

НАУЧНО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ  
**НАДЗОРНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ  
И СУДЕБНАЯ ЭКСПЕРТИЗА  
В СИСТЕМЕ БЕЗОПАСНОСТИ**  
№ 3–2023

### Редакционный совет

**Председатель** – кандидат технических наук, доцент генерал-лейтенант внутренней службы **Гавкалюк Богдан Васильевич**, начальник Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России.

**Сопредседатель** – доктор наук **Савич Бранко**, директор Высшей технической школы Нови Сад (Республика Сербия).

**Заместитель председателя** – доктор технических наук, доцент **Зыбина Ольга Александровна**, заместитель начальника Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России по научной работе.

**Заместитель председателя** – доктор наук **Милисавлевич Бранко**, профессор Высшей технической школы Нови Сад (Республика Сербия).

#### Члены редакционного совета:

доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки Российской Федерации **Ложкин Владимир Николаевич**, профессор кафедры пожарной, аварийно-спасательной техники и автомобильного хозяйства Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России;

доктор химических наук, профессор **Ивахнюк Григорий Константинович**, профессор кафедры пожарной безопасности технологических процессов и производств Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России;

доктор технических наук, профессор **Шарапов Сергей Владимирович**, профессор кафедры криминалистики и инженерно-технических экспертиз Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России;

доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки Российской Федерации **Чешко Илья Данилович**, ведущий научный сотрудник Научно-исследовательского института перспективных исследований и инновационных технологий в области безопасности жизнедеятельности Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России;

доктор наук **Бабич Бранко**, преподаватель Высшей технической школы Нови Сад (Республика Сербия);

доктор наук **Карабасил Драган**, профессор Высшей технической школы Нови Сад (Республика Сербия);

доктор наук **Петрович Гегич Анита**, профессор Высшей технической школы Нови Сад (Республика Сербия);

доктор наук (PhD), профессор **Агостон Рестас**, начальник Департамента противопожарной профилактики и предотвращения чрезвычайных ситуаций Института управления в чрезвычайных ситуациях (Республика Венгрия);

доктор технических наук **Мрачкова Ева**, профессор кафедры противопожарной защиты Технического университета г. Зволен (Республика Словакия);

кандидат технических наук полковник внутренней службы **Иванов Юрий Сергеевич**, первый заместитель начальника Научно-исследовательского института пожарной безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций (Республика Беларусь).

**Секретарь совета:**

майор внутренней службы **Болотова Полина Александровна**, редактор редакционного отделения редакционного отдела центра организации научно-исследовательской и редакционной деятельности Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России;

кандидат технических наук **Наташа Суботич**, профессор Высшей технической школы Нови Сад (Республика Сербия).

## **Редакционная коллегия**

**Председатель** – майор внутренней службы **Дмитриева Ирина Владимировна**, начальник редакционного отдела центра организации научно-исследовательской и редакционной деятельности Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России.

**Члены редакционной коллегии:**

кандидат педагогических наук **Кузьмина Татьяна Анатольевна**, доцент кафедры надзорной деятельности Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (ответственный за выпуск);

подполковник внутренней службы **Ильницкий Сергей Владимирович**, старший преподаватель кафедры надзорной деятельности Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России;

подполковник внутренней службы **Гайдукевич Александр Евгеньевич**, старший научный сотрудник отдела инновационных и информационных технологий в экспертизе пожаров Научно-исследовательского института перспективных исследований и инновационных технологий в области безопасности жизнедеятельности Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России;

кандидат технических наук, доцент полковник внутренней службы **Бельшина Юлия Николаевна**, начальник кафедры криминалистики и инженерно-технических экспертиз Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России;

кандидат технических наук, доцент подполковник внутренней службы **Бобров Александр Иванович**, заместитель начальника кафедры гражданской обороны, защиты населения и территорий (в составе учебно-научного комплекса гражданской обороны, защиты населения и территорий) Академии ГПС МЧС России;

кандидат технических наук, доцент **Кузьмин Александр Алексеевич**, доцент кафедры механики Санкт-Петербургского государственного технологического института (технологического университета);

доктор технических наук **Петра Танович**, профессор Высшей технической школы Нови Сад (Республика Сербия);

доктор наук **Хвайоунг Ким**, доцент отдела пожарной безопасности университета Кيونгил (Республика Корея);

кандидат технических наук **Навроцкий Олег Дмитриевич**, начальник отдела Научно-исследовательского института пожарной безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций (Республика Беларусь).

**Секретарь коллегии:**

старший лейтенант внутренней службы **Чурилина Валерия Валерьевна**, редактор редакционного отделения предпечатной подготовки редакционного отдела центра организации научно-исследовательской и редакционной деятельности Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России.

## СОДЕРЖАНИЕ

### **НАДЗОРНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ**

**Разумихин А.А., Курбанов Р.Ф., Цыренгармаева Ж.Л.** Обеспечение пожарной безопасности зданий за счет применения программного модуля на базе системы SCADA..... 4

### **ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ НА ТРАНСПОРТЕ И ОБЪЕКТАХ ИНФРАСТРУКТУРЫ**

**Лабинский А.Ю.** К вопросу оценки последствий чрезвычайных ситуаций..... 9

### **БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ**

**Мех В.А., Молодкина Л.М.** Воздействие компрессорной станции по транспортировке газа на окружающую среду..... 14

**Кужахметова Я.Н.** Анализ проведения поведенческого аудита безопасности на энергетическом предприятии..... 20

**Чипизубов Д.В.** Анализ производственного травматизма в строительной отрасли: связь смертельного травматизма с ростом высотного строительства..... 26

**Полугодина И.А., Политаева Н.А.** Анализ влияния микропластика на организм человека..... 32

**Авторам журнала «Надзорная деятельность и судебная экспертиза в системе безопасности»** ..... 38

Полная или частичная перепечатка, воспроизведение, размножение либо иное использование материалов, опубликованных в журнале «Надзорная деятельность и судебная экспертиза в системе безопасности», без письменного разрешения редакции не допускается

**ББК Н96С+Ц.9.3.1+Х.5  
УДК 349**

Отзывы и пожелания присылать по адресу: 196105, Санкт-Петербург, Московский пр., 149. Редакция журнала «Надзорная деятельность и судебная экспертиза в системе безопасности», тел. (812) 645-20-35. E-mail: [redakziaotdel@yandex.ru](mailto:redakziaotdel@yandex.ru). Официальные интернет-сайты научно-аналитического журнала: [WWW.ND.IGPS.RU](http://WWW.ND.IGPS.RU), <http://journals.igps.ru>.

Официальный интернет-сайт Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России: [WWW.IGPS.RU](http://WWW.IGPS.RU).

# НАДЗОРНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

Научная статья

УДК 614.84; DOI: 10.61260/2304-0130-2023-3-4-8

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ЗДАНИЙ ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОГРАММНОГО МОДУЛЯ НА БАЗЕ СИСТЕМЫ SCADA

✉Разумихин Алексей Александрович;

Курбанов Рашид Фаридович;

Цыренгармаева Жаргалма Лубсановна.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия

✉alrazumikhin@yandex.ru

*Аннотация.* Рассматривается стационарная система автоматического пожаротушения с применением отказоустойчивого оборудования, а также информационной платформы – SCADA/HMI DataRate™, способствующей постоянной визуализации данных, их контролю и мониторингу, осуществлению непосредственного контроля за технологическими процессами и управлению ими в текущем моменте, формированию и генерации отчетов по соответствующим позициям, разработке и применению систем диспетчеризации, а также выполняющая и другие немаловажные функции по обеспечению связи между внутренними персональными пользователями, внешними приложениями и т.д. В ходе проделанной работы выделены основные характеристики и особенности автоматизированных систем пожаротушения и дымоудаления.

*Ключевые слова:* автоматическая система пожаротушения и дымоудаления, пожарная автоматика, система мониторинга и управления дымоудалением, средства визуализации данных, персональный компьютер, системы диспетчеризации, пожарная безопасность

**Для цитирования:** Разумихин А.А., Курбанов Р.Ф., Цыренгармаева Ж.Л. Обеспечение пожарной безопасности зданий за счет применения программного модуля на базе системы SCADA // Надзорная деятельность и судебная экспертиза в системе безопасности. 2023. № 3. С. 4–8. DOI: 10.61260/2304-0130-2023-3-4-8.

Автоматические системы пожаротушения и дымоудаления играют особую роль не только для зданий и сооружений с массовым пребыванием людей, но и для каждого объекта защиты. Как правило, прибытие пожарных с момента начала возгорания, так или иначе, требует определенного времени, что влияет на ход дальнейших событий. Система пожарной автоматики необходима для своевременного устранения очагов возгорания, снижения экономических потерь, а также уменьшения риска гибели людей и минимизации потерь на объекте защиты.

За последние несколько лет количество пожаров в стране уменьшилось, но, несмотря на это, показатель смертности при пожарах характеризуется негативной тенденцией, о чем свидетельствуют данные ежегодного статистического сбора ФБГУ ВНИИПО МЧС России. Основными причинами пожаров являются неисправности освещения, электросварочного оборудования, электроприборов, короткие замыкания и другие причины. Актуальность вопроса по обеспечению пожарной безопасности различных многоэтажных объектов с массовым пребыванием людей на данном этапе экономического и социального развития имеет особую важность, так как именно эти объекты могут повлечь за собой не только большие экономические потери, но и невозполнимые человеческие жертвы [1].

Для того чтобы исключить риск, связанный с гибелью сотрудников и посетителей на каком-либо объекте, важно не только установить на данном объекте системы пожарной безопасности, но и своевременно их обслуживать. Кроме того, не меньшее значение должно уделяться таким механизмам, как: координирование по эвакуации, удаление дыма, автоматическое реагирование на дым, тушение огня и др.

На фоне подобных систем пожарной безопасности выделяется система с автоматизированной характеристикой, улучшенной платформой – SCADA/HMI DataRate™, а также с безотказным оборудованием. Преимущественно посредством этой платформы происходит передача информационных данных и мониторинг за всеми технологическими процессами деятельности. Благодаря такой системе удается снизить риск несчастных случаев на объекте, уменьшить финансовые потери за счет своевременной ликвидации очагов возгорания и свести уровень опасности к минимуму [2, 3].

Таким образом, ключевой функционал системы SCADA/HMI DataRate™ направлен на визуализацию, мониторинг и контроль необходимых групп данных, формирование и обновление отчетов по соответствующим позициям, осуществление непосредственного контроля и управления в настоящем времени за технологическим процессом, а также выполнение других функций, направленных на обеспеченность объекта необходимой информацией [4].

При этом процесс автоматического пожаротушения представляет собой ряд упорядоченных действий:

- обнаружение пожара с помощью предназначенных для этого средств (инфракрасные каналы, двухканальные телевизионные камеры);
- установление места возникновения пожара при помощи условных пространственных координат, определяемых в соответствии с расположением средств обнаружения;
- подача, распыление средства огнетушения и контроль данного процесса с учетом всех особенностей (гравитации, места, состава средства), используя видеоканалы, сигналы о возникновении ошибок в направлении или объеме и корректирующие их [5].

Индивидуальные характеристики и преимущества автоматических систем DataRate для удаления дыма и ликвидации огня представлены на рис. 1, 2.



Рис. 1. Характеристики DataRate, обеспечивающие возможность построения автоматизированной системы управления пожарной автоматики



Рис. 2. Особенности автоматизированных систем пожаротушения и дымоудаления

Таким образом, система работает автономно, без взаимодействия с человеком и способна самостоятельно реагировать на возникающие угрозы и возгорания. Высокая надежность оборудования влечет за собой отсутствие необходимости в обслуживающем персонале, а вследствие и расходов на его обеспечение.

Так как система может выполнять свои функции автоматически, без какого-либо вмешательства, и способна самостоятельно реагировать на возникновение пожара, ее настройки или проблемы иного характера вполне могут решаться дистанционно, посредством компьютерного оборудования.

Работа системы SCADA представлена на рис. 3.

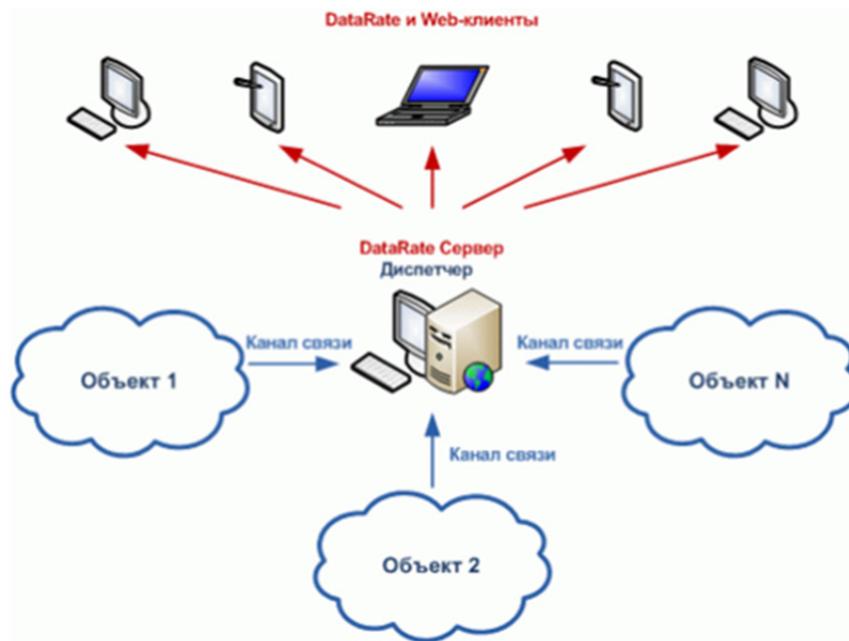


Рис. 3. Структура работы системы SCADA в общем виде

На основании рис. 3 можно сделать вывод, что для рабочего процесса системы SCADA характерно обеспечение возможностями мониторинга, контроля и управления конкретного объекта данной структуры за другими объектами, что объясняется интегральной основой взаимодействия.

Для автоматического управления пожарными системами и оборудованием разработана система, представленная на рис. 4.

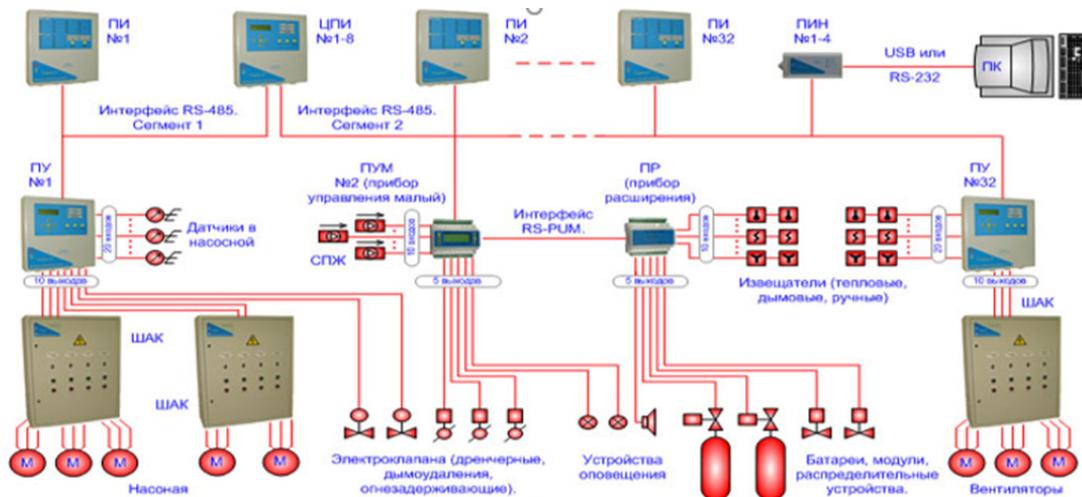


Рис. 4. Структура системы «Спрут-2»

Система «Спрут-2» полностью автономна и способна обнаруживать пожар, а также его нейтрализовать без посторонних сил и вмешательства человека. В состав системы «Спрут-2» входят: насосная, электроклапана, устройства оповещения, батареи, модули, распределительные устройства, вентиляторы, извещатели, серверные станции и прочее [3, 6].

Далее, на рис. 5 представлены основные функции системы пожарной безопасности и пожаротушения SCADA.

