., а также значимых тенденций межгодовых изменений СПД таких ветров для периода 1991–2021 гг.

При достижении указанной цели для всех узлов координатной сетки реанализа ERA-5, которые соответствуют пунктам на территориях регионов России, относящихся к ЮС, а также для месяцев с апреля по август решены задачи:

Оценка значений КН для современного и базового климатического периодов, а также тенденций изменений этих показателей.

Сопоставление тенденций изменчивости СПД опасных ветров, оцененных для различных частей периода 1961–2021 гг.,

продолжительностью 31 и 21 год, отличающихся датами своего начала.

Результаты и их обсуждение

При решении указанных задач как фактический материал использована информация упомянутого выше реанализа ERA-5 об изменениях среднечасовых значений меридиональной и зональной составляющих скорости ветра на высоте 10 м над всеми участками земной поверхности, которые соответствует тем или иным узлам его координатной сетки. Тестирование фактического материала, которое осуществлено с применением результатов мониторинга характеристик ветра, полученных на ряде метеостанций ЮС, подтвердило его пригодность для выявления качественных закономерностей изучаемых процессов.

Как западная и восточная граница рассматриваемой в данной работе части земной поверхности выбраны отрезки меридианов $45,5^\circ$ в. д. и 126° в. д., расположенные между параллелями 60° с. ш. и 42° с. ш. Нетрудно видеть, что в эти пределы попадает не только ЮС, но и граничащие с ней страны, а также иные регионы России.

Для различных участков указанной территории и месяцев с апреля по август изучались закономерности пространственной и временной изменчивости значений СПД ветров у земной поверхности, среднечасовая скорость которых в период 1961–2021 гг. составляла не менее 7 м/с.

Методика решения первой задачи включала выполнение для каждого изучаемого пункта территории ЮС и смежных регионов и для каждого рассматриваемого месяца следующих расчетов:

Для каждого часа, относящегося к изучаемому периоду времени, основываясь на информации реанализа ERA-5, вычисление (по теореме Пифагора) значения модуля среднечасовой скорости рассматриваемого ветра.

Определение значений СПД.

Оценка значений КН для периодов 1961–1990 гг. и 1991–2020 гг.

Определение тенденции изменений в 1961–2020 гг. КН путем оценки значения R по формуле (1):

$$R = \text{КН}_{(1991-2020 \text{ гг.})} - \text{КН}_{(1961-1990 \text{ гг.})} \quad (1)$$

Оценка вероятности (P) того, что выявленная тенденция является значимой.

При нахождении P предполагалось, что моделью закона распределения вероятностей значений СПД может служить закон Рэлея [26]. Последнее подтверждено применением критерия Фишера к оценке нормальности распределений вероятности значений компонентов скорости ветра.

Как модель закона распределения R выбран нормальный закон, среднее значение которого нулевое. Среднеквадратическое отклонение этого закона определялось как среднее значение соответствующих показателей, которые оценены для базового, а также современного климатического периодов.

Как пороговое значение $|R|$ для каждого рассматриваемого участка СПД и каждого месяца выбиралось такое значение этого показателя, при котором вероятность ошибочного принятия решения о значимости выявленной тенденции не превосходила 0,05.

Вторая задача решалась в два этапа. На первом этапе для каждого рассматриваемого месяца и пункта оценивались значения показателя Тренд, которые соответствовали различным отрезкам временного ряда значений СПД за 1961–2021 гг., продолжительностью 31 год. На втором этапе аналогичные исследования осуществлены для различных отрезков временного ряда значений СПД за 1991–2021 гг., продолжительность которых составила 21 год.

При оценке вероятности того, что значение показателя Тренд, выявленное для некоторого участка и месяца, является

значимым, предполагалось, что математической моделью изменений СПД может служить:

$$\text{СПД}_k = A \cdot B_k + G_k + C, \quad (2)$$

где A – оценка по методу наименьших квадратов [21] значения углового коэффициента линейного тренда процесса СПД_k (k – номер члена отрезка временного ряда СПД, учитываемого при вычислении A ; $k = 1, 2, \dots, K$; $K > 0$, целое, $22 < K < 32$);

B_k – продолжительность интервала времени, отделяющего от начала изучаемого отрезка член временного ряда с номером k (при $k = 1$ $B_k = 0$);

G_k – выборочное значение из реализации нормального случайного процесса с нулевым средним и среднеквадратическим отклонением S_k , соответствующее некоторому k ;

C – действительная константа.

В этом случае решение о значимости A признавалось адекватным с вероятностью 0.95, если выполнялось условие:

$$|A \cdot B_k| > 1,65 \cdot S_k, \quad (3)$$

где $|x|$ – абсолютная величина x .

Поскольку продолжительность периода времени, для которого проводились исследования, составила всего 61 год, границы области возможных значений погрешностей оценок, обусловленных принятием допущений о виде законов распределения вероятности СПД изучаемых ветров, не оценивались. Следовательно, применение изложенной методики и фактического материала допустимо лишь для выявления качественных закономерностей изучаемых процессов.

С применением рассмотренной методики обе поставленные задачи решены.

При решении первой задачи для всех месяцев с апреля по август и для каждого участка изучаемой территории вычислены значения КН (1991–2020 гг.), а также КН (1961–1990 гг.), соответствующие современному и базовому климатическому периодам.

Установлено, что для августа значения этих показателей для любых участков территории России не превышают 5 ч (что значительно меньше, чем для иных месяцев). Поэтому в качестве примера, распределения в пределах ЮС с прилегающими регионами значений КН (1991–2020 гг.) представлены на рис. 1 лишь для месяцев с апреля по июль.

Как видно из рис. 1а, значения КН для апреля в современном климатическом периоде превышали 200 ч лишь в южных районах Казахстана, а также в районах Китая, расположенных на восточном участке его границы с Монголией.

В пределах территории Южной Сибири наибольшие значения КН для этого месяца, превышающие 100 ч., соответствуют одному из районов Хакасии, расположенному между отрогом Кузнецкого Алатау, хребтом Сахар и Джойским хребтом Западного Саяна (Аскизкий и Бейский административно-территориальные районы).

Уровней 50–100 ч. значения КН достигали во многих районах Республик Тыва, Хакасия, Алтай, на юге Красноярского и Алтайского краев, а также на западе Иркутской области и Республики Бурятия.

На прочих участках территории ЮС значения КН для апреля не превышают 50 час.

Из рис. 1б следует, что для мая расположение участков рассматриваемой территории, где значения КН для современного климатического периода достигали наибольших уровней в сравнении с апрелем практически не изменилось, хотя их суммарная площадь значительно уменьшилась. Рассматриваемое явление отмечено также в некоторых районах европейской территории России.

Уменьшилась и общая площадь участков территории ЮС, где значения КН для мая превышают 50 ч. Такие участки для мая, как и для апреля, расположены на

юге Красноярского края, в республиках Саха и Хакасия, на юге Алтайского края и

Республики Алтай, а также на западе Иркутской области и Республики Бурятия.

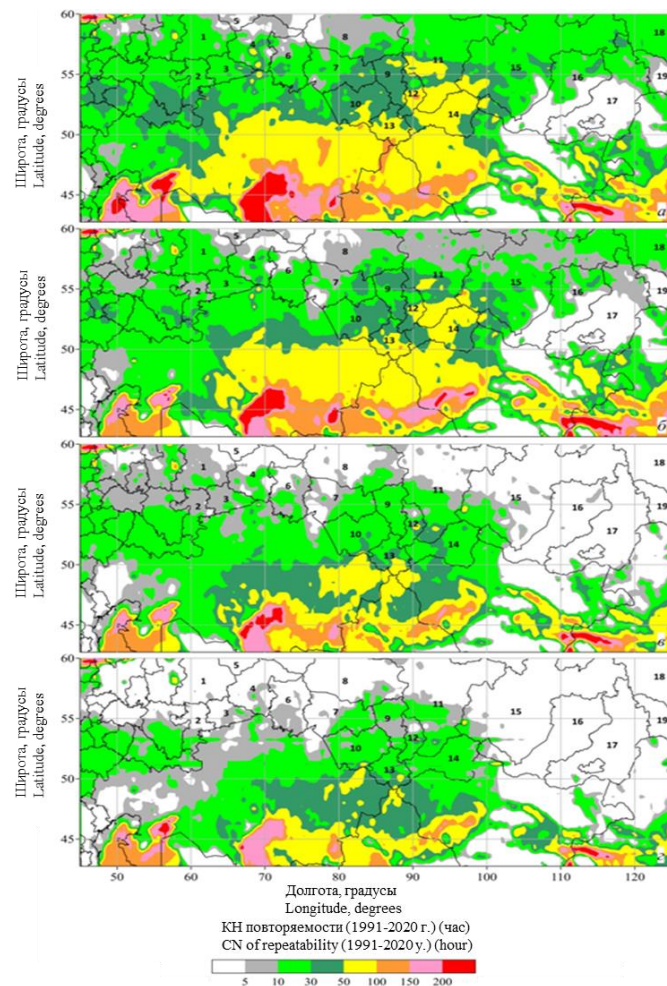


Рис. 1. Распределение по изучаемой территории значений КН (1991–2020 гг.) для месяцев: а) апрель; б) май; в) июнь; г) июль

Fig. 1. Distribution over the study area of CN values (1991–2020) for the months: a) April; b) May; c) June; d) July.

Рис. 1в показывает, что для июня суммарная площадь участков территории ЮС со смежными регионами Центральной Азии, где значения КН для современного периода достигали наибольших уровней, еще более снизилась, хотя их расположение осталось неизменным.

На территории ЮС участки, где современные значения КН превосходили 50 час., выявлены лишь на южных территориях Алтайского и Красноярского краев, седловине между горными хребтами Куз-

нецкого Алатау и Западного Саяна в Республике Хакасия и на пике Грандиозный Восточного Саяна в Иркутской области.

Как следует из рис. 1г, в современном климатическом периоде значения КН для июля в среднем по территории ЮС уменьшились. Ее участки, где значения КН в современном климатическом периоде (1991–2020гг.) превосходили 50 ч, выявлены лишь в некоторых южных районах Республики Алтай и Алтайского края, а также на западе Иркутской области.

Значения КН превосходят 200 ч лишь на некоторых участках европейской

территории России, а также на территориях южных районов Казахстана и северных районов Китая, где это явление имело место и в предыдущие месяцы.

Сопоставление рис. 1а–г показывает, что участки территории ЮС и сопредельных регионов Центральной Азии, где КН для современного климатического периода достигали наибольших значений (более 200 ч), расположены в горных районах (хребет Каратау, Казахстан), а также в пустынях (Гоби). В ЮС повышенные значения КН также соответствуют горным системам Алтая, Саян. Отсутствие таких участков в других горных районах ЮС может объясняться тем, что в них пре-

обладают ветры столь изменчивых румбов, что среднечасовые значения их скорости не превышают 7 м/с.

Исследования тенденций изменения КН для различных участков изучаемых территорий, соответствующих месяцам апрель–август, показали, что для августа тенденции к увеличению этих показателей значимы лишь на отдельных весьма небольших их участках. Поэтому на рис. 2 как пример представлены распределения по территории ЮС с прилегающими регионами Центральной Азии значений R, которые являются значимыми с вероятностью не менее 0,95.