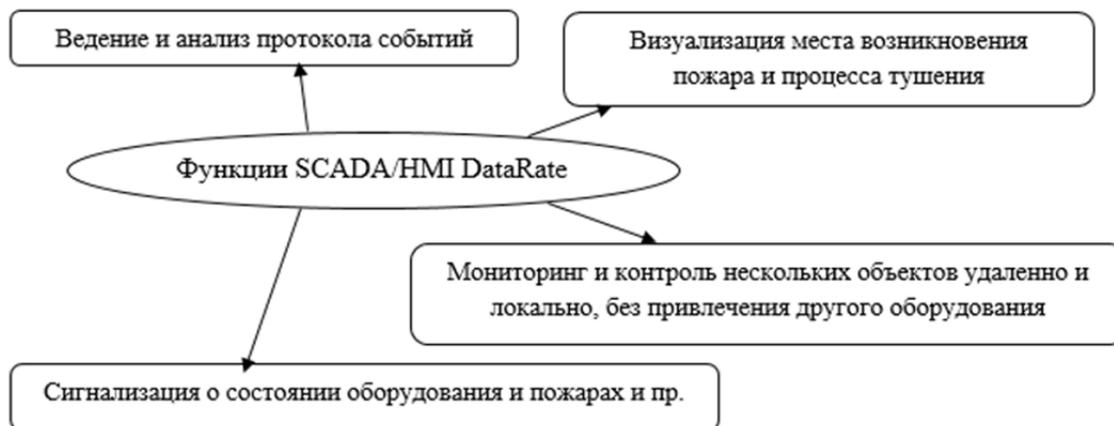


Рис. 5. Основные функции системы пожарной безопасности и пожаротушения SCADA/HMI DataRate

Также разработана система мониторинга и управления дымоудалением, которая предназначена для применения в многоквартирных домах и необходима для удаления продуктов горения при пожаре, а также в целях ограничения распространения пожара. Данная система гарантирует безопасность людей при эвакуации во время пожара. Система дымоудаления (СДУ), то есть система мониторинга и управления дымоудалением, является одним из важнейших аспектов в обеспечении пожарной безопасности объекта защиты [7, 8].

Таким образом, при совокупном применении СДУ и системы пожаротушения, помимо минимизации экономических потерь, минимизируется также и риск угрозы жизни человеку, в том числе из-за отравления угарным газом.

Надежная и качественная система противопожарной защиты способствует обеспечению необходимого уровня пожарной безопасности, снижению рисков и возможных последствий. На современном этапе достижение полного обеспечения защиты объекта требует автоматизации данного процесса, а также применения высококачественных, точных и надежных технологий и программных продуктов.

На основании SCADA разрабатываются и применяются на различных объектах системы диспетчеризации, необходимые для осуществления сплошного контроля аспектов, требующих особого внимания [9].

Так, посредством внедрения платформы SCADA осуществляется непрерывный, бесперебойный, сплошной мониторинг объекта в целом: его безопасности, исправности, надежности, состояния оборудования и др., что способствует обеспечению необходимых условий защищенности объекта в режиме 24/7. Система может применяться как самостоятельная единица. Однако применение СДУ в комплексе с системами пожаротушения дает возможность не только практически исключить смерть людей из-за отравления угарным газом, но и потушить пожар, минимизировать материальные потери [10].

#### Список источников

1. Пожары и пожарная безопасность // Статистический сборник. Статистика пожаров и их последствий: стат. сборник. М.: ВНИИПО МЧС России, 2022.
2. Полякова Е.В., Коротаев В.В. Программный модуль на базе систем SCADA для обеспечения пожарной безопасности зданий // Программная инженерия: современные тенденции развития и применения. 2019. С. 273–278.

3. SCADA DataRate. URL: <https://www.scadadatarate.ru> (дата обращения: 13.03.2023).
4. SCADA TRACE MODE. Российская SCADA система для АСУ ТП. URL: <http://www.adastra.ru> (дата обращения: 13.03.2023).
5. Александров А.М., Украинский О.В. Способ автоматического пожаротушения и автоматическая система для его осуществления. М., 2022.
6. Томакова Р.А. Методологические основы моделирования: учеб. пособие. Курск, 2018. 258 с.
7. Томаков М.В., Томаков В.И. Средства индивидуальной защиты людей при пожаре и техногенных авариях // Известия Юго-Западного гос. ун-та. Сер.: Техника и технологии. 2016. № 1 (18). С. 54–63.
8. Капушак К.И., Келлер А.И. Система аварийного дымоудаления: назначение, конструкция, принцип действий // Решетниковские чтения. 2022. С. 249–251.
9. Томаков М.В., Томаков В.И. Средства экстренной эвакуации (самоспасания) и индивидуальной защиты людей при пожарах: монография. Курск, 2015. 118 с.
10. Апальков В.В., Томакова Р.А. Епишев Н.Н. Основы моделирования цифровой обработки сигналов в среде MATLAB. Курск, 2015.

**Информация о статье:** статья поступила в редакцию: 28.04.2023; принята к публикации: 10.07.2023

*Информация об авторах:*

**Разумихин Алексей Александрович**, магистрант Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: [alrazumikhin@yandex.ru](mailto:alrazumikhin@yandex.ru)

**Курбанов Рашид Фаридович**, магистрант Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: [raschid7@mail.ru](mailto:raschid7@mail.ru)

**Цыренгармаева Жаргалма Лубсановна**, магистрант Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: [ztsyrengarmayeva@mail.ru](mailto:ztsyrengarmayeva@mail.ru)

# ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ НА ТРАНСПОРТЕ И ОБЪЕКТАХ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Научная статья

УДК 681.3; DOI: 10.61260/2304-0130-2023-3-9-13

## К ВОПРОСУ ОЦЕНКИ ПОСЛЕДСТВИЙ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

**Лабинский Александр Юрьевич.**

**Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия**

***Labinsciy@yandex.ru***

*Аннотация.* Рассмотрены опасные факторы при горении и взрыве нефтепродуктов, которыми являются воздушная ударная волна и тепловое излучение. Дана оценка последствий нарушений условий хранения и транспортировки (перевозки) горючих жидкостей и нефтепродуктов, вызванных процессами испарения и горения с последующим взрывом паров этих веществ. Выполнена оценка последствий формирования облака паровоздушной смеси, к которым относятся взрывное горение и распространение ударной волны. Рассмотрен пример расчета тротилового эквивалента паровоздушной смеси бензина для различной доли участия паров бензина во взрыве: от случая выделения паров при растекании бензина до случая формирования смеси бензина с воздухом при атмосферном давлении. Разработана математическая модель, и дана оценка размеров и времени существования облака паровоздушной смеси.

*Ключевые слова:* последствия чрезвычайных ситуаций, опасные факторы, нефтепродукты, горение, взрыв, ударная волна, тепловое излучение, облако паровоздушной смеси, математическая модель, компьютерная программа, расчет размера и времени существования

**Для цитирования:** Лабинский А.Ю. К вопросу оценки последствий чрезвычайных ситуаций // Надзорная деятельность и судебная экспертиза в системе безопасности. 2023. № 3. С. 9–13. DOI: 10.61260/2304-0130-2023-3-9-13.

### Введение

В настоящее время в результате чрезвычайных ситуаций возникают последствия, связанные с пожарами, взрывами, наводнениями, воздействиями радиации и другими вредными факторами, приводящими к заболеваниям и смерти людей. Вопросам предупреждения и ликвидации последствий аварий и катастроф, а также оценки технического риска посвящен ряд работ [1–11].

Экологическую безопасность некоторые авторы определяют как состояние устойчивого динамического равновесия биосферы. Другие авторы определяют экологическую безопасность как состояние защищенности природной среды и человека от возможных воздействий хозяйственной деятельности, чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера и их последствий. Для обеспечения экологической безопасности необходимы предотвращение возникновения техногенных чрезвычайных ситуаций и ликвидация их негативных последствий.

В данной статье рассмотрена оценка последствий нарушений условий хранения и транспортировки (перевозки) горючих жидкостей и нефтепродуктов, вызванных процессами испарения и горения с последующим взрывом паров этих веществ.

К нефтепродуктам относятся бензин, керосин, дизельное топливо, масла и другие парафиновые составляющие нефти. Для транспортировки нефтепродуктов используются магистральные трубопроводы (диаметр труб от 200 до 2 000 мм, давление 5–10 МПа) с резервуарами временного хранения (емкостью от 1 000 до 100 000 м<sup>3</sup>), а также железнодорожный (грузоподъемность цистерн от 60 до 120 т, емкость от 75 до 160 м<sup>3</sup>) и автомобильный (цистерны от 10 до 26 т, емкость от 6 до 30 м<sup>3</sup>) транспорт.

Причинами аварий на трубопроводах являются аварийные разрывы труб из-за дефекта сварного шва, разрушение компрессора, утечка газа. Последствиями аварий на трубопроводах являются пожары и взрывы.

Последствиями аварий на железнодорожном транспорте являются разливание нефтепродуктов и пожары. Ежегодно на железнодорожном транспорте происходит около 2 тыс. возгораний и пожаров [2]. При перевозке легковоспламеняющихся жидкостей (бензинов) возможны взрывы паровоздушной смеси [6].

Последствиями аварий на автомобильном транспорте также являются разливание нефтепродуктов и пожары, а также взрывы паровоздушной смеси легковоспламеняющихся жидкостей, например, бензинов [3].

Была поставлена задача, результаты решения которой представлены в данной статье: *необходимо выполнить оценку последствий чрезвычайных ситуаций, связанных с горением и взрывом нефтепродуктов, сопровождаемых взрывным горением и распространением ударной волны.*

Новизна исследования заключается в подробном описании опасных факторов горения и взрыва, оценке последствия формирования облака паровоздушной смеси и создании математической модели взрывного горения облака горючей смеси, которая позволила выполнить расчет тротилового эквивалента смеси паров бензина с воздухом.

### **Опасные факторы при горении и взрыве нефтепродуктов**

Взрывоопасная смесь паров нефтепродуктов с воздухом может быть сформирована как внутри резервуара, так и на открытом воздухе. Условием возгорания и взрыва служит формирование паровоздушной смеси с концентрацией, достаточной для горения и взрыва в случае наличия стороннего источника энергии или при достижении температуры смеси температуры самовоспламенения [7]. Методы оценки последствий взрывного горения паровоздушной смеси изложены в работах [4–7].

При взрывном горении паровоздушной смеси возможны следующие последствия:

- взрыв облака паровоздушной смеси;
- взрывное горение облака в атмосфере;
- пожар нефтепродуктов на земле.

При этом возможно возникновение следующих поражающих факторов, воздействующих на людей:

- при взрыве в атмосфере – воздушная ударная волна и тепловое излучение;
- при взрывном горении облака в атмосфере – воздушная ударная волна с более низким поражающим фактором и тепловое излучение с более высоким поражающим фактором, чем при взрыве в атмосфере;
- при пожаре на земле – большое выделение тепла с возможным поражением людей и воспламенением соседних объектов (например, резервуаров с нефтепродуктами).

Результат воздействия теплового излучения, вызывающего воспламенение веществ или поражение человека и животных, зависит от пороговых значений теплового потока, которые определяются величиной поглощенной тепловой энергии. Поглощенная тепловая энергия, в свою очередь, зависит от плотности теплового потока  $q$ , кВт/м<sup>2</sup> и времени облучения  $T_0$ , с. Энергия, необходимая для воспламенения вещества, зависит от его температуры и параметров (давление, влажность) атмосферы.

Примерные значения теплового потока и поражающий человека эффект:

- $q=1,0$  [кВт/м<sup>2</sup>] – эффект солнечного загара в жаркий летний день;
- $q=15,0$  [кВт/м<sup>2</sup>] – эффект появления волдырей на коже спустя 5 с.

### **Оценка последствия формирования облака паровоздушной смеси**

Вскрытие емкости с горючим газом или разливание сжиженного газа при аварии приводит к испарению жидкой фракции и формированию облака паровоздушной смеси. Далее может происходить возгорание паровоздушной смеси, что при определенных условиях может привести к взрыву.

Определяющими факторами развития аварийной ситуации являются условия формирования облака паровоздушной смеси, которое может воспламениться с некоторой задержкой. Процесс воспламенения облака паровоздушной смеси может происходить с различной длительностью:

- воспламенение облака паровоздушной смеси происходит немедленно;
- воспламенение облака паровоздушной смеси происходит с некоторой задержкой.

В первом случае формируется область горячей жидкой фракции газа. Во втором случае происходит формирование облака паровоздушной смеси с возможным взрывным сгоранием, которое сопровождается образованием ударных волн.

При взрыве облака паровоздушной смеси фронт горения распространяется либо с ударной волной, либо с некоторой задержкой. При задержке скорость распространения фронта горения составляет от 10 до 300 м/с, и давление во фронте ударной волны может достигать от 10 до 100 кПа и более.

При совместном с ударной волной распространении фронта пламени происходит детонация – взрывное распространение фронта. При этом скорость распространения фронта горения составляет от 1 до 3 км/с и давление во фронте ударной волны может достигать 10 МПа и более. Различные препятствия на пути распространения пламени вызывают турбулизацию смеси и способствуют детонации паровоздушной смеси. Взрыв паровоздушной смеси может спровоцировать также сторонний источник энергии, например, искра.

Необходимая для взрыва облака паровоздушной смеси объемная концентрация горючей компоненты должна составлять от 5 % (пропан) до 30 % (водород).

### Математическая модель

Концентрация паров, вышедших из резервуара в атмосферу, определяется из уравнения состояния идеального газа:  $P \cdot V \cdot C = G \cdot R \cdot T$ , где  $P$  – давление в резервуаре, Па;  $V$  – объем резервуара, м<sup>3</sup>;  $C$  – концентрация газа (объемная доля);  $G$  – масса паров, кг;  $R$  – газовая постоянная;  $T$  – температура, К.

В случае взрыва облака смеси паров его тротиловый эквивалент по ударной волне будет равен [5]:  $G_{ТЭ} = 0,4 \cdot G \cdot Q_{ПВС} \cdot k / (0,9 \cdot Q_T)$ , где  $G$  – масса паров смеси, кг;  $Q_{ПВС}$  – удельная теплота сгорания единицы массы паровоздушной смеси (ПВС), кДж/кг;  $k$  – коэффициент, учитывающий долю участия газа во взрыве ( $0 < k \leq 1$ );  $Q_T$  – удельная теплота взрыва тротила, кДж/кг.

Коэффициент  $k$ , учитывающий долю участия газа во взрыве, может принимать следующие значения [5]:

- $k = 0,02 \div 0,1$  – газы при растекании легковоспламеняющихся жидкостей;
- $k = 0,1$  – газы, сжиженные охлаждением;
- $k = 0,5$  – газы, сжиженные под давлением;
- $k = 1,0$  – газы при атмосферном давлении.

Выполним расчеты тротилового эквивалента ПВС для различных значений коэффициента  $k$ , учитывающего долю участия пара во взрыве.

Рассмотрим чрезвычайную ситуацию, при которой из резервуара хранения бензина объемом 5 000 м<sup>3</sup> (диаметр 20 м, высота 18 м) в результате аварии вышло (потеряно) 0,15 % или 1 500 кг бензина.

Исходные данные: масса ПВС  $G = 1\,500$  кг, удельная теплота сгорания единицы массы ПВС (бензин)  $Q_{ПВС} = 45$  кДж/кг, удельная теплота взрыва тротила  $Q_T = 4,5$  кДж/кг. Результаты расчетов представлены на рисунке.

Расчеты показывают, что в случае взрыва облака смеси паров бензина с воздухом тротиловый эквивалент ПВС по воздушной ударной волне составит от 330 кг до 6 670 кг. Наименьшее значение тротилового эквивалента соответствует значению коэффициента участия газа во взрыве  $k=0,05$  (пары бензина, выделяющиеся при его растекании), а наибольшее значение соответствует  $k=1,0$  (пары бензина при атмосферном давлении).

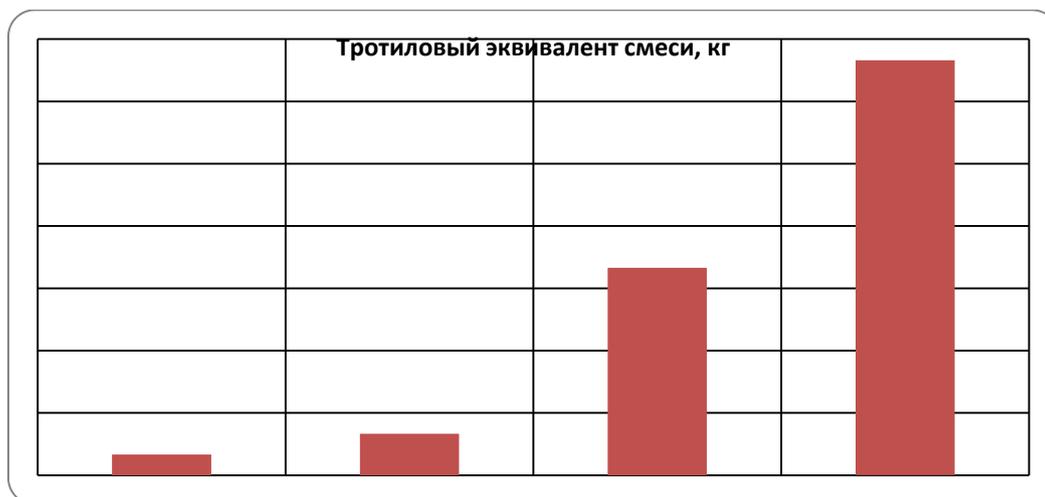


Рис. Тротиловый эквивалент ПВС в зависимости от значений коэффициента участия газа во взрыве

Рассчитаем время существования облака паровоздушной смеси для случая взрывного горения облака. Предположим, что облако имеет сферическую форму. Для такого облака значение поверхностной эмиссии излучения принимается равной  $200 \text{ кВт/м}^2$ . Радиус облака может быть определен по формуле [5]:

$$R = 29 \cdot \sqrt[3]{G} \text{ [м]},$$

где  $G$  – исходная масса паров ПВС, т.

Время существования облака паровоздушной смеси может быть определено по формуле [5]:

$$T = 4,5 \cdot \sqrt[3]{G} \text{ [с]}.$$

Расчеты показывают, что радиус облака равен 33,2 м, а время жизни облака ПВС с исходной массой паров 1 500 кг при взрывном горении составит 5,2 с.

### Вывод

В статье рассмотрены опасные факторы при горении и взрыве нефтепродуктов, которыми являются воздушная ударная волна и тепловое излучение. Выполнена оценка последствий формирования облака паровоздушной смеси, к которым относятся взрывное горение и распространение ударной волны. Рассмотрен пример расчета тротилового эквивалента паровоздушной смеси бензина для различной доли участия паров бензина во взрыве: от случая выделения паров при растекании бензина до случая формирования смеси бензина с воздухом при атмосферном давлении. Дана оценка размеров и времени существования облака паровоздушной смеси.

Тема статьи актуальна, так как пожары и взрывы нефтепродуктов приводят к большим материальным потерям и человеческим жертвам. Оценка последствий таких чрезвычайных ситуаций позволяет решать задачи предотвращения возникновения чрезвычайных ситуаций путем совершенствования методик расчета техногенного риска во время текущей деятельности организаций, осуществляющих переработку, транспортировку и хранение нефтепродуктов.

### **Список источников**

1. Кобылкин Н.И., Гельфанд Б.Е. Анализ и экспериментальное исследование причин взрывов цистерн и резервуаров при перегрузке нефтепродуктами // Проблемы управления рисками в техносфере. 2009. № 3.
2. Гавриленко С.Г. Статистика экстремальных ситуаций на железнодорожном транспорте // Информкуррьер-связь. 2012. № 4.
3. Максимов Д.Ю. Современные методы и средства борьбы с разливами нефти // Журнал технической физики. 2017. № 9.
4. Федотов В.Н. Влияние формы взрывающегося облака на параметры взрывной волны // Журнал РАН. 2011. № 9.
5. Методика оценки аварийных взрывов топливно-воздушных смесей: РД 03-409-01, Госгортехнадзор Рос. Федерации. 2011. URL: [ohranatruda.ru>upload/iblock/d90/4293840653.pdf](http://ohranatruda.ru/upload/iblock/d90/4293840653.pdf) (дата обращения: 12.07.2023).
6. Яковлев А.В. Последствия аварийных взрывов газоздушных смесей // Надежность. 2016. № 4.
7. Кривов А.С. Оценка рисков при перевозке нефтепродуктов железнодорожным транспортом. Томск: Труды ТПУ, 2017. № 2.
8. Самигулин Г.Х., Кадочникова Е.Н. Оценка пожарной опасности грузовых перевозок железнодорожным транспортом // Природные и техногенные риски. 2021. № 4.
9. Лабинский А.Ю. Использование нечеткой логики в оценке вероятности возникновения ЧС // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2017. № 1.
10. Лабинский А.Ю. К вопросу защиты от вредных факторов, сопутствующих ЧС // Природные и техногенные риски. 2018. № 1.
11. Лабинский А.Ю., Черных А.К., Тиамийу О.Л. Принятие решений при ликвидации последствий стихийных бедствий // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2021. № 1.

**Информация о статье:** статья поступила в редакцию: 02.08.2023; принята к публикации: 15.08.2023

*Информация об авторах:*

**Лабинский Александр Юрьевич**, доцент кафедры прикладной математики и информационных технологий Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат технических наук, доцент, e-mail: [Labinsciy@yandex.ru](mailto:Labinsciy@yandex.ru), <https://orcid.org/0000-0001-2735-4189>, SPIN-код: 8338-4230

# БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Научная статья

УДК 504.05; DOI: 10.61260/2304-0130-2023-3-14-19

## ВОЗДЕЙСТВИЕ КОМПРЕССОРНОЙ СТАНЦИИ ПО ТРАНСПОРТИРОВКЕ ГАЗА НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

✉ Мех Валерия Александровна;

Молодкина Людмила Михайловна.

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,

Санкт-Петербург, Россия

✉ [valeria\\_mekh\\_1999@mail.ru](mailto:valeria_mekh_1999@mail.ru)

*Аннотация.* Проведен анализ воздействия газокomppressorной станции на атмосферный воздух, объекты гидросферы и литосферы. На предприятии выявлены источники выбросов вредных веществ в атмосферу непрерывного, периодического и залпового действия. Рассчитан валовый выброс метана от газоперекачивающего агрегата и плата за негативное воздействие. Выявлены сбросы сточных вод через три водовыпуска. Рассчитан фактический сброс загрязняющих веществ в водный объект через выпуск № 3. Определена эффективность работы отстойного сооружения на водовыпуске № 3. Проведена инвентаризация отходов производства. Выявлены отходы 101 наименования, относящиеся к пяти классам опасности.

*Ключевые слова:* газокomppressorная станция, окружающая среда, негативное воздействие, атмосфера, гидросфера, накопление отходов

**Для цитирования:** Мех В.А., Молодкина Л.М. Воздействие компрессорной станции по транспортировке газа на окружающую среду // Надзорная деятельность и судебная экспертиза в системе безопасности. 2023. № 3. С. 14–19. DOI: 10.61260/2304-0130-2023-3-14-19.

### Введение

Компрессорные станции (КС) магистральных газопроводов (газокomppressorные станции – ГКС) представляют объединенные в единый комплекс сооружения и оборудование, которые служат для повышения давления сжатия газа. Компрессорные станции по своему назначению подразделяются на дожимные (головные), линейные КС магистральных газопроводов, нагнетательные обратной закачки газа в пласт и КС подземных хранилищ газа [1]. Рассматриваемая в работе ГКС относится к Приводинскому линейному производственному управлению магистральных газопроводов.

На газокomppressorных станциях находятся установки для очистки газа, компрессорные цеха, установки воздушного охлаждения, узлы сбора жидкости, емкости сбора конденсата и другие агрегаты, каждый из которых имеет свою специфику во влиянии на окружающую среду [2]. В системе транспорта газа именно ГКС относятся к основным объектам, оказывающим негативное влияние на все геосферы Земли (литосферу, атмосферу, гидросферу), а также на их подпространства (литобиосферу, гидробиосферу и тропобиосферу), составляющие биосферу. В свою очередь, сравнение воздействия на окружающую среду переработки, транспортировки и добычи природного газа показывает, что транспорт газа дает наибольший вклад в их негативное воздействие [3, 4]. Так, например, в 2019 г. объем выбросов загрязняющих веществ при транспортировке газа составил в нашей стране 1,67 млн т, в то время как от добычи и переработки газа ~ по 0,13 млн т. Водоотведение в водные объекты составило 5,5 млн м<sup>3</sup>, 1,3 млн м<sup>3</sup> и 0,2 млн м<sup>3</sup> соответственно, а динамика образования отходов – 142 тыс. т, 40 тыс. т и 22 тыс. т [5]. Таким образом, в вопросах негативного воздействия газовой отрасли России на окружающую среду газокomppressorным станциям отводится особое место.

*Целью работы* является анализ воздействия конкретной газокompрессорной станции на атмосферный воздух, объекты гидросферы и литосферы с расчетом уровня воздействия в объемном (массовом) и денежном выражении и определением образующихся на станции отходов.

При выполнении работы были использованы нормативные документы и методические материалы [6–11], а также данные, полученные в подразделениях предприятия, в том числе:

- проект нормативов предельно допустимых выбросов загрязняющих веществ;
- протоколы исследований выбросов химической лаборатории КС;
- данные о количестве часов наработки нормативно-правовых актов предприятия (сведения предоставлены диспетчерской службой предприятия);
- данные о количестве природного газа, использованного на собственные технологические нужды (сведения предоставлены диспетчерской службой предприятия);
- данные о количестве потерь природного газа при производстве работ на линейной части магистрального газопровода (сведения предоставлены диспетчерской службой предприятия);
- средняя плотность природного газа за период (данные химической лаборатории).

### Результаты исследования и их анализ

#### 1. Определение уровня воздействия ГКС на атмосферный воздух

При анализе источников выбросов загрязняющих веществ в атмосферу на рассматриваемой ГКС были выявлены источники непрерывного, периодического и залпового действия.

К источникам *непрерывного* действия отнесены газоперекачивающие агрегаты, системы уплотнения центробежного нагнетателя газоперекачивающего агрегата (ГПА), неплотности оборудования, аккумуляторных, канализационных очистных сооружений и подогревателей газа (в узле подготовки топливного импульсного газа).

К источникам *периодического* действия отнесены сварочные посты, открытые стоянки, пожарные депо, химические лаборатории, выбросы при нанесении лакокрасочных материалов, выбросы продуктов сгорания при проведении проверочных пусков аварийных дизельных и газовых электростанций.

К источникам *залповых* выбросов отнесены газораспределительная станция (осуществляющая продувки и стравливания природного газа), мобильные автомобильные газонаполнительные компрессорные станции, пылеуловители, адсорберы, конденсатосборники, сепараторы, вымораживатели, подогреватели, коллекторы.

Перечисленные источники выбрасывают в атмосферу 42 вида загрязняющих веществ всех классов опасности, которые могут образовывать 15 групп суммарного вредного воздействия.

Наибольший вклад в загрязнение атмосферного воздуха вносят выбросы метана.

Был произведен расчет выхлопных газов (природный газ) от ГПА ГКС за первый квартал 2021 г., который представлен в табл. 1. В расчете было учтено 39 ГПА, установленных в семи цехах.

Таблица 1

#### Расчет валового выброса выхлопных газов от газоперекачивающих агрегатов ГКС за первый квартал 2021 г.

Природный газ (метан)	Формула	Итого (т/квартал)
Валовый выброс из одного источника	$V_M = C_M * V_C * t$	481,7

*Примечание:*  $V_M$  – валовый выброс (тонн/квартал);  $C_M$  – средняя концентрация метана в сухих продуктах сгорания ( $mg/m^3$ );  $V_C$  – объем выброса выхлопных газов из одного источника ( $nm^3/сек$ );  $t$  – время (с).

Также был выполнен расчет платы за негативное воздействие выбросов природного газа (метана) от работы оборудования (работа ГПА) за первый квартал 2021 г. Итоговая сумма составила 56 184 672 руб.

В расчете были использованы следующие исходные данные:

1. Установленные выбросы (т) – 1 548,32.

2. Фактический выброс (т) – 481,693.

3. Ставка платы (руб./т) – 108.

4. Коэффициент к ставке платы за выброс в пределах Нормативов допустимых выбросов (НДВ ТН) ( $K_{нд}$ ) – 1.

5. Коэффициент к ставке платы за выброс в пределах ВРВ ( $K_{вр}$ ) – 25.

6. Коэффициент к ставке платы за выброс сверх ВРВ, НДВ ТН ( $K_{ср}/K_{пр}$ ) – 100.

7. Дополнительный коэффициент ( $K_{от}$ ) – 1.

8. Поправочный коэффициент ( $K_{инд}$ ).

2. *Определение уровня воздействия на водные объекты*

Анализ воздействия ГКС на объекты гидросферы показал, что КС осуществляет сброс сточных вод через три выпуска:

– р. Сиверуха (сброс сточных вод в р. Сиверуха);

– болото (без названия) (сброс сточных, в том числе дренажных вод, на сельскохозяйственные поля орошения);

– р. Сиверуха (сброс дренажных вод после системы водопонижения).

Река Сиверуха является правым притоком р. Удима (бассейн р. Малая Северная Двина). Водный режим реки характерен для рек Севера Европейской территории России, питание снего-дождевое. Протяженность реки – около 7 км. Ширина прибрежной защитной полосы равна ширине водоохранной зоны и составляет 50 м. Долина реки имеет неясно выраженную форму. Прилегающая местность преимущественно занята смешанным лесом, русло реки слабо-извилистое. Река Сиверуха имеет некоторый сток, в межсезонные периоды (летний и зимний) возможны периоды пересыхания и перемерзания. Река относится к водным объектам рыбохозяйственного значения второй категории.

Болото (без названия) относится к группе заболоченных земель, площадью до 1 000 м<sup>2</sup>. Основным водоснабжением являются атмосферные осадки. На прилегающей местности произрастает смешанный лес. Размеры водоохранной зоны не установлены. Водный объект относится к объектам рыбохозяйственного значения второй категории.

В работе был выполнен расчет фактического сброса загрязняющих веществ в водный объект р. Сиверуха (выпуск № 3), который представлен в табл. 2.

Для расчета использованы следующие исходные данные:

– объем сброса сточных и (или) дренажных вод (справка службы технического водоснабжения – ТВС);

– протоколы исследований сточной воды (данные химической лаборатории).

Таблица 2

**Расчет фактического сброса загрязняющих веществ  
в водный объект р. Сиверуха – выпуск № 3**

Наименование загрязняющих веществ	Годовой сброс	
	кг	т
Взвешенные вещества	40,3	0,04
Биологическое потребление кислорода (БПК) полн.	33,9	0,03
Нефтепродукты	0,4	0,0004

Также был выполнен расчет платы за сброс загрязняющих веществ в р. Сиверуха, результаты которого представлены в табл. 3.

**Результаты расчета платы за сброс загрязняющих веществ в р. Сиверуха в 2021 г.**

Наименование загрязняющего вещества	Сумма платы (руб./год)
Нефтепродукты	8,8
Взвешенные вещества	42,5
БПК полн.	8,9

Кроме того, проведен расчет эффективности отстойника (рис.) на выпуске № 3. Минимальные, максимальные и средние значения эффективности очистки представлены в табл. 4.

При расчете использованы следующие данные:

- объем сброса сточных и (или) дренажных вод (справка службы ТВС);
- протоколы исследований сточной воды (данные химической лаборатории по концентрации примесей в воде на входе в отстойник и на выходе из него).