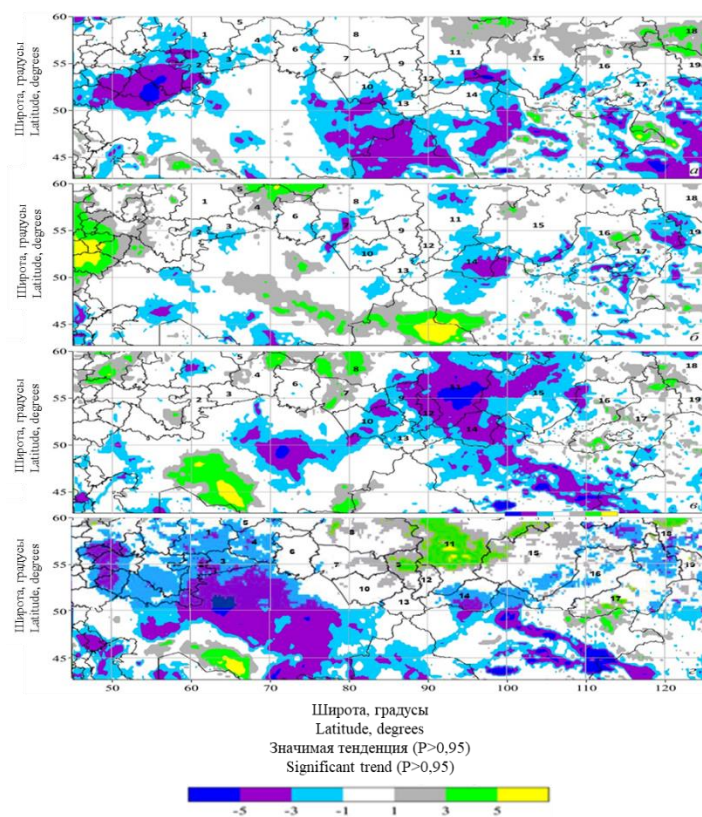


Рис. 2. Распределение по территории ЮС и смежных регионов Центральной Азии значений R, которые являются значимыми с вероятностью не менее 0,95: а) апрель; б) май; в) июнь; г) июль

Fig. 2. Distribution of R values that are significant with a probability of at least 0.95 in the territory of the South Caucasus and adjacent regions of Central Asia a) April; b) May; c) June; d) July

Рис. 2а свидетельствует о том, что для апреля на изучаемой территории преобладали участки, где значения КН в 1961–2020 гг. значимо снижались. Их снижение

происходило также практически на всей территории ЮС. Исключением являются лишь некоторые районы Красноярского и

Хабаровского краев, для которых R положительны, а вероятность их значимости превышает 0,95.

Рис. 2б показывает, что отрицательные значения R для мая на рассматриваемой территории также преобладают, что свидетельствует о снижении соответствующих значений КН для современного климатического периода по отношению к базовому периоду.

Наибольшие значения R соответствуют участкам территории Китая, где расположены горы Восточного Тянь-Шан.

Как следует из рис. 2в, на большинстве рассматриваемых территорий современные значения КН для июня значимо ниже, чем значения тех же показателей для базового климатического периода.

Наибольшие значения R (более 5 ч), выявлены на юге территории Казахстана (в районе горного хребта Каратау).

Как видно из рис. 2г, для июля наибольший по площади участок ЮС, где $R > 0$ и значимо, расположен на территориях Красноярского края и западных районов Иркутской области. Максимальные значения R (8 часов) выявлены для этого месяца на юге территории Казахстана, в районе горного хребта Каратау.

Регионы России, относящиеся к ЮС, на участках территорий которых для изучаемых месяцев $R > 0$ и с вероятностью не менее 0,95 является значимым, указаны в табл. 1.

Таблица 1

Регионы России, относящиеся к ЮС, где R (1961–2020гг.) положительны и с вероятностью не менее 0,95 значимы («+» – $R > 0$ и значимо, «-» – $R < 0$ или незначимо)

Table 1

Regions of Russia belonging to SS, where R (1961-2020) is positive and, with a probability of at least 0.95, significant ("+" – $R > 0$ and significant, "-" – $R < 0$ or not significant)

Регион/месяц Region/month	4	5	6	7	Регион/месяц Region/month	4	5	6	7
Свердловская область Sverdlovsk region	-	-	-	-	Красноярский край Krasnoyarsk Territory	+	-	-	+
Челябинская область Chelyabinsk region	-	-	-	-	Республика Хакасия Republic of Khakassia	-	-	-	+
Курганская область Kurgan region	-	-	-	-	Республика Алтай Republic of Altai	-	-	-	-
Тюменская область Tyumen region	-	+	+	-	Республика Тыва Republic of Tyva	-	-	-	-
Омская область Omsk region	-	-	-	-	Иркутская область Irkutsk region	-	+	-	+
Новосибирская область Novosibirsk region	-	-	+	+	Республика Бурятия Republic of Buryatia	-	+	+	-
Томская область Tomsk region	-	-	+	+	Забайкальский край Transbaikal Territory	+	+	+	+
Кемеровская область Kemerovo region	-	-	-	+	Хабаровский край Khabarovsk Territory	+	+	+	+
Алтайский край Altai Territory	-	-	-	+	Амурская область Amur Region	+	-	+	+

* составлено авторами

Табл 1 показывает, что количество регионов России, относящихся к ЮС, на участках территорий которых $R > 0$ и с вероятностью не менее 0,95 в 1961–2020 гг. было значимо, является наибольшим для июля и наименьшим для апреля, а также мая.

Для любых рассматриваемых месяцев такие участки присутствуют на территориях Забайкальского и Хабаровского краев.

Из сравнения рис. 2 и рис. 1 следует, что для большинства территорий ЮС, где в современном климатическом периоде КН были повышены, перемены этих показателей за 1961–2020 гг. в рассматриваемые месяцы происходили в сторону их снижения.

При решении второй задачи для рассматриваемых участков территории и для всех весенне-летних месяцев осуществлена оценка тенденций изменений СПД, которые проявлялись на различных отрезках времени длиной 31 и 21 год, принадлежащих интервалу 1991–2021 гг. При этом для каждого из них оценены значения показателя Тренд, а также с использованием изложенной методики выявлены участки и месяцы, для которых полученные оценки значимы с вероятностью не менее 0,95.

Анализ результатов, полученных на первом этапе ее решения (для отрезков времени длиной 31 год) показал, что по мере смещения года их начала от 1961 к 1991 характер распределения по изучаемой территории значений Тренд, которые являются значимыми, постепенно изменяется. При этом для 1961 – 1991 гг. расположение участков ЮС и сопредельных территорий, где в рассматриваемые месяцы значения Тренд были значимы, во многом соответствуют распределениям, показанным на рис. 2.

На отрезке времени 1991 – 2021 гг. расположение таких участков от их расположения, показанного на указанном

рисунок, отличается наиболее существенно.

Для указанного отрезка времени распределения по изучаемой территории значений показателя Тренд, которые являлись значимыми с вероятностью не ниже 0,95, показаны на рис. 3.

Из рис. 3а следует, что в период 1991 – 2021 гг, территории, для которых значения Тренд для апреля отрицательны и значимы, располагались в южной части рассматриваемого мегарегиона (они принадлежат Казахстану, Узбекистану, Монголии, республикам Хакасия, Алтай, Тыва, а также Алтайскому краю).

Территории, для которых Тренд > 0 , преобладали в его северной части (на территории ЮС).

Рис. 4б показывает, что для мая практически на тех же территориях зафиксированы противоположные тенденции (Тренд > 0), которые на территориях республик Хакасия, Алтай, Тыва, Бурятия, Алтайского края и Иркутской области могли внести ощутимый вклад в произошедшие здесь изменения горимости их ландшафтов.

Как следует из рис. 4в, для июня участки, где Тренд > 0 , располагались в основном в западной части изучаемой территории, в то время как в ее восточной части преобладали участки с отрицательными значениями Тренд (СПД опасных ветров снижались).

Из рис. 4г видно, что для июля характер распределения по территории региона рассматриваемых участков сохранился, но суммарная площадь тех из них, где Тренд > 0 , существенно увеличилась.

Как нетрудно заметить из рис. 4д, для августа для всех территорий ЮС характерно либо Тренд < 0 (Тренд значимо), либо Тренд незначимо.

Участки рассматриваемого региона, где Тренд > 0 , Тренд < 0 , прилегают к ЮС либо с запада, либо с юга.

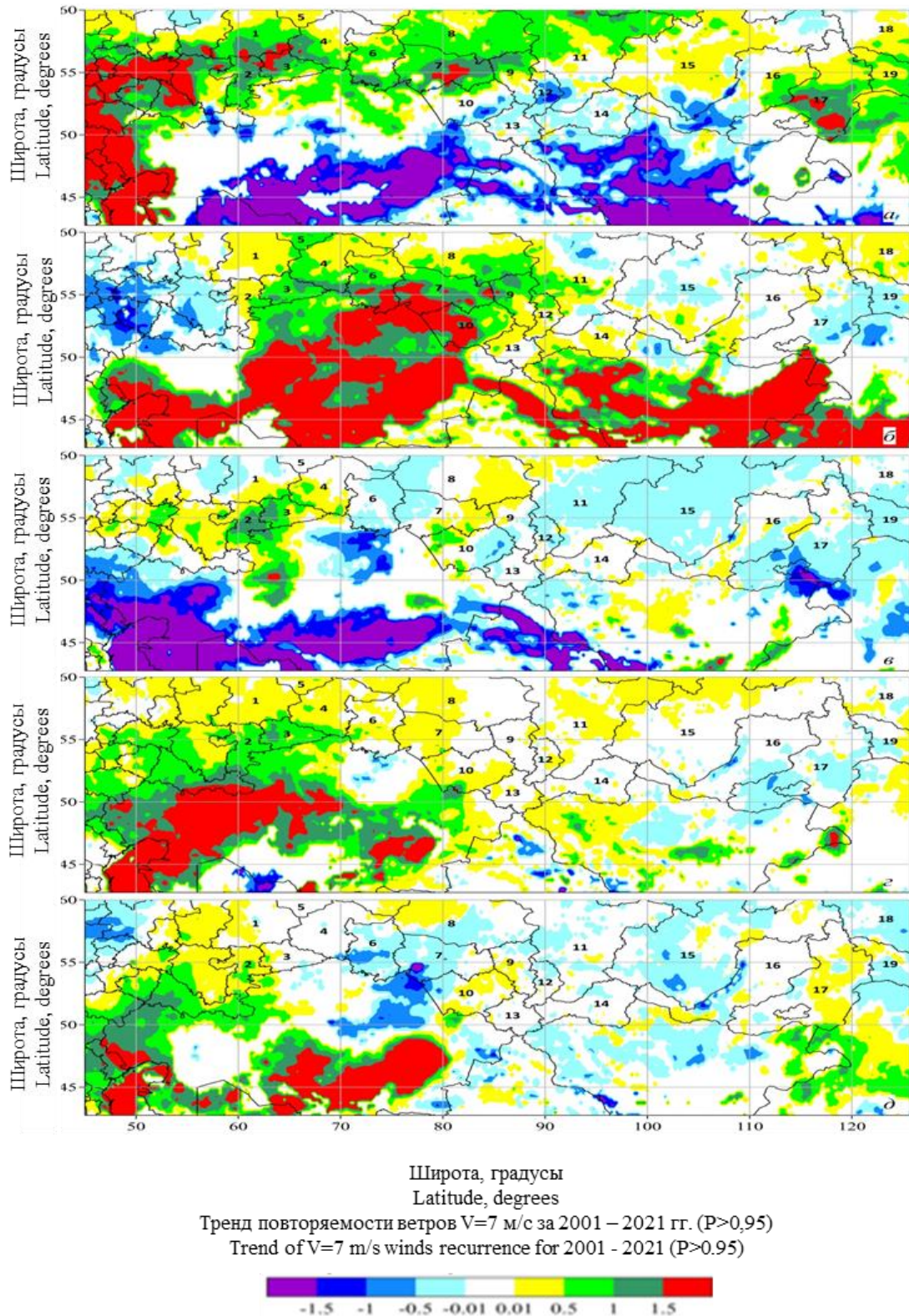


Рис. 4. Распределения по территории ЮС с прилегающими регионами значений показателя Тренд, оцененных за 2001 – 2021 гг. (Тренд > 0; P > 0,95): а) апрель; б) май; в) июнь; г) июль; д) август

Fig. 4. Distributions over the SW territory, with adjacent regions, of Trend values estimated for 2001 – 2021, (Trend > 0; P > 0.95): a) April; b) May; c) June; d) July; e) August

Информация о регионах России, относящихся к ЮС, на территориях которых есть участки, где показатель Тренд положителен и значим с $P > 0,95$, представлена в табл. 2.

Из сравнения табл. 1 и 2 видно, что для периода 1991 – 2021 гг. общее количество рассматриваемых регионов России, где выявленная тенденция к увеличению

СПД была значимой, существенно превосходило количество регионов, где R значимо и положительно.

Максимальные различия количества регионов с указанными тенденциями выявлены для апреля (13 против 4) и мая (13 против 5). Минимальны их различия для июня (7 против 7).