**Эффективность работы отстойника на выпуске № 3**

Наименование загрязняющих веществ	Э min, %	Э max, %	Э ср., %
Взвешенные вещества	0	51,6	30,3
Нефтепродукты	0	44,7	29,3
БПК	0	62,5	31,8

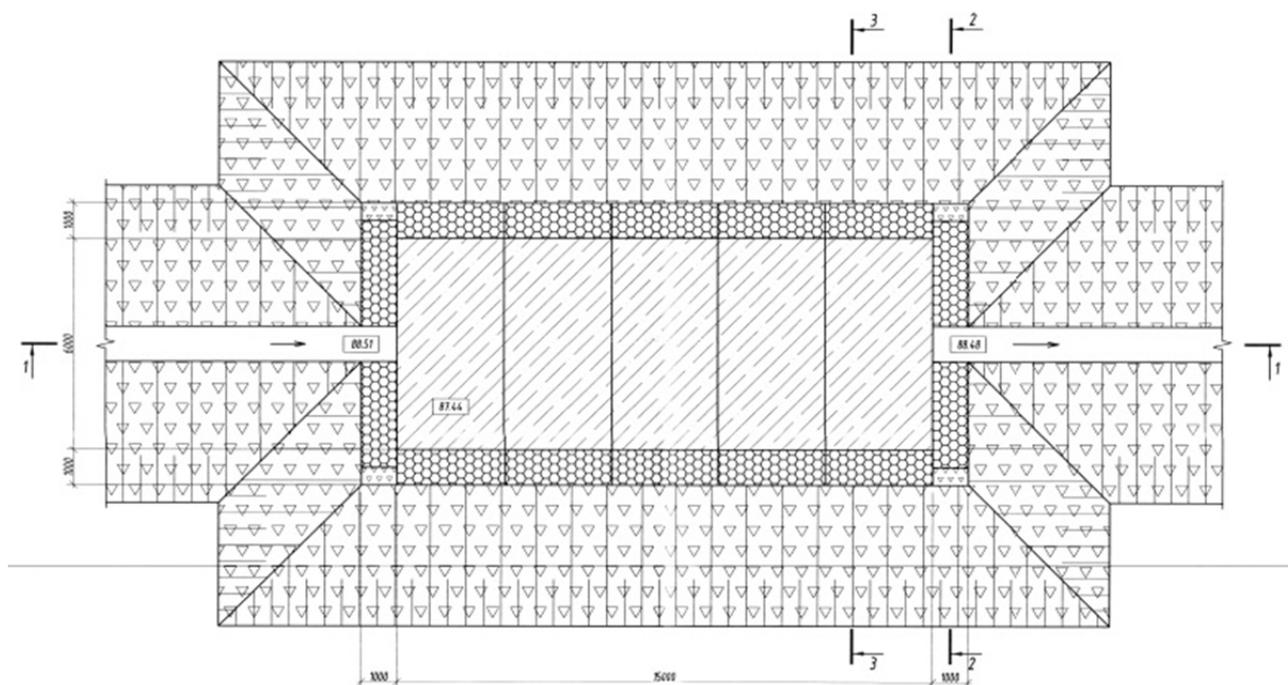


Рис. План отстойника

По результатам данных табл. 4 можно сделать вывод о неудовлетворительной работе данного сооружения, предназначенного для отстаивания сточных вод выпуска № 3.

**3. Инвентаризация отходов производства**

На территории ГКС имеются места для сбора и временного накопления отходов (контейнеры, ящики, ёмкости и отдельные складские помещения, площадки).

В результате производственной деятельности образуются отходы 101 наименования, которые подразделяются по классам опасности следующим образом:

- 1 класса опасности (2 вида отходов);
- 2 класса опасности (3 вида отходов);
- 3 класса опасности (21 вид отходов);
- 4 класса опасности (47 видов отходов);
- 5 класса опасности (28 видов отходов).

Все отходы, образующиеся в результате производственной деятельности ГПС – объекта негативного воздействия на окружающую среду второй категории, подлежат передаче специализированным организациям по договорам, имеющим соответствующие лицензии на осуществление деятельности по сбору, транспортированию, накоплению, обработке, утилизации, обезвреживанию и размещению отходов 1–4 классов опасности.

На балансе компрессорной станции имеется комплекс для термического обезвреживания отходов ИН-50.1М, на котором осуществляется обезвреживание отходов (4–5 класс опасности), образующихся в результате производственной деятельности объектов предприятия.

Обезвреживанию на ИН-50.1М подлежат следующие виды отходов:

- обтирочный материал, загрязненный нефтью или нефтепродуктами (содержание нефти или нефтепродуктов менее 15 %);
- спецодежда из натуральных синтетических, искусственных и шерстяных волокон, загрязненная нефтепродуктами (содержание нефтепродуктов менее 15 %);
- опилки и стружка древесная, загрязненная нефтью или нефтепродуктами (содержание нефти или нефтепродуктов менее 15 %).

### Заключение

Сравнение приведенных данных (по геосферам) свидетельствует о том, что наибольшее негативное влияние данная ГКС оказывает на атмосферу. Анализ влияния на объекты гидросферы необходимо продолжить с тем, чтобы оценить влияние водовыпусков №№ 1 и 2. Также в работе планируется разработка мероприятий по снижению негативного воздействия газоконпрессорной станции на все геосферы.

### Список источников

1. Компрессорная станция магистральных газопроводов. URL: <https://www.turbunist.ru/31606-kompressornaya-stanciya.html> (дата обращения: 12.12.2022).
2. Островская А.В. Экологическая безопасность газоконпрессорных станций. Ч. 2. Воздействие системы транспорта газа на окружающую среду: учеб. пособие. Екатеринбург: Изд-во Уральского ун-та, 2017. 151 с.
3. Шайдуллин Р.Р., Кострюкова Н.В., Елизарьев А.Н. Обеспечение безопасности на объектах газопереработки: сб. статей Всерос. науч.-практ. конф. Уфа, 2020. С. 121–125.
4. Разработка мероприятий по очистке сточных вод на газоконпрессорной станции / Э.А. Хасанова [и др.] // Наука, образование, производство в решении экологических проблем. (Экология-2021): материалы XVII Междунар. науч.-техн. конф.: в 2-х т. Уфа: Изд-во: Уфимского гос. авиационного техн. ун-та. 2021. Т. 1. С. 223–230.
5. О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2019 г. Государственный доклад. URL: [https://www.mnr.gov.ru/docs/gosudarstvennye\\_doklady](https://www.mnr.gov.ru/docs/gosudarstvennye_doklady) (дата обращения: 10.11.2022).
6. Методы расчетов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе: приказ Минприроды России от 6 июня 2017 г. № 273. Доступ из информ.-правового портала «Гарант».
7. СТО Газпром 2-1.19-058–2006. Инструкция по расчету и нормированию выбросов ГРС (АГРС, ГРП), ГИС. М., 2006.
8. Перечень методик, используемых в 2019 г. для расчета, нормирования и контроля выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух. СПб.: ОАО «НИИ Атмосфера», 2019.

9. Отраслевая методика по разработке норм и нормативов водопотребления и водоотведения в газовой промышленности. РАО «Газпром», ДАО «ВНИПИГаздобыча». М., 2016.

10. Об утверждении методических указаний по разработке проектов нормативов образования отходов и лимитов на их размещение: приказ Минприроды Рос. Федерации от 7 дек. 2020 г. № 1021. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

11. Сборник методик по расчету объемов образования отходов. СПб., 2000.

**Информация о статье:** статья поступила в редакцию: 06.02.2023; принята к публикации: 11.07.2023

*Информация об авторах:*

**Мех Валерия Александровна**, магистр Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого (195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29), e-mail: valeria\_mekh\_1999@mail.ru

**Молодкина Людмила Михайловна**, магистр Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого (195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29), e-mail: molodkina.lm@mail.ru, SPIN-код: 3014-8601

Научная статья

УДК 614.8; DOI: 10.61260/2304-0130-2023-3-20-25

## **АНАЛИЗ ПРОВЕДЕНИЯ ПОВЕДЕНЧЕСКОГО АУДИТА БЕЗОПАСНОСТИ НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ ПРЕДПРИЯТИИ**

**Кужахметова Яна Николаевна.**

**Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,**

**Санкт-Петербург, Россия**

*prohorenko98@mail.ru*

*Аннотация.* Обозначена проблема высокого уровня травматизма на производстве в России, несмотря на регулярно принимаемые меры, в связи с чем предложено мероприятие – проведение поведенческих аудитов безопасности на производствах, а конкретно в энергетической организации. В статье анализируются результаты проведения поведенческого аудита безопасности, проведенного на энергетическом предприятии за три квартала 2022 г. Для анализа полученных результатов рассчитываются количественные показатели: индекс опасных ситуаций и индекс Элмери, которые позволяют судить об эффективности проведения поведенческого аудита безопасности. При его регулярном проведении отмечаются снижение индекса опасных ситуаций и увеличение индекса Элмери, что свидетельствует о снижении выполнения опасных действий работников и повышению количества безопасных действий и условий.

*Ключевые слова:* безопасность, аудит, травматизм, несчастный случай

**Для цитирования:** Кужахметова Я.Н. Анализ проведения поведенческого аудита безопасности на энергетическом предприятии // Надзорная деятельность и судебная экспертиза в системе безопасности. 2023. № 3. С. 20–25. DOI: 10.61260/2304-0130-2023-3-20-25.

### **Введение**

Профессиональное заболевание или какое-либо неблагоприятное событие в сфере охраны труда на производстве неизбежны, всегда найдутся причины, которые приводят к печальной статистике. Именно поэтому необходимо определение эффективных мер по предотвращению и профилактике последствий несчастных случаев (НС) на рабочих местах.

Несмотря на регулярно принимаемые меры для предупреждения травматизма, НС по России продолжают происходить, в том числе несчастные случаи с тяжелыми последствиями [1].

В подавляющем большинстве случаев причиной НС на производстве становится человеческий фактор, неправильное выполнение тех или иных работ, пренебрежение правилами по охране труда [2]. Это и показывает актуальность данного исследования.

В общем смысле безопасность, в ее самом широком значении, оказывает наибольшее влияние на надлежащее функционирование предприятия. Обеспечение безопасности на производственном предприятии является сложным процессом и зависит от множества систем.

Именно человек, его знания и навыки, его мышление являются главным фактором в функционировании любой организации. Такое понимание функции человека может быть определено как культура безопасности труда [3–4].

Одни из первых предпосылок формирования данного понятия появились в области атомной энергетики после крупнейшей техногенной катастрофы на Чернобыльской АЭС.

В настоящее время в России с 2016 г. существует определение термина «культура безопасности», изложенное в документе INSAG-4: Культура безопасности – это такой набор характеристик и особенностей деятельности организаций и поведения отдельных лиц, который устанавливает, что проблемам безопасности АЭС, как обладающим высшим приоритетом, уделяется внимание, определяемое их значимостью [5].

Уровень культуры безопасности неразрывно связан с уровнем производственного травматизма. Переход на риск-ориентированный подход стал отправной точкой для смены показателей эффективности Системы управления охраны труда (СУОТ). И все чаще можно увидеть, что уровень культуры безопасности становится лидирующим среди показателей эффективности СУОТ. Исследования показали, что культурные механизмы играют значительную роль в возникновении крупномасштабных промышленных катастроф, связаны с показателями аварийности и количеством профессиональных заболеваний как на предприятиях, так и во всем обществе [6–8].

Целью данной работы является анализ проведения поведенческого аудита безопасности (ПАБ) на энергетическом предприятии за третий квартал 2022 г. с использованием индекса опасных ситуаций (ИОС) и индекса Элмери (ИЭ).

Для выполнения данной цели необходимо рассчитать количественные показатели индексов для определения эффективности проведения ПАБ.

### Методы исследования

Метод ПАБ выбран потому, что он позволяет выявить слабые и сильные стороны в системе управления охраной труда, немедленно воздействовать на опасную ситуацию. Данный метод не носит дисциплинарного характера, его целью является предотвращение производственного травматизма путем беседы с работниками и объяснения им тех или иных норм и правил. ИОС и ИЭ были использованы для того, чтобы количественно оценить влияние проведения ПАБ за определённый период.

ПАБ позволяет выявлять потенциальные угрозы на рабочих местах, которые ранее не были учтены, также он позволяет определить реальное мнение работников о состоянии охраны труда на производстве [9].

Для анализа проведения ПАБ была выбрана энергетическая организация, оказывающая услуги по передаче электроэнергии. Среднесписочная численность персонала организации составляет 169 чел. В среднем в одном структурном подразделении численность составляет 20 чел. В качестве объекта исследования были выбраны две оперативно-выездные бригады по обслуживанию распределительных сетей, каждая из которых состоит из двух человек: дежурный электромонтер и электромонтер с совмещением водителя. Каждая из бригад работает на разных объектах, но с одинаковым содержанием и условием проведения работ.

Процесс проведения ПАБ состоит из следующих этапов: подготовки, наблюдения, беседы с работником, оформления отчёта, принятия корректирующих мер и контроля. Результаты проведения ПАБ фиксируются в картах ПАБ.

По результатам проведения ПАБ, по выявленным опасным действиям и условиям были выявлены ИОС и ИЭ.

ИОС является показателем для анализа результатов проведения ПАБ [10].

ИОС и ИЭ вычисляются по формулам (1)–(3).

1. Индекс опасных ситуаций:

$$\text{ИОС} = \frac{\text{кол-во опасных действий} + \text{кол-во опасных условий}}{\text{кол-во сотрудников}} \quad (1)$$

При расчете ИОС определяется отношение общего количества опасных действий и условий к количеству работников, по которым осуществлялся аудит. То есть при вычислении ИОС получается число опасных действий и условий на одного сотрудника. Соответственно, уменьшение данного индекса за расчетный период говорит о положительной динамике поведения работников (снижается количество работников, которые пренебрегают правильным поведением на рабочем месте), либо об изменении условий труда (снижение на рабочих местах опасных условий). При увеличении ИОС – наоборот.

ИОС отражает динамику количества опасных ситуаций и является индикатором необходимости принятия своевременных корректирующих мероприятий [10].

2. Индекс Элмери:

$$ИЭ = \frac{\text{пункты "хорошо"}}{\text{пункты "хорошо"} + \text{пункты "плохо"}} \quad (2)$$

Для оценки ПАБ целесообразно использовать следующие обозначения:

- пункты «хорошо» – количество безопасных действий;
- пункты «плохо» – количество опасных действий.

С учетом предложенных изменений формула для вычисления ИЭ будет иметь следующий вид:

$$ИЭ = \frac{\text{кол-во безопасных действий}}{\text{кол-во безопасных действий} + \text{кол-во опасных действий}} \quad (3)$$

**Результаты исследования и их анализ**

Проведение ПАБ проходило в ежемесячный День охраны труда за третий квартал 2022 г. в период с января по сентябрь. В сумме за третий квартал было проведено девять ПАБ для каждой из бригад.

Основные факторы, которые были оценены при проведении ПАБ [11]:

1. Реакция работника.
2. Спецдежда.
3. Оборудование и инструменты.
4. Правила и инструкции.
5. Соблюдение норм промышленной санитарии и порядка.

Данные по выявленным опасным и безопасным действиям, опасным условиям и количеству работников по факторам представлены в табл. 1.

Таблица 1

**Данные по выявленным действиям и условиям**

Квартал	№ бригады	Кол-во наблюдаемых работников		Кол-во опасных действий	Кол-во опасных условий	Кол-во безопасных действий
		1 бригада	2 бригада			
1	1	2	2	32	23	56
	2			40	25	72
2	1			26	19	73
	2			32	20	86
3	1			21	15	80
	2			26	17	104
ВСЕГО	1			79	57	209
	2			98	62	262

По результатам проведения ПАБ за три квартала 2022 г. у первой бригады больше всего опасных действий было связано со спецдеждой: 36 из 79 опасных действий, что составляет 45,57 % (неправильное применение СИЗ, отсутствие проверки СИЗ перед применением, нахождение СИЗ в ненадлежащем состоянии, неправильное хранение СИЗ).

Реакция работника – 5 опасных действий; оборудование и инструменты – 26; правила и инструкции – 7; соблюдение норм промышленной санитарии и порядка – 5.

Для второй бригады: реакция работника – 9; спецдежда – 33; оборудование и инструменты – 35; правила и инструкции – 11; соблюдение норм промышленной санитарии и порядка – 10.

Расчеты индекса опасных ситуаций и индекса Элмери для первой и второй бригад представлены в табл. 2.

## Расчеты ИОС и ИЭ

Квартал	№ бригады	Кол-во наблюдаемых работников		ИОС	ИЭ
		1 бригада	2 бригада		
1	1	2	2	27,5	0,64
	2			32,5	0,64
2	1			22,5	0,74
	2			26	0,73
3	1	18	0,79		
	2	21,5	0,8		

При анализе результатов расчета ИОС и ИЭ отмечается снижение ИОС и у первой, и у второй бригад, что говорит о положительной динамике проведения ПАБ (рис. 1).

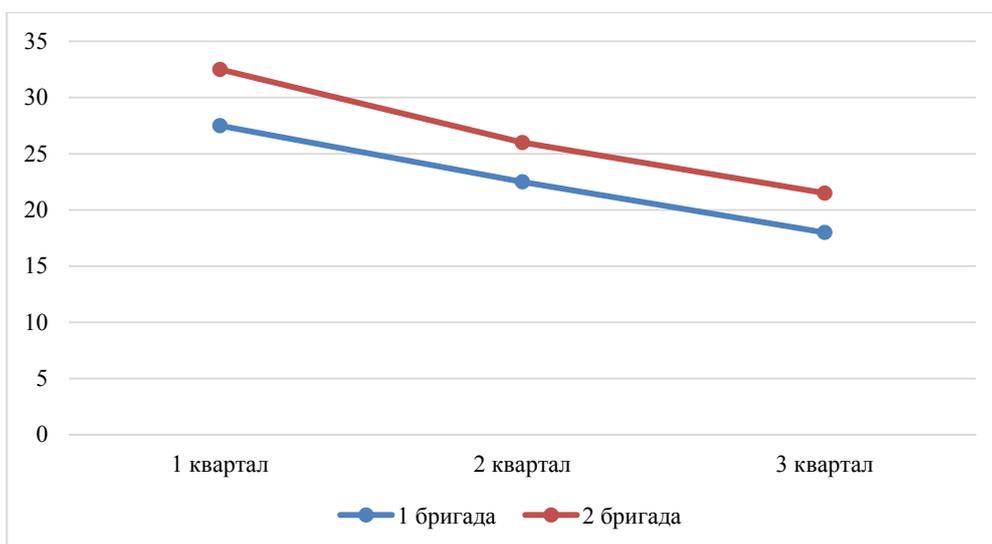


Рис. 1. Изменения ИОС

Снижение данного показателя происходит за счет корректирующих мероприятий, принятых как в процессе проведения поведенческого аудита безопасности, так и в последующем.

Основные мероприятия, которые были приняты:

- проведение разъяснительных бесед в ходе проведения ПАБ с указанием на опасные действия и условия и на последствия, к которым они могут привести;
- остановка работ из-за неисправного оборудования / из-за неправильного применения СИЗ;
- подача заявок на СИЗ;
- указание необходимым службам и отделам о снабжении бригад исправным оборудованием и СИЗ;
- поощрение работников, выполняющих безопасные действия;
- установка знаков безопасности на рабочих местах;
- практические уроки применения СИЗ.

Благодаря корректирующим мероприятиям, количество опасных условий и действий стало меньше.

На рис. 2 представлен график изменения индекса Элмери. По графику видно также положительную динамику изменения ИЭ, что показывает исправление нежелательного опасного поведения работников и эффективность принятых мероприятий.

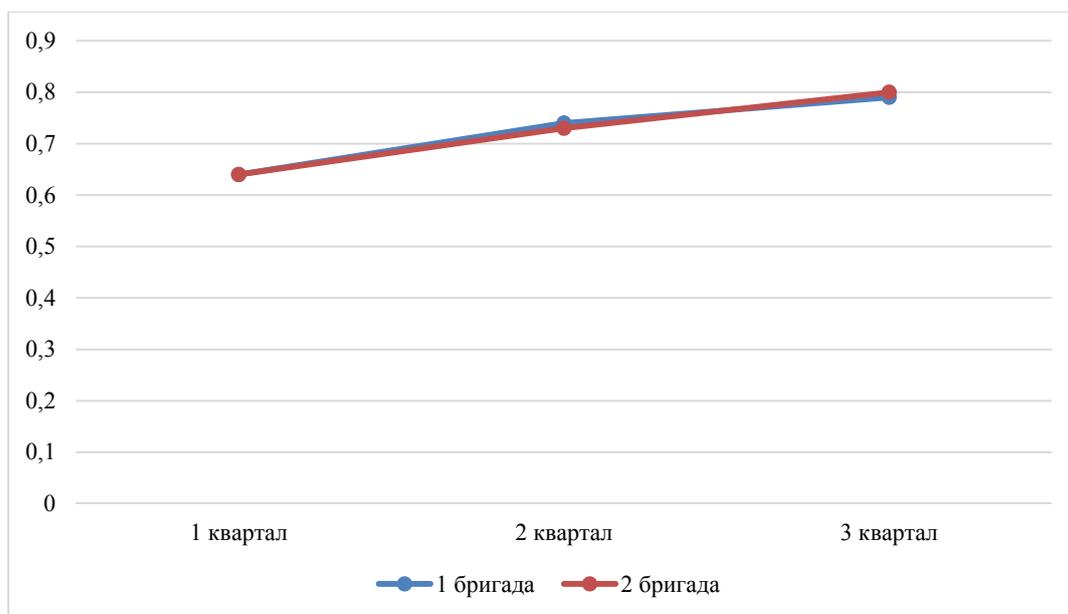


Рис. 2. Изменения ИЭ

Вычисленные индексы позволяют выявить сильные и слабые стороны СУОТ в рамках внутреннего поведенческого аудита безопасности, позволяют выявить опасные условия труда, определить вероятность риска получить травмы и выяснить возможные его последствия, а самое главное повысить культуру безопасности среди персонала работников путем проведения ПАБ.

В процессе проведения ПАБ при выявлении опасных действий работников были проведены разъяснительные беседы с указанием нарушений и способах их устранения.

### Заключение

Проведенное исследование позволило сделать выводы:

1. Выявленная положительная динамика ИОС и ИЭ указывает на то, что проведение ПАБ должно быть регулярным инструментом в области охраны труда.
2. Фактор «Реакция работника» занимает меньшее количество опасных действий, что может быть аргументировано тем, что со временем у работников произошла адаптация к аудитору, и это перестало вызывать страх.
3. Изменение количественных показателей (ИОС и ИЭ) носит линейный характер, то есть при увеличении частоты проведения ПАБ за месяц возможно снижение опасных условий и действий и повышение безопасных.
4. ПАБ является эффективной мерой влияния на поведение работников в процессе выполнения трудовых функций в лучшую сторону, что в долгосрочной перспективе может существенно уменьшить количество и тяжесть несчастных случаев.

### Список источников

1. Условия труда. URL: [rosstat.gov.ru/working\\_conditions](https://rosstat.gov.ru/working_conditions) (дата обращения: 10.12.2022).
2. Прыгунов П.В. Культура безопасности – приоритет производственной деятельности // Молодой ученый. 2019. С. 373–375.
3. Пономаренко Д.В., Лесных В.В., Панова М.А. Оценка и развитие культуры производственной безопасности в ПАО «Газпром» // Газовая промышленность. 2017. С. 78–80.
4. Ковальковская Н.О., Утюганова В.В., Сердюк В.С. Особенности внедрения культуры безопасности труда на машиностроительных предприятиях // Ученые Омска – Региону: материалы Регион. науч.-техн. конф. Омск: Омский гос. техн. ун-т. 2018. С. 100–105.

5. Общие положения обеспечения безопасности атомных станций: Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии от 15 февр. 2016 г. № НП-001-015 // Собр. законодательства Рос. Федерации. 2016.

6. Klimova E.V., Semeykin A.Y., Nosatova E.A. Prospects for the introduction of micro training in the occupational safety management system // Materials science and engineering: paper presented at the IOP conference series. 2020. № 753 (7).

7. Glebova E.V., Volokhina A.T., Vikhrov A.E. Development and implementation of methods for behavioral safety audit conducting in the fuel and energy complex // Earth and Environmental Science: paper presented at the IOP conference series. 2020. № 459 (3).

8. Examining the impact of abusive supervision on employees' psychological wellbeing and turnover intention: The mediating role of intrinsic motivation / K. Hussain [et al.] // Cogent business and management. 2020. № 7 (1).

9. Хайруллина Л.И., Крылатых И.С., Гурьянова Д.В. Осознанная безопасность как элемент поведенческого аудита на предприятии // Безопасность: информация, техника, управление. 2020. С. 42–45.

10. Проведение лидерского поведенческого аудита безопасности: стандарт предприятия СЭ-СТ-05/02. Нур-Султан, 2019.

11. Турсунов О.З. Особенности внедрения поведенческого аудита безопасности на производстве // Безопасность жизнедеятельности: наука, образование, практика. 2017. С. 263–266.

**Информация о статье:** статья поступила в редакцию: 20.02.2023; принята к публикации: 16.07.2023

*Информация об авторах:*

**Кужахметова Яна Николаевна**, магистр Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого (195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29), e-mail: prohorenko98@mail.ru

Научная статья

УДК 614.8; DOI: 10.61260/2304-0130-2023-3-26-31

## **АНАЛИЗ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ТРАВМАТИЗМА В СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ: СВЯЗЬ СМЕРТЕЛЬНОГО ТРАВМАТИЗМА С РОСТОМ ВЫСОТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА**

**Чипизубов Даниил Викторович.**

**Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,**

**Санкт-Петербург, Россия**

*chipizubov.dv@edu.spbstu.ru*

*Аннотация.* Рассмотрены основные причины травматизма в строительстве, а также связь роста травматизма с увеличением доли высотного строительства на основании статистических данных надзорных органов и данных с ресурсов статистической информации. Проведён анализ опубликованных исследований проблемы травматизма в строительстве, рассмотрены мероприятия в области снижения производственного травматизма на объектах строительства. Проанализирован основной нормативно-правовой акт, регулирующий выполнение работ на высоте, в котором выявлены некоторые недоработки, влияющие, главным образом, на безопасность работ на высоте. Предложены рекомендации к внесению дополнений в области выполнения работ на высоте, такие как разработка методик специализированного расчета нагрузки на анкерное устройство, выбора анкерных линий, а также внесение дополнений по определению минимально допустимого риска, нормируемый показатель которого на сегодняшний день не измерен.

*Ключевые слова:* строительство, травматизм в строительной отрасли, производственный травматизм, несчастный случай, падение с высоты

**Для цитирования:** Чипизубов Д.В. Анализ производственного травматизма в строительной отрасли: Связь смертельного травматизма с ростом высотного строительства // Надзорная деятельность и судебная экспертиза в системе безопасности. 2023. № 3. С. 26–31. DOI: 10.61260/2304-0130-2023-3-26-31.

### **Введение**

Во всем мире строительная отрасль приравнивается к самой опасной отрасли экономики, поскольку, несмотря на улучшение технического уровня производства и условий работ, количество несчастных случаев (НС) в отрасли ежегодно увеличивается.

Исследованиям травматизма в строительной отрасли посвящено множество отечественных и зарубежных работ. Авторы анализируют основные причины травматизма и пути его снижения. Некоторые из них отмечают, что травматизм в строительной отрасли связан с недостаточным контролем охраны труда (ОТ) на производстве со стороны контролирующих органов [1–2], другие – что главной причиной травматизма является человеческий фактор и безответственное поведение [3], однако большинство авторов приходят к выводу о воздействии совокупности факторов на возникновение НС [4–5]. Основными предложениями в области снижения травматизма в строительной отрасли авторы выделяют обучающие и профилактические мероприятия, основанные на изучении причин производственного травматизма в строительстве, в частности причин падения с высоты [6], разработки различных методов по прогнозу несчастных случаев, в том числе матрично-индексный подход к расчетам [7–8], а также рассматривают варианты внедрения концепции «нулевого травматизма» (Vision Zero) [9]. Концепция нулевого травматизма является одним из инновационных качественных методов по снижению производственного травматизма, авторы убеждены, что внедрение данной концепции на производстве в России позволит предупреждать возникновение несчастных случаев и добиться высокого уровня организации по обеспечению безопасности труда и гигиены труда работников различных отраслей [9].

Цель исследования состояла в изучении причин производственного травматизма в строительстве, связанного с выполнением работ на высоте, на основе их анализа и систематизации и выявления закономерности увеличения травматизма при росте высотного строительства в России.

## Методы исследования

В ходе исследования были использованы методы статистического анализа, методы математических расчетов, графический метод предоставления информации.

Для анализа травматизма в строительной отрасли были использованы статистические данные Росстата, Роструда, Национального объединения строителей (НОСТРОЙ), Единой межведомственной информационно-статистической системы (ЕМИСС), Единого ресурса застройщиков (ЕРЗ), а также отчетов Министерства Здравоохранения.

Результаты анализа представлены в виде таблиц и рисунков, что позволяет наглядно оценивать текущую ситуацию с травматизмом и его тенденцию.

## Результаты исследования и их анализ

Строительная отрасль в России динамично развивается, объем работ в 2021 г., по сравнению с 2020 г., вырос на 14 % и продолжит увеличиваться. Увеличение объемов работ будет связано со стратегическими целями, описанными в стратегии развития отрасли на 2030 г. (рис. 1) [10].

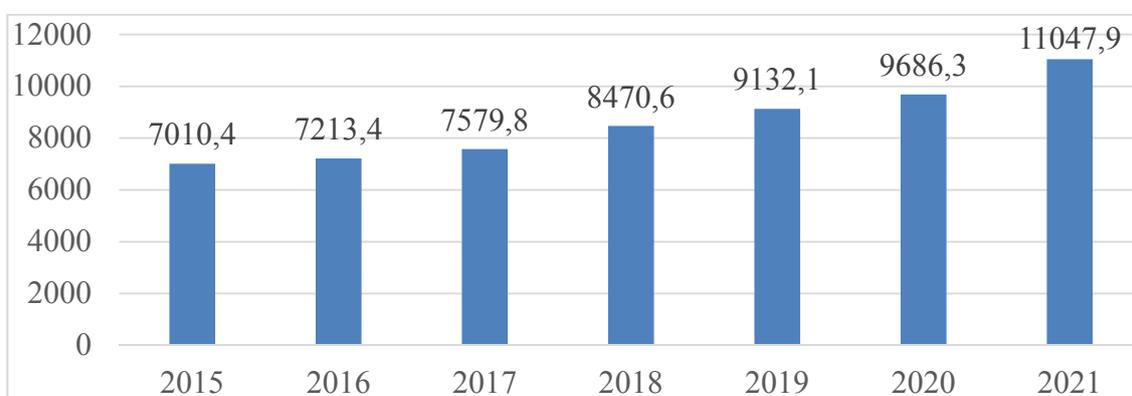


Рис. 1. Динамика объема строительных работ, млрд руб.

Среднегодовая численность занятых в строительстве также увеличивается, по данным ЕМИСС на 2021 г., данный показатель вырос на 5 % по отношению к 2020 г. (рис. 2) [11]. Однако, по словам экспертов, для выполнения объемов работ, планируемых в соответствии с национальными проектами развития, в строительной отрасли отмечается дефицит квалифицированных кадров. Для достижения поставленных целей, в соответствии со стратегией развития, численность занятых должна быть увеличена до 11,3 млн чел. (на 73 % относительно текущего года, то есть практически в два раза). В рамках данной цели наблюдаются определённые риски, связанные с таким большим набором людей. Эти риски сопряжены с недостатком квалифицированных кадров, отсутствие у новых работников квалификации может привести к еще большему росту травматизма.

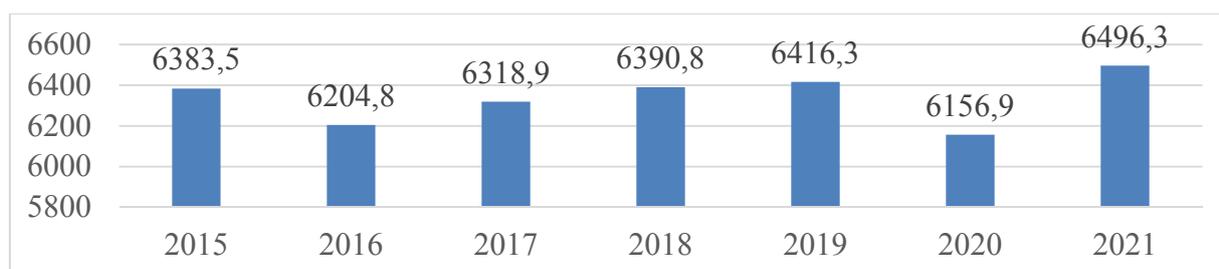


Рис. 2. Среднегодовая численность занятых в строительной отрасли, тыс. чел.