Таблица 2

Регионы России, относящиеся либо граничащие с ЮС, на участках территорий которых для изучаемых месяцев значения показателя Тренд (1991–2021гг.) > 0 и с $P > 0,95$, являются значимыми (в ней обозначено: «+» – $R > 0$ – значимо, «–» незначимо или $R < 0$)

Table 2

Regions of Russia, belonging to or bordering the SS, where the Trend (1991-2021) indicator values for the months under study are > 0 and with $P > 0.95$ are significant (it is marked: "+" – $R > 0$ – significant, "-" not significant or $R < 0$)

Регион/месяц Region/month	4	5	6	7	8	Регион/месяц Region/month	4	5	6	7	8
Свердловская область Sverdlovsk region	+	-	-	+	+	Красноярский край Krasnoyarsk Territory	+	+	-	+	-
Челябинская область Chelyabinsk region	-	-	+	+	+	Республика Хакасия Republic of Khakassia	-	+	-	+	-
Курганская область Kurgan region	-	-	+	+	-	Республика Алтай Republic of Altai	-	+	-	+	+
Тюменская область Tyumen region	+	-	+	+	+	Республика Тыва Republic of Tyva	+	+	-	-	-
Омская область Omsk region	+	-	+	+	-	Иркутская область Irkutsk region	+	+	-	+	+
Новосибирская область Novosibirsk region	+	+	-	+	-	Республика Бурятия Republic of Buryatia	+	+	+	-	+
Томская область Tomsk region	+	+	+	+	-	Забайкальский край Transbaikal Territory	+	+	-	-	+
Кемеровская область Kemerovo region	+	+	-	-	-	Хабаровский край Khabarovsk Territory	+	+	+	+	+
Алтайский край Altai Territory	-	+	-	+	+	Амурская область Amur Region	+	-	-	-	+

* составлено авторами

Сопоставление рис. 3 и 2 свидетельствует о том, что за 1961 – 2021 гг. тенденции изменения рассматриваемых характеристик ветрового режима ЮС существенно изменились. Данный вывод соответствует представлениям о вероятных

последствиях произошедшей смены периодов Меридиональной южной циркуляционной эпохи, которые имели место для Сибирского сектора Северного полушария.

Аналогичные исследования, выполненные на втором этапе решения второй

задачи, показали, что распределения показателя Тренд, соответствующие различным отрезкам времени продолжительностью 21 год, которые относятся к интервалу 1991 – 2021 гг., обладают существенными элементами подобия. Соответствие между ними проявляется в наибольшей степени для отрезка времени 2001 – 2021 гг. К примеру, на рис. 4 представлены распределения по территории ЮС со смежными регионами значений показателя Тренд, соответствующие месяцам апрель – август, а также указанному отрезку времени, которые значимы с вероятностью не ниже 0,95.

Из рис. 4 видно, что для всех рассматриваемых месяцев большинство участков рассматриваемой территории, где для интервала времени 2001 – 2021 гг.

значения показателя Тренд положительны и значимы при $P > 0,95$, расположены в целом так же как, и для 1991–2021 гг.. При этом суммарная площадь таких участков для интервала 2001 – 2021 гг. значительно больше, что свидетельствует об усилении

в этот период влияния ветра на любые, зависящие от него процессы, в том числе на изменения пожароопасности и горимости изучаемых ландшафтов.

Информация о регионах России, относящихся к ЮС, а также смежных с ними, на территориях которых есть участки, где для изучаемых месяцев Тренд > 0 и $P > 0,95$, представлена в таб. 3.

Таблица 3

Регионы России, относящиеся к Южной Сибири, на территориях которых для изучаемых месяцев есть участки, где значения Тренд (2001–2021гг.) положительны и значимы при $P > 0,95$ (обозначено: «+» – Тренд > 0 и значимо, «-» – Тренд < 0 или незначимо)

Table 3

Russian regions belonging to South Siberia, in the territories of which there are areas where Trend (2001–2021) is positive and significant at $P > 0.95$ (marked: "+" – Trend > 0 and significant, "-" – Trend < 0 or not significant)

Регион/месяц Region/month	4	5	6	7	8	Регион/месяц Region/month	4	5	6	7	8
Свердловская область Sverdlovsk region	+	+	+	+	+	Красноярский край Krasnoyarsk Territory	+	+	+	+	+
Челябинская область Chelyabinsk region	+	+	+	+	+	Республика Хакасия Republic of Khakassia	+	+	+	+	-
Курганская область Kurgan region	+	+	+	+	+	Республика Алтай Republic of Altai	+	+	-	+	+
Тюменская область Tyumen region	+	+	+	+	+	Республика Тыва Republic of Tyva	+	+	+	+	+
Омская область Omsk region	+	+	-	+	-	Иркутская область Irkutsk region	+	+	-	+	+
Новосибирская область Novosibirsk region	+	+	+	+	-	Республика Бурятия Republic of Buryatia	+	+	+	+	+
Томская область Tomsk region	+	+	+	+	+	Забайкальский край Transbaikal Territory	+	+	+	+	+
Кемеровская область Kemerovo region	+	+	+	+	+	Хабаровский край Khabarovsk Territory	+	+	+	+	+
Алтайский край Altai Territory	+	+	+	+	+	Амурская область Amur Region	+	+	-	+	+

*составлено авторами

Из табл. 3 следует, что наибольшее количество рассматриваемых регионов России, где на временном интервале 2001 – 2021 гг. значения Тренд > 0 и значимы, приходится на апрель, май, а также июль. Из сопоставления табл. 3 и табл. 2 следует, что для указанных месяцев количество регионов России, которые относятся к ЮС или граничат с ней, в которых СПД опасных ветров значительно увеличились, существенно возросло. Вместе с тем наибольшее увеличение количества таких регионов в 2001 – 2021 гг. по сравнению с 1991 – 2021 гг. произошло для июня и июля.

Как видно из сравнения рис. 3 и 4, увеличились не только количество и площади участков изучаемой территории, где значения Тренд значимы и положительны, но и соответствующие им абсолютные значения этого показателя. Последнее отчасти обусловлено уменьшением длины изучаемых отрезков временных рядов, для которых вычисляются значения Тренд, что подтвердило сравнение рис. 4 с рисунками, отражающими аналогичные распределения для других отрезков изучаемых временных рядов продолжительностью 21 год, которые относятся к интервалу 1991 – 2021 гг.

Вместе с тем это сравнение показало, что рассматриваемый эффект в наибольшей мере проявляется для последнего отрезка указанного интервала, который соответствует 2001 – 2021 гг.

Все это указывает на то, что в XXI в. произошла активизация ветрового режима территорий ЮС, а также прилегающих к ним регионов России и Центральной Азии. Значения СПД опасных ветров на многих участках таких территорий в любые весенне-летние месяцы современного климатического периода значимо увеличивались. В наибольшей степени этот эффект, по-видимому, проявлялся в июне и июле – в месяцы, для которых факторы потепления климата ЮС действовали

наиболее мощно [27, 28]. Последнее позволяет связать выявленные изменения ветрового режима ЮС с происходящей активизацией таких факторов.

Выявленные перемены рассматриваемых характеристик ветрового режима ЮС и сопредельных регионов России и Центральной Азии соответствуют существующим представлениям [7–10] об изменениях в XX – XXI вв. СПД макроциркуляционных процессов над Северным полушарием нашей планеты. Из упомянутых представлений следует, что рассматриваемый временной интервал (1961 – 2021 гг.) соответствует Меридиональной южной циркуляционной эпохе, в течение которой тенденции изменений СПД макроциркуляционных процессов неоднократно менялись.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что выявленные перемены тенденций динамики СПД опасных ветров в изучаемом регионе на различных частях этого интервала качественно соответствуют происходившим в то же время переменам тенденций изменений соотношения между СПД меридиональных южных и меридиональных северных процессов в Сибирском секторе Северного полушария. Это может служить одним из подтверждений справедливости предположения о наличии такого соответствия.

Новыми фактами, установленными в результате исследования, являются выявленные расположения участков территории ЮС, а также прилегающих к ней регионов России и Центральной Азии, на которых в целом за 1961 – 2020 гг., а также в современном периоде СПД возникающих над ними изучаемых ветров увеличивались. На таких участках риски возникновения опасных природных явлений (в том числе ландшафтных пожаров), которые обусловлены действием этих ветров, увеличиваются.

Наиболее существенный вопрос, нуждающийся в дополнительном изуче-

нии, состоит в оценке возможности применения полученных результатов для прогнозирования дальнейших изменений СПД рассматриваемых ветров на каких-либо участках территории ЮС. Его решение предполагает осуществление для различных участков этих территорий и разных месяцев оценки устойчивости тенденций, которые соответствуют более коротким отрезкам времени, относящимся к современному климатическому периоду. Поэтому выявление участков территории ЮС, для которых наличие устойчивости подтвердится, является перспективным направлением дальнейших исследований.

Выводы

Таким образом установлено:

Распределения по территориям регионов России, относящихся к южной части Сибири и сопредельным регионам мира, тенденций изменений рассматриваемых показателей ветрового режима для весенне-летних месяцев, соответствующих современному климатическому периоду, значительно отличаются от аналогичных характеристик для базового климатического периода.

Суммарные площади участков изучаемых территорий, где для любых отрезков длиной 31 год, относящихся к интервалу времени 1961 – 2021 гг., преобладали

значимые тенденции к увеличению суммарной продолжительности действия опасных ветров, значительно больше, чем значения этих показателей в целом для указанного интервала. Наибольшее увеличение этих площадей выявлено для месяцев апрель и май, а также для отрезка времени с 1991 по 2021 гг.

Рассматриваемые распределения в пределах изучаемой территории значимых тенденций к увеличению суммарной продолжительности действия опасных ветров для различных частей современного климатического периода продолжительностью 21 год, соответствующих всем весенне-летним месяцам, обладают существенным подобием. Подобие таких распределений для отрезка времени 2001 – 2021 гг., а также распределения тех же характеристик для интервала 1991 – 2021 гг. является наибольшим.

Выявленные закономерности свидетельствуют о целесообразности учета выявленных тенденций изменений суммарной продолжительности действия опасных ветров для весенне-летних месяцев при планировании основных мероприятий функциональных подсистем РСЧС, зоны ответственности которых расположены на территориях регионов России, находящихся в южной части Сибири.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Доклад о климатических рисках на территории Российской Федерации // meteoinfo.ru : сайт. URL: <https://meteoinfo.ru/images/media/books-docs/klim-riski-2017.pdf> (дата обращения: 05.06.2024).
2. Анисимов О. А., Жильцова Е. Л. Об оценках изменений климата 20 и начала 21 веков по данным наблюдений на территории России // Метеорология и гидрология. 2012. № 6. С. 95–107.
3. Climate changes in Siberia / P. Ya. Groisman and others // Regional Environmental Changes in Siberia and Their Global Consequences / eds. P. Ya. Groisman, G. Gutman. Dordrecht : Springer Environmental Science and Engineering, 2013. Pp. 57–109.
4. Информационная система дистанционного мониторинга Федерального агентства лесного хозяйства : официальный сайт. URL: https://pushkino.aviales.ru/main_pages/index.shtml (дата обращения: 05.06.2024).
5. Дзерdzeевский Б. Л. Циркуляционные механизмы в атмосфере Северного полушария в XX столетии // Материалы метеорологических исследований. М. : ИГ АН СССР : Междувед. геофиз. комитета при Президиуме АН СССР, 1968. 240 с.
6. Дзерdzeевский Б. Л., Курганская В. М., Витвицкая З. М. Типизация циркуляционных механизмов в северном полушарии и характеристика синоптических сезонов // Тр. н.-и. учреждений / Гл. упр. гидрометеорол. службы при Совете Министров СССР. Сер. 2. Синоптическая метеорология. М. ; Л. : Гидрометиздат, 1946. 80 с.