В табл. 1 представлена динамика смертельного травматизма в строительной отрасли. Как видно за последний год количество смертельных случаев на производстве выросло на 14 %, также увеличилось количество смертельных случаев в строительной отрасли на 1 % (рис. 3).

Таблица 1

### Динамика количества смертельных несчастных случаев в строительстве

Показатели	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.	Отклонение (2021 к 2020 г.), %
Общее количество смертельных случаев на производстве	2072	1722	1698	1613	1175	1350	+14
Количество пострадавших со смертельным исходом в результате зарегистрированных НС в строительстве	414	413	363	374	334	339	+1
Доля, %	20	24	21	23	28	25	-11

При этом наблюдается увеличение доли смертельных НС в строительстве в общем количестве смертельных случаев на производстве в стране, что говорит о том, что строительная отрасль остается самой опасной отраслью экономики.



Рис. 3. Динамика смертельных случаев на производстве, в частности в строительной отрасли

Основным видом тяжелых НС и случаев со смертельным исходом является падение с высоты. На данный вид НС приходится 33,4 % от всех НС в 2021 г., к сравнению – в 2020 г. доля составляла 31,6 % [12].

В 90 % случаев падение с высоты заканчивается смертельным исходом. При этом в большинстве случаев к смертельному исходу приводят падения с высоты 5 этажа – 16 % и свыше 10 этажа – 19 % [13].

По данным ЕРЗ, доля высотного строительства в общем объеме жилищного строительства ежегодно увеличивается и на 2021 г. составляет 26 % [14]. В статистику входят здания с высотой от 25 этажей. Средняя этажность домов наибольшая в Москве и составляет 27,1 этажа. На втором месте в России по средней этажности домов – Свердловская обл. (22,5 этажа), а также Республика Башкортостан (20,8 этажей), Новосибирская обл. (20,2) и Липецкая обл. (19,6).

На основании вышеприведенной статистики городов по доли высотного строительства предлагается рассмотреть динамику смертельного производственного травматизма в строительстве в этих городах (табл. 2).

Таблица 2

**Динамика смертельного производственного травматизма в городах  
с высокой долей высотного строительства**

Показатели	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.	Темп роста, (2021 к 2020 г.), %	Удельный вес, %
Количество пострадавших со смертельным исходом в результате зарегистрированных НС в строительстве	363	374	334	339	101	100
Москва	110	71	73	88	120	26
Московская обл.	12	17	12	5	0,04	1
Санкт-Петербург	4	18	21	15	0,7	4
Краснодарский край	6	9	4	2	0,5	1
Уфа (Республика Башкортостан)	3	14	6	4	0,66	1
Екатеринбург (Свердловская обл.)	1	8	6	2	0,33	1
Новосибирская обл.	4	3	2	3	1,5	1
Красноярский край	6	3	4	0	0	0

На основании табл. 2 можно сделать вывод, что рост НС наблюдается только в Москве и Новосибирская обл., в других городах и областях НС имеют тенденцию к уменьшению. Наибольшее снижение показывает Московская обл. – снижение на 96 % (на семь НС), также необходимо отметить снижение этого показателя в Санкт-Петербурге на 30 % (в абсолютном значении шесть НС).

Если рассматривать динамику НС в разрезе городов, лидирующих по объему строительства, то необходимо отметить, что доля смертельных случаев в строительстве в Москве равна 26 % от общего количества случаев в указанных городах, и с 2019 г. идет увеличение НС со смертельным исходом [12]. В 2021 г. рост количества НС здесь составил 20 % (в абсолютном отношении – 11 НС). Такой статистики нет ни в одном из представленных городов или областей.

Таким образом, можно видеть взаимосвязь между увеличением высотного строительства и количеством смертельных случаев в Москве. Можно предположить, что для ускорения сдачи объектов строительные предприятия и сотрудники пренебрегают техникой безопасности при выполнении строительных высотных работ.

Сбором статистических данных по несчастным случаям в строительстве занимается Ассоциация НОСТРОЙ, данная организация не только обобщает данные по производственному травматизму в строительстве, но также ведет статистику по основным причинам несчастных случаев.

Основными причинами травматизма, по данным НОСТРОЙ в 2021 г. являются:

1. Нарушение правил по ОТ при работе на высоте (неприменение страховочных систем, недостаточный контроль за подготовкой рабочего места и т.д.).
2. Нарушение правил по ОТ в строительстве (непроведение медосмотра, эксплуатация неисправного оборудования, неприменение средств защиты).
3. Одновременное нарушение требований нескольких нормативных актов, регулирующих отношения в области ОТ.

При падении с высоты половина НС происходит по причине нарушения правил при работе на высоте, НОСТРОЙ отмечает следующие основные причины падения в строительстве:

– работа на одной веревке (потеря контроля над спусковым устройством, отсутствие узла на конце веревки, выстегивание спускового устройства при вылетании в безопасное пространство);

- отсутствие страховки (падение в результате отсутствия страховки, неправильная страховка;
- разрушение анкерных линий (деформация анкерных точек, обрыв рабочей и страховочной веревки) [15].

Важно отметить, что с 1 января 2021 г. были внесены изменения в нормативные требования по охране труда при работе на высоте, утвержденные приказом от 16 ноября 2020 г. № 782н «Об утверждении Правил по охране труда при работе на высоте».

В соответствии с обновленным приказом разрешили проводить работы на высоте при скорости ветра более 15 м/с, грозе, тумане и с конструкциями большой парусности, при условии указания в п. 3 наряда-допуска мероприятий, снижающих воздействие неблагоприятных факторов до минимально допустимого риска [15]. Ранее существовал прямой запрет. При этом в правилах нет определения минимально допустимого риска или методики его расчета, или нормативного уровня. Не отмечается, на сколько могут снизить воздействие данных неблагоприятных факторов прописанные мероприятия, если они не помогут полностью исключить риск их воздействия. Таким образом, можно сделать вывод, что работодатели могут допускать ошибки при определении риска падения с высоты, тем самым допускать возникновение НС.

В соответствии с новыми требованиями в обновленных правилах по ОТ, ответственные лица должны проводить специализированный расчет параметров анкерной линии до начала выполнения соответствующих работ. Данное нововведение должно сократить количество НС, возникающих при разрушении анкерных линий [16].

Однако при изучении данного приказа было выявлено, что в нем не указано, каким образом нужно проводить данный расчет, и нет данных по выбору параметров анкерных линий.

Таким образом, можно предположить, что увеличение смертельных НС в Москве сопряжено не только с быстрыми темпами работ и пренебрежением техникой безопасности, а также с выявленными противоречиями в новых правилах.

Таким образом, можно подвести итог, что снижение травматизма в строительстве при работах на высоте возможно при доработке законодательных актов в области регулирования данных работ, а именно внесении методики специализированного расчета нагрузки на анкерное устройство, минимально допустимого риска (или нормативного значения риска).

### Заключение

Сопоставляя полученные результаты с результатами исследования других авторов, подтверждается, что строительная отрасль на сегодняшний день является самой опасной. Травматизм в строительстве не снижается. Это объясняется высокими темпами роста объемов строительства, увеличения занятых в строительстве. Лидирующим городом по объему строительства является на сегодняшний день Москва. Увеличивается доля высотного строительства по стране и в этом городе. Наибольшее количество НС со смертельным исходом приходится также на Москву – практически половина всех смертельных НС. Помимо этого, с 2019 г. в Москве идет динамика на увеличение смертельных НС. Таким образом, очевидна взаимосвязь между увеличением высотного строительства и количеством НС. Поскольку по данным Росстат и НОСТРОЙ, основным видом НС на протяжении трех лет остается падение с высоты, основными причинами которых является нарушение правил ОТ, можно предположить, что при высоком темпе застройки города пренебрегают техникой безопасности при работах на высоте. Увеличение смертельных НС в Москве сопряжено не только с быстрыми темпами работ и пренебрежением техникой безопасности, а также выявленными противоречиями в новых правилах ОТ. Для снижения производственного травматизма в строительной отрасли предложено внести изменения в правила по работе на высоте и по внесению специализированного расчета нагрузки на анкерное устройство, а также нормативных значений минимально допустимого риска и методики расчета минимально допустимого риска.

### Список источников

1. Arslan M., Cruz C., Ginhac D. Semantic enrichment of spatio-temporal trajectories for worker safety on construction sites // Paper presented at the Procedia Computer Science. 2018. № 130. P. 271–278. DOI: 10.1016/j.procs.2018.04.039.
2. Proximity warning and excavator control system for prevention of collision accidents / B. Jo [et al.] // Sustainability (Switzerland). 2017. № 9 (8). DOI: 10.3390/su9081488.
3. Variety of accident causes in construction industry: paper presented at the MATEC Web of Conferences / I. Othman [et al.]. 2018. DOI: 10.1051/mateconf/201820302006.
4. Themes and factors of construction safety management for system dynamic model interactions. A systematic review / N.A. Jasni [et al.] // Earth and Environmental Science: paper presented at the IOP Conference Series. 2019. № 385 (1). DOI: 10.1088/1755-1315/385/1/012055.
5. Is perception of safety climate a relevant predictor for occupational accidents? A prospective cohort study among blue-collar workers / J.Z.N. Ajslev [et al.] // Scandinavian Journal of Work, Environment and Health. 2018. № 44 (4). С. 370–376. DOI: 10.5271/sjweh.3723.
6. Волков И.И., Вахрушева О.М. Снижение уровня аварийности и травматизма в строительстве // Научные труды КУБГТУ. 2019. № 3. С. 321–327.
7. Шарманов В.В., Симанкина Т.Л. Матрично-индексный подход в вопросах оценки уровня травматизма на объектах строительства // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. 2020. № 1. С. 75–82.
8. Степанченко А.А., Шкрабак В.С. Нулевой травматизм в строительстве // Безопасный и комфортный город: сб. науч. трудов по материалам IV Междунар. науч.-практ. конф. 2020. С. 526–529.
9. Ланкова Л.А. Травматизм в строительстве: анализ причин падения работников с высоты // Наукосфера, 2022. № 4-2. С. 225–229.
10. Роструд. Сведения о видах (типах) несчастных случаев с тяжелыми последствиями. URL: [https://rostrud.gov.ru/control/soblyudenie-zakonodatelstva-o-trude/?CAT\\_ID=15047](https://rostrud.gov.ru/control/soblyudenie-zakonodatelstva-o-trude/?CAT_ID=15047) (дата обращения: 14.01.2023).
11. ЕМИСС. URL: <https://www.fedstat.ru/indicator/58994> (дата обращения: 14.01.2023).
12. Росстат. Строительство. URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/14458> (дата обращения: 14.01.2023).
13. Ларина О.П., Халабуда Е.И. Обеспечение безопасности при выполнении строительно-монтажных работ на высоте // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2019. № 4. С. 734–741.
14. Единый ресурс застройщиков Российской Федерации. URL: <https://erzrf.ru/novostroyki?noC=&region=moskva&regionKey> (дата обращения: 14.01.2023).
15. НОСТРОЙ. Годовой отчет. URL: <https://nostroy.ru/information-disclosure/godovoy-otchet-2021/> (дата обращения: 14.01.2023).
16. Об утверждении Правил по охране труда при работе на высоте: приказ от 16 нояб. 2020 г. № 782н. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

**Информация о статье:** статья поступила в редакцию: 20.02.2023; принята к публикации: 06.09.2023

*Информация об авторах:*

**Чипизубов Даниил Викторович**, магистр Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого (195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29), e-mail: [chipizubov.dv@edu.spbstu.ru](mailto:chipizubov.dv@edu.spbstu.ru), SPIN-код: 3598-4130

Научная статья

УДК 504.054; DOI: 10.61260/2304-0130-2023-3-32-37

## АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ МИКРОПЛАСТИКА НА ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА

✉Полугодина Ирина Андреевна;

Политаева Наталья Анатольевна.

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,

Санкт-Петербург, Россия

✉IrinaAndreevna\_98@mail.ru

*Аннотация.* Рассмотрены пути поступления микропластика в окружающую среду, в частности показано загрязнение мирового океана, его влияние на живые организмы, обитающие в континентальных водных просторах Финского залива и Ладожского озера. Представлена характеристика частиц микропластика, его использование в промышленности и его угрожающее влияние на организм человека через пищевую цепочку. С использованием методики исследования проб донных отложений был выполнен анализ содержания частиц микропластика в донных отложениях Ладожского озера. Были изучены пробы донных отложений, в результате исследования были выявлены частицы микропластика различной формы, цвета и размера. Для получения более точной информации о химическом составе частиц необходимо провести анализ с использованием ИК-спектрометра. Предложены способы борьбы с распространением микропластика в окружающей среде. Предусматривается дальнейшее исследование данной проблемы.

*Ключевые слова:* микропластик, загрязнение мирового океана, экологическая проблема, пластик, континентальные воды

**Для цитирования:** Полугодина И.А., Политаева Н.А. Анализ влияния микропластика на организм человека // Надзорная деятельность и судебная экспертиза в системе безопасности. 2023. № 3. С. 32–37. DOI: 10.61260/2304-0130-2023-3-32-37.

С развитием промышленности в нашу жизнь пришел пластик, как самый дешевый, износостойкий, прочный и легкий материал, в сравнении с другими (стеклом, металлом и т.п.). Огромная часть продукции в нашей стране и в мире в целом производится из пластика, он уже стал частью ежедневного обихода. Но сколько ресурсов затрачивается на производства пластика? А сколько на его дальнейшее уничтожение или разложение? Большинство пластиковой продукции не перерабатывается, а отправляется на полигоны твердых коммунальных отходов или на несанкционированные свалки. Одним из мест накопления пластмасс является мировой океан. Тонны пластикового мусора дрейфует в водах мирового океана, оказывая негативное влияние на морских обитателей, а потом и на человека. В течение последних нескольких лет ученые, общественные деятели и политики забили тревогу и начали предпринимать действия по очистке морских вод от мусора. Очистка от крупного мусора действительно оказывает положительное влияние, ведь некоторые животные гибли, запутываясь в упаковках, или были обезображены. Но оказалось, что очистить водный объект от крупного мусора недостаточно, ведь при разложении пластик распадается на микро- и нано- пластик. Микропластик поступает в водные объекты не только из мусора, но и из сточных вод производств, а также бытовых сточных вод. Многие производители косметики добавляют в состав своих косметических средств частицы микропластика: блестки, абразивные частицы в скрабах, зубных пастах и т.д. По данным Программы ООН, в окружающей среде пластиковые микрогранулы впервые появились в продуктах личной гигиены около пятидесяти лет назад, и пластик все чаще заменяет натуральные ингредиенты. Еще в 2012 г. эта проблема была относительно малоизвестна, поскольку на рынке было представлено множество продуктов, содержащих пластиковые микрогранулы, а потребители мало что знали об этом. Также микрочастицы пластика попадают в сточные воды при стирке изделий, в состав которых входят синтетические волокна. Таким образом, загрязнения частицами пластика несет за собой угрозу всем живым организмам, в том числе и людям, и окружающей среде в целом.

Аккумулируясь под воздействием биоты, микропластик вызывает множественные экологические последствия.

Но пока все были озабочены водами мирового океана, никто не задумывался о континентальных водах, а ведь в них тоже были обнаружены следы распада пластика. И тут вопрос встал более остро, ведь континентальные воды – это источники пресной воды, которую мы потребляем ежедневно. Так, в России были произведены исследования Институтом озероведения (ИНОЗ РАН) следующих водных объектов: Финского залива (вблизи Санкт-Петербурга) и Ладожского озера. В обоих объектах были найдены частицы микропластика.

Актуальность рассматриваемой проблемы подтверждается следующим фактором: новый тип загрязнения окружающей среды, микропластик, создает угрозу экологическому состоянию водных объектов и может оказывать влияние на организм человека как на локальном, так и на глобальном уровнях. Из-за того, что проблемой распространения микропластика компетентные природоохранные организации занялись сравнительно недавно, в настоящий момент не существует четких методов определения и анализа такого вида частиц в природных объектах [1–4].

Цель работы – изучение влияния микропластика на человека.

Пластик представляет собой искусственно синтезированные молекулярные соединения. Они сформированы из структурных повторяющихся звеньев – мономеров, которые затем связываются в длинные цепочки – полимеры. В свою очередь, его можно разделить на первичный и вторичный пластик. Основной проблемой микропластика является его маленький размер, от 1 мкм до 5 мм. И если частицы от 1 до 5 мм можно увидеть, то меньший размер можно обнаружить только под микроскопом (рис. 1, 2), поэтому распространение микропластика в биосфере происходит для человека совершенно незаметно. Микропластик имеет большое количество форм и видов, это могут быть палочки различных цветов, чаще всего встречаются синие и красные, лоскутки, длинные нити, гранулы и т.д. [5].

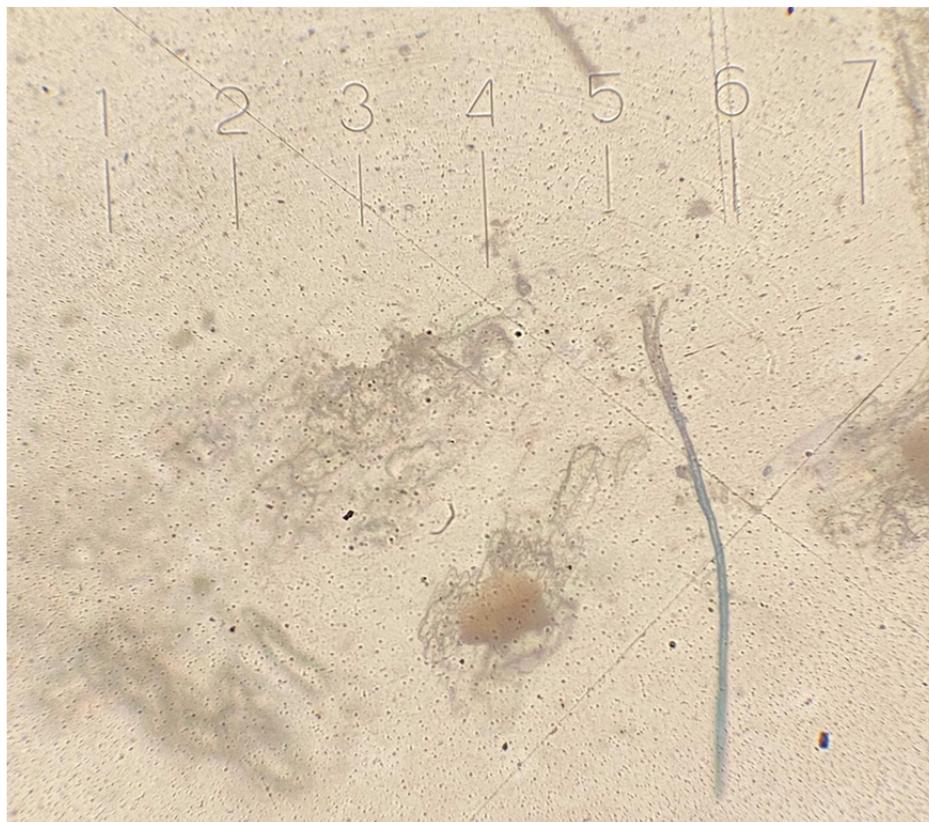


Рис. 1. Частица микропластика волокнистой формы синего цвета в пробе донных отложений Ладожского озера 2022 г.



**Рис. 2. Частица микропластика волокнистой формы синего цвета в пробе донных отложений Ладожского озера 2022 г.**

Первичный микропластик представляет собой частицы (микрогранулы) с определенными параметрами, которые производятся для добавления в различную продукцию. Они широко используются при производстве косметических средств, например, косметика с добавлением блесток или зубные пасты с абразивными частицами, использующиеся для отбеливания зубов и бытовой химии, в стиральных порошках для лучшего удаления пятен, в промышленности могут быть использованы как абразивы, применяемые для очистки загрязненных поверхностей зданий или технических средств, например, кораблей, также микрогранулы активно используются в 3D принтерах [1, 4].

Вторичный микропластик образуется путем распада крупных фрагментов пластика такие отходы как полиэтиленовые пакеты, одноразовая пластиковая посуда, бутилированные емкости и иные виды отходов, на микроскопические частицы под влиянием сочетания физических, химических и биологических процессов в окружающей среде [1]. Также примером вторичного микропластика может служить пыль, возникающая при трении шин автомобилей об дорожное покрытие, такой вид загрязнения распространяется как в атмосферном воздухе, так и попадает в ливневую канализацию, а далее в сточные воды города [6].

Микропластик может попасть в организм человека через органы дыхания, то есть человек будет находиться в зоне с загрязненным атмосферным воздухом, например, рядом с автомагистралью и/или через желудочно-кишечный тракт. Также частицы могут оседать на коже, а в последствие вдыхаются человеком или наносить микротравмы коже при механическом воздействии. Микропластик может попасть в желудок человека при употреблении его в пищу. Но откуда он там берется? Все вновь начинается с загрязненных вод мирового океана/континентальных вод, и образуется следующая пищевая цепочка (рис. 3).



Рис. 3. Пищевая цепочка в водной среде

Планктон является основой морской пищевой цепи, следовательно, его поглощают все морские обитатели, которых после потребляет и человек.

Кроме того, микропластик был обнаружен в питьевой воде, чайных пакетиках, кофе и моллюсках.

Основная опасность микропластика заключается в том, что он является отличным адсорбентом, что позволяет ему накапливать внутри себя различные вредные и токсичные вещества. При попадании загрязненных частиц пластика в пищеварительную систему любого живого организма, токсичные вещества высвобождаются и наносят вред здоровью, также частицы наносят механические повреждения, потому что являются твердыми абразивными объектами.

Подводя итоги, можно сказать, что микропластик является новой глобальной проблемой человечества. На данный момент не существует методов извлечения частиц пластика из окружающей среды, наносящего вред живым организмам, не подозревающим об этом, потому что микропластик – невидимый враг. Защитить себя можно, ограничив появление микрочастиц пластика, например, отказавшись от одноразовой посуды. Многие компании производят стильные многоразовые термкружки, бутылки, с ними можно прийти в кофейню и попросить приготовить свой любимый напиток в вашей кружке, необходимо избегать материалов с добавлением полимерных частиц, использовать многоразовые сумки вместо пакетов, отдавать предпочтение одежде из натуральных материалов, сортировать мусор.

#### Список источников

1. Исследование содержания частиц микропластика в воде, донных отложениях и грунтах прибрежной территории Невской губы Финского залива / Ш.Р. Поздняков [и др.] // Водные ресурсы. 2020. DOI: 10/31857/S0321059620040148.
2. Ivanova E.V., Pozdnyakov Sh.R., Tikhonova D.A. Analysis of microplastic concentrations in water and bottom sediments as a new aspect of ecological monitoring // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2021. № 834. DOI: 10.1088/1755-1315/834/1/012057.
3. Румянцев В.А., Поздняков Ш.Р., Крюков Л.Н. К вопросу о проблеме микропластика в континентальных водоемах // Российский журнал прикладной экологии. 2019.

4. Питулько В.М., Иванова В.В., Кулибаба В.В. Экологическая безопасность морских природно-хозяйственных систем Российской Прибалтики: монография. М.: Изд. центр ИНФРА-М, 2016. 317 с.
5. Донченко В.К., Иванова В.В., Питулько В.М. Эколого-химические особенности прибрежных акваторий. СПб.: Изд. НИЦЭБ РАН, 2008. 540 с.
6. Картрайт П.С. Новые проблемы загрязнения питьевой воды // Вода и водоочистные технологии. 2018. № 1 (87). С. 4–13.
7. Есюкова Е.Е., Багаев А.В., Мизюк А.И. Плавающий мусор на пляжах юго-восточной Балтики: наблюдения и численное моделирование // Региональная экология. 2017. № 1. С. 47–57.
8. Козловский Н.В., Блиновская Я.Ю. Микропластик – макропроблема мирового океана // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2015. № 10-1. С. 159–162.
9. Фейзуллаева Р.Э. Системный анализ проблемы роста пластиковых отходов и их отрицательного воздействия на экологию // Современные проблемы территориального развития. 2019. № 3. ID 94 ISSN: 2542-2103.
10. A review on microplastics and nanoplastics in the environment: Their occurrence, exposure routes, toxic studies and potential effects on human health / S. Sangkham [et al.] // Marine Pollution Bulletin. 2022. DOI: 10.1016/j.marpolbul.113832.
11. Microplastics as vectors of environmental contaminants: Interactions in the natural ecosystems / R. Iqbal [et al.] // Human and Ecological Risk Assessment. 2022. DOI: 10.1080/10807039.2022.2120846.
12. A critical review on the interactions of microplastics with heavy metals: Mechanism and their combined effect on organisms and humans / Y. Cao [et al.] // Science of the Total Environment. 2021. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.147620.
13. Airborne microplastics: A review study on method for analysis, occurrence, movement and risks / C.E. Enyoh [et al.] // Environmental Monitoring and Assessment. 2019. № 191 (11). DOI: 10.1007/s10661-019-7842-0.
14. Oxidation and fragmentation of plastics in a changing environment; from UV-radiation to biological degradation / A.L. Andrady [et al.] // Science of the Total Environment. 2022. № 851. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.158022.
15. Lambert S., Wagner M. Characterisation of nanoplastics during the degradation of polystyrene // Chemosphere. 2016. № 145. P. 265–268. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2015.11.078.
16. Distribution and potential health impacts of microplastics and microrubbers in air and street dusts from asaluyeh county, Iran / S. Abbasi [et al.] // Environmental Pollution. 2019. № 244. P. 153–164. DOI: 10.1016/j.envpol.2018.10.039.
17. Zobkov M., Esiukova E. Microplastics in Baltic bottom sediments: Quantification procedures and first results // Marine Pollution Bull. 2017. Vol. 114. P. 724–732.
18. Screening for microplastics in sediment, water, marine invertebrates and fish: method development and microplastic accumulation / T.M. Karlsson [et al.] // Mar. Pollut. Bull. 2017.
19. Microplastics in the Northwestern Pacific: Abundance, distribution and characteristics / Z. Pan [et al.] // Sci. Total Environ. 2019.
20. Methods for sampling and detection of microplastics in water and sediment: a critical review / J.C. Prata [et. al] // TrAC Trends Anal. Chem. 2019.
21. Accumulation of Microplastic on Shorelines Woldwide: Sources and Sinks / M.A. Browne [et al.] // Environmental Science & Technology. 2011. Vol. 45. Iss. 21. P. 9175–9179. DOI: 10.1021/es201811s.
22. Schymanskiab D., Goldbecka C., Humpf H.-U. Analysis of microplastics in water by micro-Raman spectroscopy: Release of plastic particles from different packaging into mineral water // Water Research. 2018. Vol. 129. P. 154–162. DOI: 10.1016/j.watres.2017.11.011.
23. Abbasi S., Turner A. Dry and wet deposition of microplastics in a semi-arid region (Shiraz, Iran) // Science of the Total Environment. 2021. № 786. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.147358.

24. Examination of the ocean as a source for atmospheric microplastics / S. Allen [et al.] // PLoS ONE. 2020. № 15 (5). DOI: 10.1371/journal.pone.0232746.
25. Geyer R., Jambeck J.R., Law K.L. Production, use and fate of all plastics ever, made // Sci. Adv. 2017.

**Информация о статье:** статья поступила в редакцию: 15.12.2022; принята к публикации: 01.07.2023

*Информация об авторах:*

**Полугодина Ирина Андреевна**, магистрант Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого (195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29), e-mail: IrinaAndreevna\_98@mail.ru

**Политаева Наталья Анатольевна**, профессор Высшей школы гидротехнического и энергетического строительства Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого (195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29), e-mail: politaeva1971@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-5914-6210>, SPIN-код: 9964-2034

---

---

# АВТОРАМ ЖУРНАЛА

## «НАДЗОРНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ И СУДЕБНАЯ ЭКСПЕРТИЗА В СИСТЕМЕ БЕЗОПАСНОСТИ»

---

---

К публикации принимаются оригинальные исследовательские и обзорные аналитические статьи, отвечающие профилю журнала, представляющие результаты завершеного научного исследования, выполненного на актуальную тему, обладающие научной новизной, имеющие практическое значение и теоретическое обоснование, оформленные в соответствии с требованиями.

Статья не должна быть ранее опубликованной и не поданной для рассмотрения в другие журналы. Все статьи проходят проверку в системе «Антиплагиат».

Статьи **обучающихся магистратуры, курсантов и студентов** принимаются **только в соавторстве с научным руководителем**.

**1. Материалы** для публикации представляются в редакцию журнала лично. Материал должен сопровождаться:

а) для **сотрудников** СПб университета ГПС МЧС России – *заключением* об отсутствии материалов, запрещенных к публикации в открытой печати, *рецензией от члена редакционного совета* (коллегии). По желанию прилагается вторая рецензия от специалиста соответствующего профиля, имеющего ученую степень;

б) для авторов **сторонних** организаций – *заключением* об отсутствии материалов, запрещенных к публикации в открытой печати, *рецензией* от специалиста по соответствующему статье профилю, имеющего ученую степень;

в) статья аспиранта (адъюнкта) или соискателя *отзывом научного руководителя*.

г) *электронной версией* статьи, представленной в формате редактора Microsoft Word (версия не ниже 2003). Название файла должно быть следующим:

Автор1, Автор2 – Первые три слова названия статьи.doc, например: **Иванов – Анализ существующей практики.doc**;

в) *плата* с адъюнктов и аспирантов за публикацию рукописей не взимается.

Издание осуществляет рецензирование всех поступающих в редакцию материалов с целью их экспертной оценки. Статьи рецензируются в обязательном порядке членами редакционной коллегии журнала. Основная цель рецензирования – предоставить редакции аргументированную информацию для принятия решения об опубликовании материала.

**2. Статьи**, включая рисунки и подписи к ним, список литературы, должны иметь **объем от 8 до 15 страниц**. По согласованию с руководством журнала статьи могут быть приняты и большего объема.

**3. Оригинальность** статей должна быть **не менее 70 %**.

**4. Текст статьи должен быть обязательно структурирован по разделам:**

### **Введение**

В разделе «Введение» проводится анализ состояния исследуемой проблемы по публикациям отечественных и зарубежных источников, на основании которого обосновывается актуальность исследования, формулируются цель и задачи исследования.

### **Методы исследования**

В разделе описываются применяемые в работе методы исследования, приводятся сведения об объектах исследования, измерительном оборудовании, описываются условия экспериментов и т.д. Возможно указание ссылок на работы с более подробным изложением методов, однако приводимого описания должно быть достаточно для понимания хода исследования.

При использовании стандартных (или известных) методов и процедур лучше сделать ссылки на соответствующие источники, не забывая описать модификации стандартных методов, если таковые имелись. Если же используется собственный новый метод, описание которого нигде ранее не было опубликовано, важно привести все необходимые детали. Если ранее описание метода было опубликовано в известном журнале, можно ограничиться ссылкой.

Допускается и иное название раздела, обусловленное спецификой исследования и подготовленной на его основе статьи, например «Материалы и методы исследования», «Модели и методы исследования», «Теоретические основы и методы расчета».

## **Результаты исследования и их анализ**

В разделе в логической последовательности излагаются результаты исследования, которые подтверждаются таблицами, графиками, рисунками. Здесь же проводится анализ и интерпретация полученных результатов, описываются выявленные закономерности, подтверждается достоверность результатов, проводится сопоставление собственных результатов с данными других исследователей.

### **Заключение**

В разделе излагаются основные выводы, подводится итог проделанной работы, обосновывается научная новизна полученных результатов, приводятся научно обоснованные рекомендации по их использованию, определяются основные направления дальнейших исследований в данной области.

Заключение содержит главные идеи основного текста статьи, но не должно повторять формулировок, приведенных в предыдущих разделах.

Список литературы должен содержать **не менее 10 источников** (из которых **не менее 30 % зарубежных**).

Для **ОБЗОРНЫХ аналитических статей** допускается иная структура статьи:

1. Введение.
2. Аналитическая часть.
3. Заключение.

В разделе «Аналитическая часть» должен быть представлен критический анализ и критическое обобщение актуальной исследовательской проблемы по отечественным и зарубежным научным источникам (**не менее 25 источников**, из которых **не менее 50 % зарубежных**) с оценкой их научной новизны и оригинальности. Результаты критического анализа и обобщения рекомендуется подтверждать сравнительными таблицами, графиками, рисунками. В статье также должны быть отражены дискуссионные (проблематичные) вопросы.