7. Кононова Н. К. Классификация циркуляционных механизмов Северного полушария по Б. Л. Дзедзеевскому // М. : Институт географии РАН : Воентехиниздат. 2009. 372 с.
8. Морозова С. В., Полянская Е. А., Кононова Н. К. Об изменении степени континентальности климата в степной зоне России // Материалы IX международного симпозиума «Степи Северной Евразии». Оренбург : ОГУ, 2021. 575-579 с.
9. Кононова Н. К. Колебания циркуляции атмосферы Северного полушария в период 1899–2019 гг. и связь с ними опасных природных процессов в Сибири в 2019 г. // Современные тенденции и перспективы развития гидрометеорологии в России : материалы III Всероссийской науч.-практ. конф., Иркутск, 25–27 ноября 2020 г. Иркутск : Иркутский государственный университет, 2020. С. 27–35.
10. Kononova N. K. A. R. Lupo Changes in the Dynamics of the Northern Hemisphere Atmospheric Circulation and the Relationship to Surface Temperature in the 20th and 21st Centuries // Atmosphere. 2020. 11, 255 Pp. 2–14.
11. Проблемы и перспективы охраны лесов от пожаров / М. А. Шешуков [и др.] // Сибирский лесной журнал. 2020. № 2. С. 14–20.
12. Шубкин Р. Г. Ширинкин П. В. Результаты долгосрочного прогнозирования крупномасштабных лесных пожаров в Байкальском регионе // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2016. № 3 (3). С. 35–38.
13. Сравнительные исследования засух 2010 и 2012 гг. на Европейской территории России по метеорологическим и MODIS данным / Золотокрылин А. Н. [и др.] // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2013. Т. 10, № 1. С. 246–253.
14. Нестеров В. Г. Горимость леса и методы ее определения. М. : Гослесбумиздат, 1949. 76 с.
15. Нестеров В. Г. Вопросы управления природой. М. : Лесная промышленность, 1981. 263 с.
16. Чуйков А. М., Сметанкина Г. И., Дорохова О. В. Проблемы снижения уровня пожарной опасности территорий, расположенных в зоне риска лесных пожаров // Современные технологии обеспечения гражданской обороны и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. 2019. № 1 (10). С. 465–468.
17. Мозырев Н. К. Корнишин В. А., Кошкаров В. С. Пожарная безопасность лесов Fire safety of forests // Вестник современных исследований. 2019. № 2.1 (29). С. 60–63.
18. Сверлова Л. И. Метод оценки пожарной опасности в лесах по условиям погоды с учетом поясов атмосферной засушливости и сезонов года. Хабаровск, 2000. 46 с.
19. Соколова Г. В. Метод долгосрочного прогноза показателей пожарной опасности в лесах Приамурья на основе учета параметров атмосферной циркуляции // Лесной журнал. 2014. № 5 (341). С. 50–62.
20. Huler S. Defining the Wind: The Beaufort Scale, and How a 19th-Century Admiral Turned Science into Poetry // New York : Crown Publishers, 2004. 290 p.
21. Айвазян С. А., Мхитарян В. С. Прикладная статистика и основы эконометрики. М. : Юнити, 1998. 1022 с.
22. Руководящие указания ВМО по расчету климатических норм / ВМО. 2017. № 1203. 21 с.
23. Hersbach H., Dee D. ERA5 reanalysis is in production // ECMWF Newsletter. 2016. Vol. 147. P. 7.
24. E. Hólm et al. J.-N.: The ERA5 global reanalysis, Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 146, 1999–2049, <https://doi.org/10.1002/qj.3803>, 2020. (Нет заглавия, уточните этот источник его не удается найти).
25. Результаты реанализа ERA5 hourly data on pressure levels from 1979 to present : база данных. URL: <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-pressure-levels?tab=form> (дата обращения: 05.06.2024).
26. Перов А. И. Статистическая теория радиотехнических систем. М. : Радиотехника, 2003. 400 с.
27. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.
28. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. М. : Изд-во Росгидромета, 2014. 1009 с.

REFERENCES

1. Report on Climate Risks on the Territory of the Russian Federation. St. Petersburg, 2017; 106. (rus).
2. Anisimov O.A. Zhiltsova E.L. On estimates of climate change in Russian regions in the XX century and early XXI century based on observational data. Meteorology and Hydrology. 2012; 6: 95–107. (rus).
3. Groisman P.Ya. [et. al.] Climate changes in Siberia. Regional Environmental Changes in Siberia and Their Global Consequences. P.Ya. Groisman, G. Gutman (Ed.). Dordrecht, Springer Environmental Science and Engineering, 2013; 57–109.

4. Information system of remote monitoring of the Federal Forestry Agency: official site. Moscow. URL [Electronic text]. Access mode: https://pushkino.aviales.ru/main_pages/index.shtml. (rus).
5. Dzerdzeyevsky B.L. Circulation mechanisms in the atmosphere of the Northern Hemisphere in the 20th century. Proceedings of Meteorological Research, ed. by IG AS USSR and Intern. Geophys. Committee under the Presidium of the USSR Academy of Sciences. Moscow, 1968; 240. (rus).
6. Dzerdzeyevsky B.L., Kurgan V.M., Vitvitskaya Z.M. Typization of Circulation Mechanisms in the Northern Hemisphere and Characteristics of Synoptic Seasons. Proc. of Research Institutions of the Hydrometeorological Service at the USSR Council of Ministers. Ser. 2. Synoptic Meteorology; Vol. 21. Central Institute of Forecasts. Moscow, Gidrometizdat, 1946; 80. (rus).
7. Kononova N.K. Classification of the Northern Hemisphere circulation mechanisms according to B.L. Dzerdzeyevsky. Moscow, IG RAS. Voentekhnizdat, 2009; 372. (rus).
8. Morozova S.V., Polyanskaya E.A., Kononova N.K. On changes in the degree of climate continentality in the steppe zone of Russia / Proceedings of the IX International Symposium "Steppes of Northern Eurasia". Orenburg: OGU, 2021. DOI: 10.24412/cl-36359-2021-575-579. (rus).
9. Kononova, N. K. Fluctuations of the Northern Hemisphere atmospheric circulation in the period 1899-2019 and the connection with them of dangerous natural processes in Siberia in 2019. Modern trends and prospects for the development of hydrometeorology in Russia: Proceedings of the III All-Russian Scientific and Practical Conference, Irkutsk, November 25-27, 2020. Irkutsk, Irkutsk State University, 2020; 27-35. (rus).
10. Kononova N.K., Lupo A.R. Changes in the Dynamics of the Northern Hemisphere Atmospheric Circulation and the Relationship to Surface Temperature in the 20th and 21st Centuries. Atmosphere, 2020; 11(255): 2-14. DOI:10.3390/atmos11030255. (rus).
11. Sheshukov M.A., Kovalev A.P., Orlov A.M., Pozdnyakova V.V. Problems and prospects of forest protection from fires. Siberian Forest Journal. 2020; 2: 14-20. <https://doi.org/10.15372/SJFS20200202>. (rus).
12. Shubkin R.G., Shirinkin P.V. Results of long-term forecasting of large-scale forest fires in the Baikal region. Siberian Fire and Rescue Bulletin. 2016; 3(3): 35-38. (rus).
13. Zolotokrylin A.N., Titkova T.B., Cherenkova E.A., Vinogradova V.V. Comparative studies of 2010 and 2012 droughts in the European territory of Russia using meteorological and MODIS data. Modern problems of Earth remote sensing from space. 2013; 10(1): 246-253. (rus).
14. Nesterov V.G. Forest burning and methods of its determination. Moscow, Goslesbumizdat, 1949; 76. (rus).
15. Nesterov V.G. Issues of nature management. Moscow, Lesn. Promst, 1981; 263. (rus).
16. Chuikov A. M., Smetankina G.I., Dorokhova O.V. Problems of reducing the level of fire danger of territories located in the risk zone of forest fires. Modern technologies for civil defense and emergency response. 2019; 1(10): 465-468. (rus).
17. Mozyrev N. K., Kornishin V. A., Koshkarov V. S. Fire safety of forests Fire safety of forests. Bulletin of Modern Research. 2019; № 2.1(29): 60-63. (rus).
18. Sverlova L.I. Method of estimation of fire danger in forests by weather conditions taking into account atmospheric aridity belts and seasons of the year. Khabarovsk. 2000; 46. (rus).
19. Sokolova G. V. Method of long-term forecasting of fire danger indicators in the forests of Priamurye on the basis of atmospheric circulation parameters. Izvestia vysshee obrazovaniya vysshee obrazovaniya. Forestry journal. 2014; № 5(341): 50-62. (rus).
20. Huler, S. Defining the Wind: The Beaufort Scale, and How a 19th-Century Admiral Turned Science into Poetry. New York: Crown Publishers. 2004; 290.
21. Aivazyan S.A., Mkhitarjan V.S. Applied Statistics and Fundamentals of Econometrics. Moscow, Unity, 1998; 1022. (rus).
22. WMO Guidelines for the Calculation of Climate Norms. WMO No. 1203. 2017; 21: 23.
23. Hersbach H., Dee D. ERA5 reanalysis is in production. ECMWF Newsletter. 2016; 147: 7.
24. Hólm E., Janisková M., Keeley S., Laloyaux P., Lopez P., Lupu C., Radnoti G., de Rosnay P., Rozum I., Vamborg F., Villaume S., and Thépaut J.N.: The ERA5 global reanalysis, Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 146, 1999-2049. <https://doi.org/10.1002/qj.3803>, 2020.
25. Database Results of ERA5 reanalysis of hourly data on pressure levels from 1979 to present. [Electronic resource]. Access mode: <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-pressure-levels?tab=form> DOI: 10.24381/cds.bd0915c6.
26. Perov A. I. Statistical theory of radio engineering systems. Moscow, Radiotekhnika, 2003; 400. (rus).
27. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151.

28. Second assessment report of Roshydromet on climate change and its consequences on the territory of the Russian Federation. - Moscow: Roshydromet Publishing House, 2014; 1009.

Информация об авторах

Холопцев Александр Вадимович, доктор географических наук, профессор кафедры контрольно-надзорной деятельности, Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, Россия, Красноярский край, г. Железногорск, ул. Северная, д. 1; РИНЦ ID: 467295; ORCID: 0000-0002-9757-5219; e-mail: kholoptsev@mail.ru

Шубкин Роман Геннадьевич, кандидат технических наук, доцент, заместитель начальника академии по учебной работе, Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, Россия, Красноярский край, г. Железногорск, ул. Северная, д. 1; РИНЦ ID: 159572; Scopus Author ID: 57704690300; ORCID: 0000-0002-7163-8146; e-mail: r.shubkin@yandex.ru

Проскова Наталья Юрьевна, преподаватель кафедры контрольно-надзорной деятельности, Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, Россия, Красноярский край, г. Железногорск, ул. Северная, д. 1; РИНЦ ID: 1191233; ORCID: 0009-0000-0068-2968; e-mail: knd@sibpsa.ru

Information about the authors

Alexander V. Kholoptsev, Grand PhD in Geography, Professor of the department of control and supervisory activities, Siberian Fire and Rescue Academy of the State Fire Service of the Ministry of Emergencies of Russia, st. Severnaya, d. 1, Zheleznogorsk, 662972, Russian Federation; ID RISC: 467295; ORCID: 0000-0002-9757-5219; e-mail: kholoptsev@mail.ru

Roman G. Shubkin, Cand. Sci. (Eng), Associate Professor, Deputy head of the academy for academic affairs, Siberian Fire and Rescue Academy of the State Fire and Rescue Service of the Ministry of Emergencies of Russia, st. Severnaya, d. 1, Zheleznogorsk, 662972, Russian Federation; ID RISC: 159572; Scopus Author ID: 57704690300; ORCID: 0000-0002-7163-8146; e-mail: r.shubkin@yandex.ru

Natalia Yu. Proskova, lecturer at the department of control and supervision, Siberian Fire and Rescue Academy of the State Fire Service of the Ministry of Emergencies of Russia, st. Severnaya, d. 1, Zheleznogorsk, 662972, Russian Federation; ID RISC: 1191233; ORCID: 0009-0000-0068-2968; e-mail: knd@sibpsa.ru

УДК 623.746

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ГРУППИРОВКИ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ПРИ ПРЕДУПРЕЖДЕНИИ И ЛИКВИДАЦИИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

Логинов Валерий Викторович, Вишняков Александр Валерьевич,
Зубарев Игорь Александрович

Уральский институт ГПС МЧС России, Екатеринбург, Россия

АННОТАЦИЯ

В связи с широким внедрением в сферу деятельности различных министерств и ведомств практики применения беспилотных летательных аппаратов (БЛА) возникают вопросы оценки эффективности этого применения. При ликвидации чрезвычайных ситуаций (ЧС) для решения комплекса задач защиты населения и территорий возможно создание группировки БЛА разных типов под единым управлением. Для оценки эффективности ее применения необходимо рассмотреть практикуемые методы оценки, в частности вероятностный как наиболее очевидный и другие. В статье на их основе предложен методический подход к оценке рационального создания группировки БЛА по количеству и типу для эффективного решения задачи ликвидации ЧС. Проводится анализ имеющихся данных для оценки эффективности действий группы (группировки) БЛА исходя из технических возможностей отдельных образцов. Определяются основные направления нахождения значений вероятностей выполнения отдельных задач как основы оценки группировки в целом. Предлагается для анализа эффективности функция распределения стоящих перед группировкой задач по типам образцов. Методический аппарат решения задачи, основанный на методе максимального элемента, подкреплен примером. Учет конкретной обстановки в зоне действия группировки БЛА: предложено учитывать применением коэффициентов, полученных экспертными методами и привязанных к вероятностям выполнения задач отдельными образцами.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, группировка БЛА, оценка эффективности, вероятностные методы, метод максимального элемента

ASSESSING THE EFFECTIVENESS OF USING A GROUP OF UAVS IN EMERGENCY PREVENTION AND RESPONSE

Valery V. Loginov, Alexander V. Vishnyakov, Igor A. Zubarev

The Ural Institute of State Firefighting Service EMERCOM of Russia, Yekaterinburg, Russian Federation

ABSTRACT

In connection with the widespread introduction of the practice of using unmanned aerial vehicles (UAVs) into the activities of various ministries and departments, questions arise

about assessing the effectiveness of this application. When liquidating emergency situations (ES), to solve a complex of problems of protecting the population and territories, it is possible to create a group of UAVs of different types under a single control. To assess the effectiveness of its application, it is necessary to consider the practiced assessment methods, in particular probabilistic as the most obvious and others. Based on them, the article proposes a methodological approach to assessing the rational creation of a grouping of UAVs by number and type to effectively solve the problem of emergency response. An analysis of the available data is carried out to assess the effectiveness of the actions of a group (group) of UAVs, based on the technical capabilities of individual samples. The main directions for finding the probabilities of completing individual tasks are determined as the basis for assessing the grouping as a whole. For efficiency analysis, a function of distribution of tasks facing grouping according to sample types is proposed. The methodological apparatus for solving the problem, based on the maximum element method, is supported by an example. It is proposed to take into account the specific situation in the area of operation of the UAV grouping by using coefficients obtained by expert methods and tied to the probabilities of completing tasks by individual samples.

Keywords: unmanned aerial vehicle, UAV grouping, efficiency assessment, probabilistic methods, maximum element method

Введение

В настоящее время наблюдается рост сфер и областей применения беспилотных летательных аппаратов (БЛА). Применение БЛА способно существенно расширить возможности подразделений МЧС России при предупреждении и ликвидации чрезвычайных ситуаций (ЧС). Спектр задач выполняемых БЛА заявляется достаточно большой [1]. Как показала практика применения БЛА в ходе специальной военной операции, они способны выполнять трудно решаемые задачи в интересах подразделений, оставаясь относительно дешевым средством, не требующим длительной подготовки оператора.

Анализируя спектр задач, предполагаемых к решению применением БЛА, можно сделать вывод о том, что их использование будет эффективно, по сравнению с существующими средствами, при применении на большой площади и на тех ее участках, на которых невозможны или небезопасны действия подразделений спасателей или оператора.

Следует отметить, что при относительной универсальности задач разведки и мониторинга земной поверхности, выполняемых БЛА всех типов, для решения задач предупреждения и ликвидации ЧС необходимы БЛА для решения специфических задач с соответствующей аппаратурой — полезной нагрузкой (ПН).

Из перечня задач, соответствующих современному уровню развития технологий, решаемых в интересах подразделений МЧС России, можно выделить следующие:

- общий обзор территории с целью мониторинга изменения обстановки;
- разведка территории с целью поиска пострадавших;
- сброс груза пострадавшим и спасателям;
- оповещение об опасности людей, находящихся на угрожаемой территории.

Решение задач предупреждения и особенно ликвидации носит комплекс-

ный характер и потребует применения разнородной группировки сил и средств различных ведомств. Это положение также будет касаться создания и применения группировки (группы) БЛА различных типов и разных характеристик.

На эффективность выполнения БЛА возложенных задач будут влиять их технические характеристики, из которых можно выделить основные:

- радиус действия (дальность связи с оператором), м;
- время работы, до восстановления параметров источника энергии, час;
- площадь полосы разведки, м²;
- вес полезной нагрузки, обеспечивающей выполнение задач по назначению, кг;
- габаритные характеристики (длина, высота, ширина, общий вес);
- маневренные (скорость, время развертывания и т. д.).

На БЛА, предназначенные для выполнения специфических задач, в качестве полезной нагрузки кроме видеокамер устанавливаются инфракрасные камеры, системы сброса грузов, громкоговорители и др. При ликвидации ЧС БЛА различных типов выполняющие разнородные задачи, должны действовать в составе единой группировки.

Оценки эффективности применения БЛА в составе группировки можно проводить экспертными методами, в том числе методом анализа иерархий [2] и по интегральному показателю технического уровня [3]. Между тем очевидно, что с обобщением опыта эксплуатации и применения БЛА и принятием на вооружение подразделений МЧС России серийных образцов появится возможность оценивания эффективности применения БЛА вероятностным методом, под которым понимают определение вероятности того, что случайный объект из заданного ряда удовлетворяет нужному условию [4].

Применение вероятностного метода для оценки эффективности применения БЛА

В случае оценки БЛА этим методом предполагается, что имеющийся образец согласно опыту применения в сравнимых условиях имеет вероятность выполнения задачи $P_{\text{зад}}$. Под вероятностью выполнения задачи будем понимать получение от БЛА в процессе его применения, ограниченном его техническими характеристиками, информации об объектах мониторинга с приемлемым качеством (разведка и мониторинг), вероятность обнаружения объекта с определением его координат (поиск пострадавших) или вероятность обнаружения объекта и воздействия на него с целью выполнения задачи (сброс грузов и оповещение).

В общем случае количество объектов, обнаруживаемых при разовом применении БЛА, может быть определено по формуле:

$$R = P_{\text{обн}} \cdot U_{\text{ПРО}} \cdot S_{\text{ПЗ}}, \quad (1)$$

где: R — количество обнаруженных объектов;

$P_{\text{обн}}$ — вероятность обнаружения объекта;

$U_{\text{ПРО}}$ — плотность распределения объектов в зоне поиска;

$S_{\text{ПЗ}}$ — площадь зоны поиска.

Количество объектов R будет также зависеть от обстановки применения БЛА (задымления, воздействия высоких или низких температур, других природных явлений, условий распространения сигнала и т. д.), ее можно учесть коэффициентом (или несколькими коэффициентами) обстановки $k_{\text{обс}}$ по формуле:

$$R_{\text{обс}} = k_{\text{обс}} \cdot R. \quad (2)$$

В случае использования в зоне действия ЧС нескольких однотипных БЛА для определения вероятности обнаружения объектов используется формула:

$$P_{\text{Нобн}} = 1 - (1 - P_{\text{обн}})^n \quad (3)$$

Плотность распределения объектов $U_{\text{ПРО}}$ в зоне ЧС может быть определена

[5] как отношение находящихся в зоне людей к общей площади зоны поиска, эти данные должны быть взяты из материалов расследования пожара или ликвидации ЧС:

$$U_{\text{ПРО}} = \frac{R_{\text{общ}}}{S_{\text{ПЗ}}}, \quad (4)$$

где $R_{\text{общ}}$ — общая численность людей в зоне поиска;

$S_{\text{ПЗ}}$ — общая площадь объекта.

Размер полосы разведки $S_{\text{ПР}}$ можно определить как:

$$S_{\text{ПР}} = L_{\text{марш}} B_{\text{кам}}, \quad (5)$$

где $L_{\text{марш}}$ — длина маршрута;

$B_{\text{кам}}$ — ширина эффективного поиска аппаратуры, установленной на БЛА.

Вероятность пропуска объектов (необнаружения) во время поиска можно оценить по формуле:

$$P_{\text{необр}} = 1 - P_{\text{обн}}. \quad (6)$$

Из анализа формул (1–6) можно сделать вывод, что корректное применение вероятностного метода возможно только при наличии большого количества статистических данных о ходе и результатах применения БЛА в ходе ликвидации ЧС. В этом случае для каждого БЛА можно определить вероятность выполнения задачи $P_{\text{зад}}$ как отношение:

$$P_{\text{зад}} = \frac{N_{\text{вып}}}{N_{\text{общ}}}, \quad (7)$$

где $N_{\text{вып}}$ — число обнаруженных объектов или выполненных задач;

$N_{\text{общ}}$ — общее число объектов, находящихся в зоне ЧС, или общее число объектов необходимых для действий по ликвидации задач.

Нахождение величины $P_{\text{зад}}$ не представляет особого труда, и принципиально им можно объективно оценить эффективность применения нескольких однотипных

БЛА в примерно одинаковых условиях обстановки, но при этом необходим стандартизированный учет величин $N_{\text{вып}}$ и $N_{\text{общ}}$ с исключением влияния субъективного фактора при сборе статистики и учете влияния условий обстановки.

Оценка эффективности применения группировки БЛА

При оценке эффективности применения группировки БЛА при ликвидации ЧС предполагается использование не только однотипных образцов для решения определенных задач, но и БЛА разных типов, действующих для решения различных задач или обеспечивающих их выполнение.

В этих условиях возникает необходимость оценки действий группы разнородных БЛА, действующих в условиях различной обстановки.

В связи с этим возникает задача оценки эффективности действий группы (группировки) БЛА в различных условиях обстановки исходя из возможностей отдельных образцов, характеризующая величиной $P_{\text{зад}i}$.

Для оценки эффективности группового применения БЛА, для решения определенных задач на основе вероятностных методов анализа необходимо определить матрицу распределения вероятностей выполнения i задачи каждым j типом БЛА:

$$A = |p_{ji}|, \quad (8)$$

а также матрицу количества j типов БЛА, определенных для выполнения i задачи:

$$B = |n_{ji}|. \quad (9)$$

Имея данные о количестве задач S и количестве типов БЛА m , участвующих в ликвидации ЧС, можно составить матрицу распределения БЛА на выполнение задач

$$C = |p_{ji}|_{mS}. \quad (10)$$

Принимая во внимание методику [6], можно определить максимум функции, определяющий полноту решения $P(C)$, стоящего перед группировкой БЛА задач:

$$P(C) = \sum_{i=1}^S \{1 - \prod_{j=1}^m (1 - p_{ji})^{n_{ji}}\}, \quad (11)$$

при линейном ограничении на переменные

$$\sum_{i=1}^S n_{ji} \ll N_j, \quad j = 1, \dots, m. \quad (12)$$

$$\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^S n_{ji} = N, \quad (13)$$

а также при условиях

$$\left. \begin{aligned} n_{ji} \in \{0, 1, \dots, N_j\}, \\ 0 \leq p_{ji} \leq 1 \end{aligned} \right\} \quad j = 1, \dots, m; i = 1, \dots, S,$$

где S — количество задач, выполняемых группировкой БЛА;

N — численность БЛА в группировке;

N_j — количество БЛА j -го типа в группировке, $j = 1, \dots, m$;

p_{ji} — вероятность выполнения i задачи БЛА j -го типа;

n_{ji} — количество БЛА j -го типа, предназначенных для выполнения i задачи.

Решение данной задачи, согласно [6] представляется по методу максимального элемента. Его суть заключается в решении задачи с большим числом переменных n с переходом к последовательному решению n задач с одной переменной.

Решение задачи выполняется по следующей схеме: составляется таблица, в которой приводятся задачи и соответствующее им количество БЛА, способных их решить, с соответствующей заданной вероятностью.

Зная вероятность выполнения задачи каждым образцом БЛА p_{ji} , можно определить общую вероятность выполнения отдельной задачи всей группировкой БЛА:

$$p_i = 1 - \prod_{j=1}^m (1 - p_{ji})^{n_{ji}}. \quad (14)$$

В дальнейшем, суммируя несовместные вероятности выполнения задач,

можно найти максимум функции $P(C)$ по формуле (11).

По данному значению можно судить об эффективности всей группировки БЛА по выполнению всего спектра стоящих перед ней задач.

Вариант примера решения подобной задачи приведен ниже. Пусть группировкой БЛА требуется в процессе ликвидации ЧС выполнить задачи 1–4 из таблицы 1. В составе группировки имеются БЛА: тип 1 (осмотр территории, поиск пострадавших), тип 2 (поиск пострадавших, осмотр территории), тип 3 (сброс грузов, ограниченный осмотр территории), тип 4 (оповещение, ограниченный осмотр территории). Считаем, что в группировке имеется по два БЛА каждого типа. Требуется оценить эффективность применения группировки с условием выполнения каждой задачи с вероятностью не ниже 0,8.

Матрица распределения вероятностей решения задач разными типами БЛА приведена в табл. 1.

По условию задачи можно составить матрицу количества БЛА для выполнения стоящих задач согласно табл. 2.

Решение данной задачи приведено на рис. 1.

Анализируя решение, нетрудно увидеть, что с заданной вероятностью не выполнена только задача оповещения. Увеличивая число типов БЛА для выполнения этой задачи с 2 до 5, можно добиться увеличения эффективности группировки и требуемой вероятности выполнения задачи рис. 2.

В некоторых работах [7] для оценки эффективности группы разнородных средств функцию (11) записывают в виде:

$$P(C) = \sum_{i=1}^S k_i \{1 - \prod_{j=1}^m (1 - p_{ji})^{n_{ji}}\}, \quad (15)$$

где k_i — коэффициент важности задачи, при этом он удовлетворяет условию

$$k_i > 0; \sum_{i=1}^S k_i = 1.$$

Таблица 1

Распределение вероятностей выполнения задач БЛА по условию

Table 1

Probability distribution of UAV task completion according to condition

	Тип 1 Type 1	Тип 2 Type 2	Тип 3 Type 3	Тип 4 Type 4
Задача 1 Problem 1	0,6	0,4	0,1	0,1
Задача 2 Problem 2	0,1	0,6	0	0
Задача 3 Problem 3	0	0	0,6	0
Задача 4 Problem 4	0	0	0	0,3

Таблица 2

Распределение типов БЛА для решения задач по условию

Table 1

Distribution of UAV types for solving problems by condition

	Тип 1 Type 1	Тип 2 Type 2	Тип 3 Type 3	Тип 4 Type 4
Задача 1 Problem 1	2	2	2	2
Задача 2 Problem 2	2	2	0	0
Задача 3 Problem 3	0	0	2	0
Задача 4 Problem 4	0	0	0	2

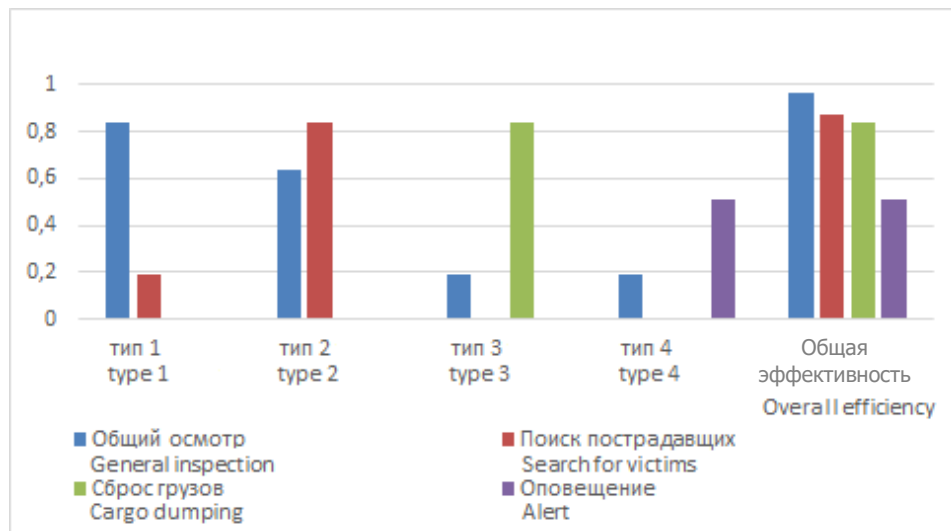


Рисунок 1. Оценка эффективности группировки БЛА

Figure 1. Assessing the effectiveness of a UAV constellation

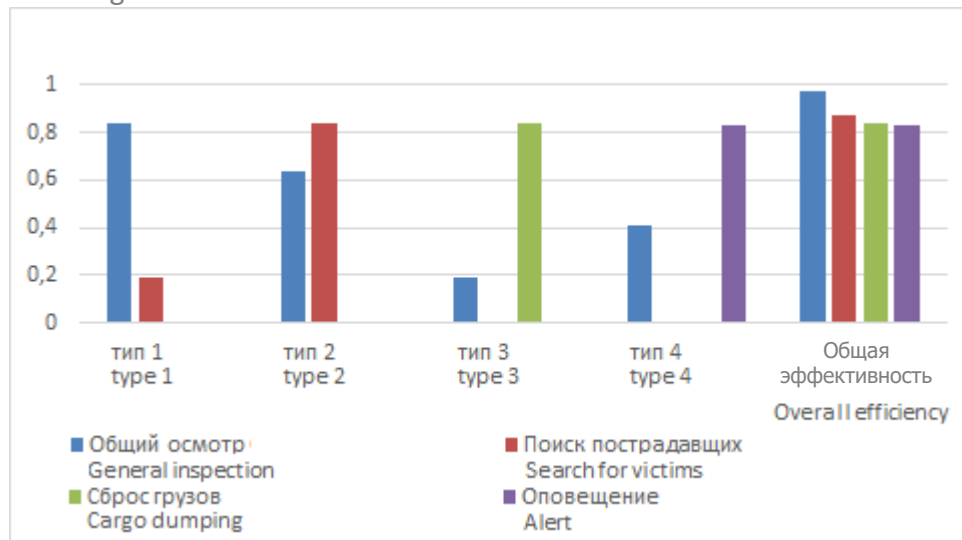


Рисунок 2. Оценка эффективности группировки после увеличения численности

Figure 2. Assessing the effectiveness of the group after increasing the number

Определение коэффициента k_i требует учета обстановки в районе ликвидации ЧС, его значение может быть определено фактически только экспертными методами, наиболее приемлемым из которых является метод анализа иерархий [2], когда важность решения задачи увязывается с ее условиями, в которых она решается. Пример использования данного метода при комплексной оценке сложной системы приведен в работе [8]. Для упрощения учета обстановки в зоне действия группировки БЛА можно воспользоваться формулой (2), изменяя в соответствии

с коэффициентом обстановки значения вероятностей выполнения задач [9].

При анализе влияния k_i на значение эффективности $P(C)$ можно сделать вывод о необходимости модульной конструкции БЛА и набора сменной полезной нагрузки для их оснащения в зависимости от условий применения и важности решаемых задач.

Как было показано, вышеописанный метод без существенных изменений может быть применен для решения обратной задачи, когда по заданным вероятностям выполнения задачи отдельными БЛА, в зависимости от обстановки и стоящих

задач, можно найти оптимальный объем типов и количество БЛА, участвующих в группировке, и определить сценарии применения при ликвидации ЧС [10].

Выводы

Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод о приемлемости использования предложенной методики для оценки эффективности выполнения спектра задач разнородной группировкой БЛА.

Необходимо отметить, что для успешного применения метода и получения достоверных результатов необходимо иметь значения вероятностей выполнения конкретной задачи отдельным типом БЛА

p_{ji} . Для получения требуемых результатов необходим сбор большого количества статистических данных о результатах применения отдельных образцов БЛА по решению требуемых задач и последующей обработкой.

Также важным представляется определение экспертными методами коэффициентов k_i , учитывающих условия применения и важность отдельных задач, выполняемых группировкой БЛА. При их определении кроме сбора статистических данных возникает необходимость проведения исследований, связанных с опросом экспертных групп, сравнения их результатов и выбора приемлемого.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Беспилотная авиация // МЧС России. Главное управление по Архангельской области : офиц. сайт. URL: <https://29.mchs.gov.ru/glavnoe-upravlenie/sily-i-sredstva/federalnye-sily-i-sredstva/bespilotnaya-aviaciya> (дата обращения: 11.03.2024).
2. Саати Т. Принятие решений при зависимостях и обратных связях. Аналитические сети / пер. с англ. ; науч. ред. А. В. Андрейчиков, О. Н. Андрейчикова. М. : ЛКИ, 2008. 360 с.
3. Найдёнов Д. С., Ремнёв Д. С., Прокопенко А. И. Математическое обоснование выбора РТС в зоне ЧС // Применение робототехнических комплексов специального назначения : сб. тр. секции № 5 XXVIII Междунар. науч.-практ. конф. «Предотвращение. Спасение. Помощь», 22 марта 2018 г. ФГБВОУ ВО АГЗ МЧС России, 2018. 125 с.
4. Спенсер Н. Алон, Дж. Вероятностный метод : учебное пособие. 4-е изд., электрон. М. : Лаборатория знаний, 2020. 323 с.
5. Логинов А. А. Оценка разведывательных возможностей БЛА // Доклады и статьи ежегодной науч.-практ. конф. «Перспективы развития и применения комплексов с беспилотными летательными аппаратами». Коломна, 2016. 274 с.
6. Березин Е. А. Оптимальное распределение ресурсов и элементы синтеза систем / под ред. Е. В. Золотова. М. : Сов. радио, 1974. 304 с.
7. Свиридов В. В. Применение робототехнических комплексов охраны и обороны критически важных объектов Ракетных войск стратегического назначения // Военная Мысль. 2021. № 6. 57-64 с.
8. Логинов В. В., Вишняков А. В., Зубарев И. А. Оценка образцов робототехнических комплексов пожаротушения методом анализа иерархий // Техносферная безопасность : науч. интернет-журнал. 2023. № 2. 91-100 с.
9. Моделирование сложных вероятностных систем : учеб. пособие / В. Г. Лисиенко [и др.]. Екатеринбург : изд-во УРФУ, 2011. 200 с.
10. Пшихопов В. Х., Гонтарь Д. Н., Мартьянов О. В. Концептуальные подходы к формированию сценариев боевого применения групп робототехнических комплексов // Системы управления, связи и безопасности. 2022. № 3. С. 138–182.

REFERENCES

1. Unmanned aircraft // Russian Ministry of Emergency Situations. Headquarters in the Arkhangelsk region: [website]. URL: <https://29.mchs.gov.ru/glavnoe-upravlenie/sily-i-sredstva/federalnye-sily-i-sredstva/bespilotnaya-aviaciya> (date of access: 03/11/2024). (rus).
2. Saaty T. Decision making with dependencies and feedbacks: Analytical networks / T. Saaty; lane from English; scientific ed.: A.V. Andreychikov, O.N. Andreichikova. Moscow, LKI, 2008; 360. (rus).
3. Naydenov D.S., Remnev D.S. Prokopenko A.I., Mathematical justification for the choice of RTS in an emergency zone. Application of special-purpose robotic systems: collection of proceedings of section No. 5 of

the XXVIII International Scientific and Practical Conference “Prevention. The rescue. Help”, March 22, 2018. FGBVOU VO AGZ EMERCOM of Russia. 2018; 125. (rus).

4. Probabilistic method: textbook / N. Alon, J. Spencer; 2nd Eng. ed. 4th ed., electronic. Moscow, Laboratory of Knowledge, 2020; 323. (rus).
5. Loginov A.A., Assessment of the reconnaissance capabilities of UAVs / Reports and articles of the annual scientific and practical conference “Prospects for the development and application of complexes with unmanned aerial vehicles”, Kolomna, 2016; 274. (rus).
6. Berezin E.A. Optimal distribution of resources and elements of systems synthesis. E.V. Zolotova (ed.). Moscow, Sov. radio, 1974; 304. (rus).
7. Sviridov V.V. Application of robotic security and defense systems for critically important objects of the Strategic Missile Forces. Military Thought. 2021; 6. (rus).
8. Loginov V.V., Vishnyakov A.V., Zubarev I.A. Evaluation of samples of robotic fire extinguishing systems using the hierarchy analysis method. Technosphere Safety. 2023; No. 2. (rus).
9. Lisienko V. G., Trofimova O. G., Trofimov S. P., Druzhinina N. G., Dugay P. A. Modeling of complex probabilistic systems: textbook. allowance. Ekaterinburg, URFU, 2011; 200. (rus).
10. Pshikhopov V. Kh., Gontar D. N., Martyanov O. V. Conceptual approaches to the formation of scenarios for the combat use of groups of robotic complexes. Control, communication and security systems. 2022; 3: 138–182. DOI: 10.24412/2410-9916-2022-3-138-182. (rus).

Информация об авторах

Логинов Валерий Викторович, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры безопасности в ЧС, Уральский институт ГПС МЧС России, Россия. 620062, Свердловская область, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 22; РИНЦ ID: 1103066; e-mail: bazalt@mail.ru

Вишняков Александр Валерьевич, кандидат биологических наук, доцент, профессор кафедры безопасности в ЧС, Уральский институт ГПС МЧС России, Россия, 620062, Свердловская область, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 22; РИНЦ ID: 848624; e-mail: alexvish63@mail.ru

Зубарев Игорь Александрович, кандидат педагогических наук, доцент, начальник УНК, Уральский институт ГПС МЧС России, Россия, 620062, Свердловская область, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 22; РИНЦ ID: 836075; e-mail: zubarev@mail.ru

Information about the authors

Valery V. Loginov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, associate Professor, Ural Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia, Mira St., 22, Yekaterinburg, 620062, Russian Federation; RSCI ID: 1103066; e-mail: bazalt@mail.ru

Alexander V. Vishnyakov, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Professor, Ural Institute of State Fire Service EMERCOM of Russia, Ural Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia, Mira St., 22, Yekaterinburg, 620062, Russian Federation; RSCI ID: 848624; e-mail: alexvish63@mail.ru

Igor A. Zubarev, Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Head of the UNC, Ural Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia, Mira St., 22, Yekaterinburg, 620062, Russian Federation; RSCI ID: 836075; e-mail: zubarev@mail.ru

УДК 614.8

О НЕКОТОРЫХ РЕЗУЛЬТАТАХ ОБРАБОТКИ СТАТИСТИЧЕСКИХ ДАННЫХ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ЗАЩИТЫ НАСЕЛЕНИЯ И ТЕРРИТОРИЙ ОТ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ ПО ИТОГАМ 2023 Г.

**Иванов Евгений Вячеславович, Рыбаков Анатолий Валерьевич,
Тугушов Константин Владимирович, Казаков Вячеслав Юрьевич**

Академия гражданской защиты МЧС России, г. Химки, Россия

АННОТАЦИЯ

В статье рассматриваются основные положения оценки величины индивидуального риска. Приведены основные итоги оценки индивидуального риска для федеральных округов и субъектов Российской Федерации. Сделан вывод о том, что по полученным значениям индивидуального риска все субъекты Российской Федерации превышают нормативно обоснованные пределы, в частности величину допустимого риска, установленную нормативными документами. Высказана гипотеза о том, что наряду с необходимостью оценки собственно величины риска необходимо оценивать и степень однородности рассматриваемой величины у субъектов, расположенных в границах федеральных округов. Анализ полученных величин однородности позволит судить, насколько субъекты в пределах федерального округа «выделяются» по качеству реализуемых мероприятий защиты от чрезвычайных ситуаций, выявить слабые и сильные регионы. В качестве величины такой оценки предложено использовать индекс Тейла. Проведенные расчеты показали, что минимальные значения индекса Тейла наблюдались в 2023 г. у субъектов, вошедших в состав Российской Федерации в 2022 г., и субъектов Северо-Кавказского федерального округа. А наибольшие – у Северо-Западного федерального округа, что говорит о неоднородности оценок по величине индивидуального риска у субъектов, входящих в состав федерального округа.

Ключевые слова: чрезвычайные ситуации, статистический анализ, индивидуальный риск, индекс Тейла, однородность показателей

ON SOME RESULTS OF PROCESSING STATISTICAL DATA ON THE ASSESSMENT OF THE STATE OF PROTECTION OF THE POPULATION AND TERRITORIES FROM EMERGENCY SITUATIONS BY THE END OF 2023

Evgenij V. Ivanov, Anatolij V. Rybakov, Konstantin V. Tugushov, Vyacheslav JU. Kazakov

Civil Defence Academy EMERCOM of Russia, Khimki, Russian Federation

ABSTRACT

The article discusses the main provisions of the assessment of the magnitude of individual risk. The main results of the individual risk assessment for federal districts and subjects of the Russian Federation are presented. It is concluded that according to the

obtained values of individual risk, all subjects of the Russian Federation exceed the normatively justified limits, in particular the amount of permissible risk established by regulatory documents. It is hypothesized that along with the need to assess the actual magnitude of the risk, it is necessary to assess the degree of uniformity of the value in question for subjects located within the borders of federal districts. The analysis of the obtained homogeneity values will allow us to judge to what extent the subjects within the federal district "stand out" in terms of the quality of implemented measures to protect against emergencies, to identify weak and strong regions. It is proposed to use the Tail index as the value of such an estimate. The calculations showed that the minimum values of the Tail index were observed in 2023 for the subjects that became part of the Russian Federation in 2022 and the subjects of the North Caucasus Federal District. And the largest for the Northwestern Federal District, which indicates the heterogeneity of estimates of the magnitude of individual risk for subjects that are part of the federal district.

Keywords: emergencies, statistical analysis, individual risk, Tail index, uniformity of indicators

Введение

Развитие государств непосредственно связано с развитием территорий их составляющих, при этом современные тенденции предусматривают полицентрическое развитие, направленное на увеличение числа центров экономического роста, обладающих конкурентоспособной экономикой [1]. На законодательном уровне цель равномерного развития регионов, обеспечения устойчивого экономического роста и научно-технологического развития регионов заявлена в Основах государственной политики регионального развития Российской Федерации на период до 2025 г. [2].

При этом, несмотря на прилагаемые усилия, добиться равномерного развития регионов не удастся прежде всего в связи со значительными различиями в климатогеографических условиях, начальном уровне социально-экономического развития, уровне развития промышленного производства и других факторах [3]. В полной мере данное положение касается и вопросов обеспечения защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций. Поэтому ключевой

может стать не оценка собственных показателей состояния защиты населения в чрезвычайных ситуациях, но оценка однородности их значений для субъектов, расположенных в границах федеральных округов.

Материалы и методы

В качестве количественной величины, позволяющей провести оценку эффективности реализуемой политики в области защиты в чрезвычайных ситуациях, применяется величина индивидуального риска [4]. Так, в 2023 г. уровень индивидуального риска для Федеральных округов Российской Федерации варьируется от $3,7 \cdot 10^{-5}$ (для Северо-Кавказского федерального округа) (рис. 1).

При этом величина индивидуального риска на 2023 г., наибольшая для Ненецкого Автономного округа ($3,38 \cdot 10^{-4}$ чел./г.) и наименьшая для Чеченской Республики ($1,1 \cdot 10^{-5}$ чел./г.), различаются более чем в 30 раз. Такое большое различие может говорить о разной степени эффективности реализуемых мероприятий в области защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций.

Для более глубокого анализа степени различия оценки индивидуального риска проведем ее оценку в пределах субъектов, входящих в состав федерального округа. В качестве величины, позволяющей провести усредненную оценку,

используем индекс Тейла (1) как показателя неравенства пространственных систем, к которым можно отнести субъекты, входящие в состав федеральных округов [5].

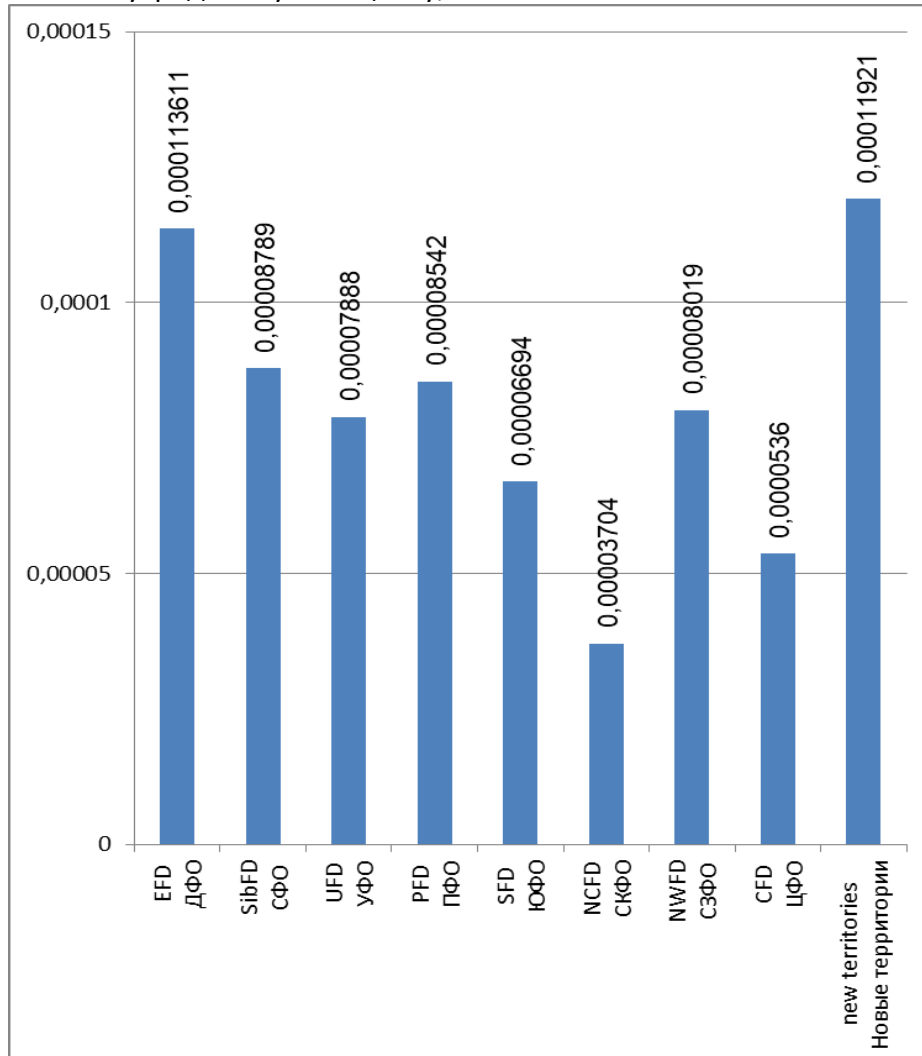


Рисунок 1. Уровень индивидуального риска для федеральных округов

Figure 1. The level of individual risk for federal districts

$$T = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{R_i}{\bar{R}} \cdot \ln \frac{R_i}{\bar{R}}, \quad (1)$$

где R_i – величина индивидуального риска (определяется в соответствии с требованиями ГОСТ 55059–2012 [6]) для i -го субъекта федерального округа;

\bar{R} – средняя величина индивидуального риска для федерального округа в год наблюдения (приведены на рис. 1);

n – число субъектов, входящих в состав федерального округа.

Результаты и их обсуждение

В качестве примера рассмотрим субъекты, входящие в состав Дальневосточного федерального округа (исходные данные для расчета представлены в табл. 1) как имеющего наибольшую величину индивидуального риска.

Таблица 1

Показатели индивидуального риска для субъектов
Дальневосточного федерального округа

Table 1

Indicators of individual risk for the subjects of the Far Eastern Federal District

Федеральный округ, субъект Российской Федерации Federal District, a subject of the Russian Federation	Количество погибших, чел. The number of dead, people				Показатели риска Risk indicators	
	при пожарах in case of fires	в ЧС in an emergency	на водных объектах on water bodies	Всего Total	индивидуальный риск individual risk	допустимый (ГОСТ Р 22.10.02) acceptable (GOST R 22.10.02)
ДФО EFO	608	11	279	898	0,00011361	не определен not defined
Республика Бурятия The Republic of Buryatia	66	0	50	116	0,00011902	0,00001390
Республика Саха (Якутия) The Sakha Republic	69	3	68	140	0,00014034	0,00002830
Забайкальский край Trans-Baikal Territory	92	0	33	125	0,00012596	0,00002320
Камчатский край Kamchatka Territory	4	1	11	16	0,00005542	0,00003810
Приморский край Primorsky Krai	122	5	36	163	0,00008956	0,00001630
Хабаровский край Khabarovsk Territory	102	0	19	121	0,00009423	0,00002380
Амурская область Amur region	80	0	33	113	0,00014943	0,00001570
Магаданская область Magadan region	20	0	5	25	0,00018615	0,00003540
Сахалинская область Sakhalin region	27	2	13	42	0,00009119	0,00017500
Еврейская автономная область The Jewish Autonomous Region	19	0	9	28	0,00018983	0,00001310
Чукотский автономный округ Chukotka Autonomous Okrug	7	0	2	9	0,00018828	0,00009220

Тогда величина индекса Тейла будет равна (табл. 2).

Таблица 2

Результаты расчета индекса Тейла по показателю индивидуального риска для субъектов Дальневосточного федерального округа

Table 2

The results of the calculation of the Tail index according to the indicator of individual risk for the subjects of the Far Eastern Federal District

Федеральный округ, субъект Российской Федерации Federal District, a subject of the Russian Federation	Результаты расчетов calculation results		
	$\frac{R_i}{\bar{R}}$	$\ln \frac{R_i}{\bar{R}}$	Индекс Тейла The Tail Index
Республика Бурятия The Republic of Buryatia	1,047619	0,04652	0,22
Республика Саха (Якутия) The Sakha Republic	1,235279	0,211297	
Забайкальский край Trans-Baikal Territory	1,108705	0,103193	
Камчатский край Kamchatka Territory	0,487809	-0,71783	
Приморский край Primorsky Krai	0,788311	-0,23786	
Хабаровский край Khabarovsk Territory	0,829416	-0,18703	
Амурская область Amur region	1,315289	0,274057	
Магаданская область Magadan region	1,6385	0,493781	
Сахалинская область Sakhalin region	0,802658	-0,21983	
Еврейская автономная область The Jewish Autonomous Region	1,670892	0,513357	
Чукотский автономный округ Chukotka Autonomous Okrug	1,657248	0,505159	

Аналогичные расчеты произведем для остальных федеральных округов:

для Сибирского федерального округа: 0,123;

для Уральского федерального округа: 0,267;

для Приволжского федерального округа: 0,116;

для Южного федерального округа: 0,07;

для Северо-Кавказского федерального округа: 0,042;

для Северо-Западного федерального округа: 1,054;

для Центрального федерального округа: 0,573;

для Донецкой Народной Республики, Луганской Народной Республики, Запорожской и Херсонской областей: 0,01.

Заключение

Полученные результаты оценки индивидуального риска могут быть интерпретированы следующим образом [7]:

1. Для территории субъектов Российской Федерации не соблюдаются требования ГОСТ Р 22.10.02–2016, что говорит о том, что величина индивидуального риска превышает допустимую величину индивидуального риска [8] (фрагмент сравнительных величин представлен в табл. 1 для субъектов Дальневосточного федерального округа).

2. В соответствии с рассчитанными величинами индивидуального риска наиболее сложная обстановка сложилась для территорий Донецкой Народной Республики, Луганской Народной Республики, Запорожской и Херсонской областей,

а также субъектов Дальневосточного федерального округа. Наименьшая величина индивидуального риска — для субъектов Северо-Кавказского федерального округа.

3. Рассчитанные значения индекса Тейла позволяют сделать вывод о том, что минимальные значения среди федеральных округов наблюдаются для Донецкой Народной Республики, Луганской Народной Республики, Запорожской и Херсонской областей и субъектов, что говорит о наибольшей однородности по величине индивидуального риска.

4. Напротив, наибольшие значения индекса Тейла получены для Северо-Западного федерального округа, что говорит о неоднородности по величине индивидуального риска у субъектов, входящих в состав федерального округа.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Емельянова Н. В. Агломерационные процессы и трансформация расселения Сибири // Сжатие социально-экономического пространства: новое в теории регионального развития и практике его государственного регулирования. М. : Эслан, 2010. С. 263–281. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?selid=24977029&ysclid=lu5phf0zkb779631534&id=24226417> (дата обращения: 24.03.2024). Режим доступа: для зарегистрир. пользователей.
2. Об утверждении Основ государственной политики регионального развития Российской Федерации на период до 2025 года : указ Президента РФ от 16 января 2017 г. № 13 // Гарант : информационный интернет-портал. URL: <https://constitution.garant.ru/act/federative/71587690/?ysclid=lu2lp22fas952966070> (дата обращения: 24.03.2024).
3. Бровкова А. В. Статистический анализ неравномерности пространственного развития регионов России // Вестник Саратовского государственного социально-экономического университета. 2018. № 5 (74). С. 183–190. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36769766&ysclid=lu5pix9s9m360266568> (дата обращения: 24.03.2024). Режим доступа: для зарегистрир. пользователей.
4. Анализ подходов и методов формирования интегральных индексов риска при работе с паспортами безопасности территории субъектов Российской Федерации / Е. В. Арефьева [и др.] // Технологии гражданской безопасности. 2023. Т. 20, № 3 (77). С. 50–58. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=54619283> (дата обращения: 24.03.2024). Режим доступа: для зарегистрир. пользователей.
5. Гагарина Г. Ю., Болотов Р. О. Оценка межрегионального неравенства в Российской Федерации и его декомпозиция с применением индекса Тейла // Федерализм. 2021. Т. 26, № 4 (104). С. 20–34. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=47433797&ysclid=lu5plmi2yh277825748> (дата обращения: 24.03.2024). Режим доступа: для зарегистрир. пользователей.
6. ГОСТ 55059–2012. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Менеджмент риска чрезвычайной ситуации. Термины и определения : нац. стандарт Российской Федерации : утвержден и введен в действие приказом Федер. агентства по техн. регулированию и метрологии от 12 ноября 2012 г. № 724-ст : введен впервые : дата введения 2013-09-01 // Кодекс : электрон. фонд правовой и норматив.-техн. информ. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200102321?ysclid=lu5eopowms423809900> (дата обращения: 24.03.2024).
7. Морошкина М. В. Региональная неравномерность по Тейлу // Финансы и кредит. 2020. Т. 26, № 10 (802). С. 2310–2327. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44116052&ysclid=lu5pno3epi272525794> (дата обращения: 24.03.2024). Режим доступа: для зарегистрир. пользователей.
8. ГОСТ Р 22.10.02–2016. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Менеджмент риска чрезвычайной ситуации. Допустимый риск чрезвычайных ситуаций : нац. стандарт Российской Федерации : утвержден и введен в действие приказом Федер. агентства по техн. регулированию и метрологии от 29 июня 2016 г. №

724-ст : введен впервые : дата введения 2017-06-01 // Кодекс : электрон. фонд правовой и норматив.-техн. ин-форм. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200136698?ysclid=lu5g453kse370823915> (дата обращения: 24.03.2024).

REFERENCES

1. Yemelyanova N. V. Agglomeration processes and the transformation of the settlement of Siberia // Compression of socio-economic space: new in the theory of regional development and the practice of its state regulation. М. : Eslan, 2010. pp. 263-281. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?selid=24977029&ysclid=lu5phf0zvk779631534&id=24226417> (date of application: 03/24/2024). Access mode: for registration. users. (rus).
2. On the approval of the Fundamentals of the State policy of regional development of the Russian Federation for the period up to 2025 : Decree of the President of the Russian Federation dated January 16, 2017 No. 13 // Garant : information Internet portal. URL: <https://constitution.garant.ru/act/federative/71587690/?ysclid=lu2lp22fas952966070> (accessed 03/24/2024). (rus).
3. Brovkova A.V. Statistical analysis of the uneven spatial development of the regions of Russia // Bulletin of the Saratov State Socio-economic University. 2018. No. 5 (74). pp. 183-190. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36769766&ysclid=lu5pix9s9m360266568> (accessed 03/24/2024). Access mode: for registration. users. (rus).
4. Analysis of approaches and methods for the formation of integral risk indices when working with safety data sheets of the territory of the subjects of the Russian Federation / E. V. Arefyeva [et al.] // Technologies of civil security. 2023. Vol. 20, No. 3 (77). pp. 50-58. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=54619283> (date of appeal: 03/24/2024). Access mode: for registration. users. (rus).
5. Gagarina G. Yu., Bolotov R. O. Assessment of interregional inequality in the Russian Federation and its decomposition using the Tail index // Federalism. 2021. Vol. 26, No. 4 (104). pp. 20-34. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=47433797&ysclid=lu5plmi2yh277825748> (accessed 03/24/2024). Access mode: for registration. users. (rus).
6. GOST 55059-2012. Safety in emergency situations. Emergency risk management. Terms and definitions : national the standard of the Russian Federation : approved and put into effect by the order of the Feder. technical agencies regulation and Metrology dated November 12, 2012 No. 724-st : introduced for the first time : date of introduction 2013-09-01 // Code : electron. the legal and regulatory foundation.- Tech. inform. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200102321?ysclid=lu5eopowms423809900> (accessed 03/24/2024). (rus).
7. Moroshkina M. V. Regional unevenness according to Theil // Finance and credit. 2020. Vol. 26, No. 10 (802). pp. 2310-2327. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44116052&ysclid=lu5pno3epi272525794> (accessed 03/24/2024). Access mode: for registered users. (rus).
8. GOST R 22.10.02-2016. Safety in emergency situations. Emergency risk management. Acceptable risk of emergencies : national the standard of the Russian Federation : approved and put into effect by the order of the Feder. technical agencies regulation and Metrology dated June 29, 2016 No. 724-st : introduced for the first time : date of introduction 2017-06-01 // Code : electron. the legal and regulatory foundation.- Tech. in-forms. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200136698?ysclid=lu5g453kse370823915> (accessed 03/24/2024). (rus).

Информация об авторах

Иванов Евгений Вячеславович, кандидат технических наук, доцент кафедры аварийно-спасательных работ, Академия гражданской защиты МЧС России, Россия, 141435, Московская область, г. Химки, мкр. Новогорск, ул. Соколовская, стр. 1А; ПИНЦ ID: 888327; Scopus Author ID: 57209274032; ORCID: 0000-0002-9093-1559; e-mail: e.ivanov@agz.50.mhs.gov.ru

Рыбаков Анатолий Валерьевич, доктор технических наук, профессор, профессор

Information about the authors

Evgenij V. Ivanov, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor of the Department of Emergency Rescue Operations, The Civil Defence Academy EMERCOM of Russia, Sokolovskaya str., 1A, md. Novogorsk, Khimki, Moscow region, 141435, Russian Federation; ID RISC: 888327; Scopus Author ID: 57209274032; ORCID: 0000-0002-9093-1559; e-mail: e.ivanov@agz.50.mhs.gov.ru

Anatolij V. Rybakov, Doctor of Sci. (Eng.), Professor, Professor of the Department of

кафедры высшей математики, Академия гражданской защиты МЧС России, Россия, 141435, Московская область, г. Химки, мкр. Новогорск, ул. Соколовская, стр. 1А; РИНЦ ID: 709088; Scopus Author ID: 56979008100; ORCID: 0000-0002-4037-1231; e-mail: a.rybakov@agz.50.mhs.gov.ru

Тугушов Константин Владимирович, кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры устойчивости экономики и систем жизнеобеспечения, Академия гражданской защиты МЧС России, Россия, 141435, Московская область, г. Химки, мкр. Новогорск, ул. Соколовская, стр. 1А; РИНЦ ID: 746486; e-mail: k.tugushov@amchs.ru

Казаков Вячеслав Юрьевич, кандидат технических наук, заместитель начальника кафедры аварийно-спасательных работ, Академия гражданской защиты МЧС России, Россия, 141435, Московская область, г. Химки, мкр. Новогорск, ул. Соколовская, стр. 1А; РИНЦ ID: 746464; e-mail: v.kazakov@amchs.ru

Higher Mathematics, The Civil Defence Academy EMERCOM of Russia, Sokolovskaya str., 1A, md. Novogorsk, Khimki, Moscow region, 141435, Russian Federation; ID RISC: 709088; Scopus Author ID: 56979008100; ORCID: 0000-0002-4037-1231; e-mail: a.rybakov@agz.50.mhs.gov.ru

Konstantin V. Tugushov, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Professor Departments (Sustainability of economics and life support systems), The Civil Defence Academy EMERCOM of Russia, Sokolovskaya str., 1A, md. Novogorsk, Khimki, Moscow region, 141435, Russian Federation; ID RISC: 746486; e-mail: k.tugushov@amchs.ru

Vyacheslav JU. Kazakov, Cand. Sci. (Eng.), Deputy Head of the Department of Emergency Rescue Operations, The Civil Defence Academy EMERCOM of Russia, Sokolovskaya str., 1A, md. Novogorsk, Khimki, Moscow region, 141435, Russian Federation; ID RISC: 746464; e-mail: v.kazakov@amchs.ru