Допускается разбиение разделов «Методы исследования», «Результаты исследования и их обсуждение», «Аналитическая часть» на несколько логически связанных подразделов.

### **5. Оформление текста:**

а) текст материала для публикации должен быть тщательно отредактирован автором;  
б) текст на одной стороне листа формата А4 набирается на компьютере (шрифт Times New Roman 14, **интервал 1,5**, без переносов, в одну колонку, **все поля по 2 см**, нумерация страниц внизу посередине);

в) на первой странице авторского материала должны быть напечатаны: тип статьи (научная, обзорная, редакционная, дискуссионная, рецензия и т.п.), УДК (универсальная десятичная классификация), **на русском и английском языках** название (прописными буквами, полужирным шрифтом, без подчеркивания); ФИО авторов полностью (**не более трех**); место работы (название учреждения), электронный адрес авторов (без слова e-mail), аннотация, ключевые слова.

**Требования к аннотации.** Аннотация должна быть краткой, информативной, содержать цель работы, методы исследования, основные положения и результаты исследования (излагаются основные результаты теоретических и/или экспериментальных исследований, фактические данные, обнаруженные взаимосвязи и закономерности), выводы с обоснованием научной новизны результатов. Аннотация может включать и другую информацию, уместную с точки зрения авторов, например, рекомендации по применению полученных результатов. Примерный объем аннотации **100–250 слов**.

### **6. Оформление формул в тексте:**

а) формулы должны быть набраны на компьютере в редакторе формул Microsoft Word (Equation), размер шрифта эквивалентен 14 (Times New Roman);

б) в формулах рекомендуется использовать буквы латинского и греческого алфавитов (курсивом);

в) формулы печатаются по центру, номер – у правого поля страницы (нумеровать следует только формулы, упоминаемые в тексте).

### **7. Оформление рисунков и таблиц:**

а) рисунки необходимо выделять отдельным блоком для удобства переноса в текст или вставлять из файла, выполненного в любом из общепринятых графических редакторов, под рисунком ставится: Рис. 2. и далее следуют пояснения;

б) если в тексте не одна таблица, то их следует пронумеровать (сначала пишется: Таблица 2 (выравнивание по правому краю листа), ниже, отступив одну строку, – название таблицы (полужирно, выравнивание по центру листа), и далее, отступив строку, следует разместить саму таблицу);

- в) если в тексте одна таблица или один рисунок, то их нумеровать не следует;
- г) таблицы должны иметь «вертикальное» построение;
- д) в тексте ссылки на таблицы и рисунки делаются следующим образом: рис. 2, табл. 4, если всего один рисунок или одна таблица, то слово пишется целиком: таблица, рисунок.

#### **8. Оформление библиографии (списка источников):**

Список литературы должен содержать **не менее 10 источников**, для *обзорных* аналитических статей **не менее 25 источников**.

При этом количество ссылок на статьи из иностранных научных журналов и другие иностранные источники должно быть не менее 30 % от общего количества ссылок, для обзорных аналитических статей не менее 50 %.

В списке литературы должно быть не более 30 % источников, автором либо соавтором которых является автор статьи.

*Правила оформления списка литературы:*

а) в тексте ссылки на цитируемую литературу обозначаются порядковой цифрой в квадратных скобках;

б) список должен содержать цитируемую литературу, пронумерованную в порядке ее упоминания в тексте.

Пристатейные библиографические списки должны соответствовать ГОСТ Р 7.0.5–2008.

*Примеры оформления списка источников:*

#### **Список источников**

1. Адорно Т.В. К логике социальных наук // Вопросы философии. 1992. № 10. С. 76–86.
2. Информационные аналитические признаки диагностики нефтепродуктов на местах чрезвычайных ситуаций / М.А. Галишев [и др.] // Жизнь и безопасность. 2004. № 3–4. С. 134–137.
3. Щетинский Е.А. Тушение лесных пожаров: пособ. для лесных пожарных. 5-е изд., перераб. и доп. М.: ВНИИЛМ, 2002.
4. Грэждяну П.М., Авербух И.Ш. Вариант вероятностного метода оценки оползнеопасности территории // Современные методы прогноза оползневой процесса: сб. науч. тр. М.: Наука, 1981. С. 61–63.
5. Минаев В.А., Фаддеев А.О. Безопасность и отдых: системный взгляд на проблему рисков // Туризм и рекреация: тр. II Междунар. конф. / МГУ им. М.В. Ломоносова. М., 2007. С. 32–37.
6. Белоус Н.А. Прагматическая реализация коммуникативных стратегий в конфликтном дискурсе // Мир лингвистики и коммуникации: электрон. науч. журн. 2006. № 4. URL: [http://www.tverlingua.by.ru/archive/005/5\\_3\\_1.htm](http://www.tverlingua.by.ru/archive/005/5_3_1.htm) (дата обращения: 15.12.2007).
7. Об аварийно-спасательных службах и статусе спасателей: Федер. закон Рос. Федерации от 22 авг. 1995 г. № 151-ФЗ // Собр. законодательства Рос. Федерации. 1995. № 35. Ст. 3 503.

#### **9. Оформление раздела «Информация об авторах»**

Сведения об авторах прилагаются в конце статьи и включают: Ф.И.О. (полностью), должность, место работы с указанием адреса и его почтового индекса; номер телефона; ученую степень, ученое звание, почетное звание; адрес электронной почты; ORCID для каждого автора (<https://orcid.org/>); SPIN-код для каждого автора ([elibrary.ru](http://elibrary.ru)).

*Статья должна быть подписана авторами и указаны контактные телефоны.*

**Внимание авторов:** материалы, оформленные без соблюдения настоящих требований, будут возвращаться на доработку.

**Редакция оставляет за собой право направлять статьи на дополнительное анонимное рецензирование.**

# ОБРАЗЕЦ ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЬИ

Научная статья

УДК 614.8

## СОВРЕМЕННЫЕ АСПЕКТЫ КУЛЬТУРЫ БЕЗОПАСНОСТИ

✉ **Иванов Сергей Петрович.**

**Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия**

✉ ***spi78@mail.ru***

*Аннотация.* 100–250 слов

*Ключевые слова:* 3–10 слов

**Для цитирования:** Иванов С.П. К вопросу оценки последствий чрезвычайных ситуаций // Надзорная деятельность и судебная экспертиза в системе безопасности. 2022. № 2 (42). С. 9–15. (ОФОРМЛЯЕТСЯ РЕДАКЦИЕЙ)

### **Введение**

Текст, текст, текст

### **Методы исследования**

Текст, текст, текст

### **Результаты исследования и их обсуждение**

Текст, текст, текст

### **Заключение**

Текст, текст, текст

### **Список источников (не менее 10 источников)**

#### **Информация о статье:**

Статья поступила в редакцию: 10.01.2022

Принята к публикации: 11.02.2022

#### *Информация об авторах:*

**Иванов Сергей Петрович**, заместитель начальника научно-исследовательского института Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат технических наук, e-mail: spi78@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4651-8513>, SPIN-код: 0123-3210



**SUPERVISORY ACTIVITIES AND FORENSIC  
EXAMINATION IN THE SECURITY SYSTEM****№ 3–2023****The Editorial board**

**Chairman** – candidate of technical sciences, associate professor lieutenant general of internal service **Bogdan V. Gavkalyuk**, head of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia.

**Co-chairman** – doctor of science **Savic Branko**, director of the Higher technical school Novi Sad (Republic of Serbia).

**Deputy chairman** – doctor of technical sciences, associate professor **Olga A. Zybina**, deputy head of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia for research.

**Deputy chairman** – doctor of science **Milisavlevich Branko**, Professor of the Higher technical school Novi Sad (Republic of Serbia).

**Members of the editorial council:**

doctor of technical sciences, professor, honored scientist of the Russian Federation **Vladimir N. Lozhkin**, professor of the department of fire and rescue equipment and automotive industry Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia;

doctor of chemistry sciences, professor **Grigory K. Ivakhnyuk**, professor of the department of fire safety of technological processes and production Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia;

doctor of technical sciences, professor **Sergey V. Sharapov**, professor of the department of criminalistics and engineering and technical expertise Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia;

doctor of technical sciences, professor, honored scientist of the Russian Federation **Ilya D. Cheshko**, leading researcher of the Research institute for advanced research and innovative technologies in the field of life safety Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia;

doctor of science **Babich Branko**, lecturer at the Higher technical school Novi Sad (Republic of Serbia);

doctor of science **Karabasil Dragan**, professor of the Higher technical school of Novi Sad (Republic of Serbia);

doctor of science **Petrovich Gegich Anita**, professor of the Higher technical school of Novi Sad (Republic of Serbia);

doctor of sciences (PhD), professor **Agoston Restas**, head of the Department of fire prevention and emergency prevention, Institute for emergency management (Republic of Hungary);

doctor of technical sciences **Mrachkova Eva**, professor of the department of fire protection of the Technical university of Zvolen (Republic of Slovakia);

candidate of technical sciences colonel of the internal service **Yury S. Ivanov**, first deputy head of the scientific research institute of fire safety and emergency situations (Republic of Belarus).

**Secretary to council:**

major of the internal service **Polina A. Bolotova**, editor of the editorial department of the editorial department of the Center for the organization of scientific research and editorial activities Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia;

candidate of technical sciences **Natasha Subotic**, professor of the Higher technical school Novi Sad (Republic of Serbia).

**Editorial team**

**Chairman** – major of the internal service **Irina V. Dmitrieva**, head of the editorial department of the Center for organization of research and editorial activities Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia.

**Members of editorial team:**

candidate of pedagogical sciences **Tatyana A. Kuzmina**, associate professor of the department of supervisory activities (responsible for the issue) Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia;

lieutenant colonel of the internal service **Sergei V. Ilitskiy**, lecturer at the department of fire Inspection Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia;

lieutenant colonel of the Internal Service **Alexander E. Gaidukevich**, senior researcher of the department of innovative and information technologies in the expertise of fire at the Research institute for advanced research and innovative technologies in the field of life Safety Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia;

candidate of technical sciences, associate professor, colonel of the internal service **Yulia N. Belshina**, head of the department of criminalistics and engineering and technical expertise candidate of technical sciences, associate professor;

lieutenant colonel of the internal service **Alexander I. Bobrov**, deputy head of the department of civil defense, protection of population and territories (as part of the educational and scientific complex of civil defense, protection of population and territories) of Academy of State fire service of EMERCOM of Russia;

candidate of technical sciences, associate professor **Alexander A. Kuzmin**, associate professor of the department of mechanics of the Saint-Petersburg State technological institute (technological university);

doctor of technical sciences **Petra Tanovic**, professor of the Higher technical school Novi Sad (Republic of Serbia);

doctor of sciences (PhD) **Hwayung Kim**, associate professor, department of fire safety, Kyungil university (Republic of Korea);

candidate of technical sciences **Oleg D. Navrotskiy**, head of the department of the Research institute of fire safety and emergency situations (Republic of Belarus).

**Secretary to editorial team:**

senior lieutenant of the internal service **Valeria V. Churilina**, editor of the editorial department of the prepress preparation of the editorial department of the center for the organization of research and editorial activities of the Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia.

## CONTENST

### ***SUPERVISORY ACTIVITIES***

**Razumikhin A.A., Kurbanov R.F., Tsyrengarmaeva Zh.L.** Ensuring fire safety of buildings through the application of a software module based on a SCADA system..... 45

### ***FIRE SAFETY IN TRANSPORT AND INFRASTRUCTURE FACILITIES***

**Labinsky A.Yu.** On the issue of assessing the consequences of emergency situations..... 50

### ***LIFE SAFETY***

**Mekh V.A., Molodkina L.M.** Impact of a compressor station on gas transportation to the environment..... 55

**Kuzhakhmetova Ya.N.** Analysis of conducting a behavioral safety audit at an energy enterprise..... 60

**Chipizubov D.V.** Analysis of occupational injuries in the construction industry: the relationship of fatal injuries with the growth of high-rise construction..... 66

**Polugodina I.A., Politaeva N.A.** Analysis of the influence of microplastics on the human body..... 72

Full or partial reprint, reproduction, reproduction or other use of materials published in the journal «Supervisory activities and forensic examination in the security system» is not allowed without the written permission of the editorial board

Send feedback and suggestions to the address: 196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149. Editorial office of the journal «Supervisory activity and forensic examination in the security system», tel. (812) 645-20-35. E-mail: [redakziaotdel@yandex.ru](mailto:redakziaotdel@yandex.ru). The official website of the scientific and analytical journal: [WWW.ND.IGPS.RU](http://WWW.ND.IGPS.RU), <http://journals.igps.ru>.

The official website of the Saint-Petersburg university State fire service of EMERCOM of Russia: [WWW.IGPS.RU](http://WWW.IGPS.RU)

## SUPERVISORY ACTIVITIES

---

---

Scientific article

UDK 614.84

### **ENSURING FIRE SAFETY OF BUILDINGS THROUGH THE APPLICATION OF A SOFTWARE MODULE BASED ON A SCADA SYSTEM**

✉ **Razumikhin Alexey A.;**

**Kurbanov Rashid F.;**

**Tsyrengarmaeva Zhargalma L.**

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

✉ *alrazumikhin@yandex.ru*

*Abstract.* A stationary automatic fire extinguishing system is being considered using fault-tolerant equipment, as well as an information platform – SCADA/HMI DataRateTM, which facilitates constant data visualization and control and monitoring, direct control over technological processes and managing them at the current moment, creating and generating reports on relevant positions, developing and using dispatch systems, as well as performing other important functions to ensure communication between internal personal users, external applications, etc. In the course of the work done, the main characteristics were identified and features of automated fire extinguishing and smoke removal systems.

*Keywords:* automatic fire extinguishing and smoke removal system, fire automatics, smoke removal monitoring and control system, data visualization tools, personal computer, dispatch systems, fire safety

**For citation:** Razumikhin A.A., Kurbanov R.F., Tsyrengarmaeva Zh.L. Ensuring fire safety of buildings through the application of a software module based on a SCADA system // Supervisory activities and forensic examination in the security system. 2023. № 3. P. 45–49.

Automatic fire extinguishing and smoke removal systems play a special role not only for buildings and structures with large numbers of people, but also for each protected object. As a rule, the arrival of firefighters from the moment a fire starts, one way or another, requires a certain time, which affects the course of further events. A fire automatic system is necessary for the timely elimination of fires, reducing economic losses, as well as reducing the risk of loss of life and minimizing losses at the protection site.

Over the past few years, the number of fires in the country has decreased, but despite this, the mortality rate from fires is characterized by a negative trend, as evidenced by the data of the annual statistical collection of the FBGU VNIPO EMERCOM of Russia. The main causes of fires are malfunctions of lighting, electric welding equipment, electrical appliances, short circuits and other reasons. The relevance of the issue of ensuring fire safety of various multi-storey facilities with large numbers of people at this stage of economic and social development is of particular importance, since these particular facilities can entail not only large economic losses, but also irreparable human casualties [1].

In order to eliminate the risk associated with the death of employees and visitors at any facility, it is important not only to install fire safety systems at this facility, but also to maintain them in a timely manner. In addition, no less importance should be given to such mechanisms as: evacuation coordination, smoke removal, automatic response to smoke, fire extinguishing, etc.

Compared to similar fire safety systems, the system stands out with automated performance, improved platform – SCADA/HMI DataRateTM, and fail-safe hardware. Mainly through this platform, information data is transferred and all technological processes of activity are monitored. Thanks to such a system, it is possible to reduce the risk of accidents at the site, reduce financial losses due to the timely elimination of fire sources and reduce the level of danger to a minimum [2, 3].

Thus, the key functionality of the SCADA/HMI DataRate™ system is aimed at visualizing, monitoring and controlling the necessary groups of data, generating and updating reports on relevant items, exercising direct control and real-time management of the technological process, as well as performing other functions aimed at providing the facility with the necessary information [4].

In this case, the process of automatic fire extinguishing is a series of ordered actions:

- fire detection using means intended for this (infrared channels, two-channel television cameras);
- establishing the location of the fire using conventional spatial coordinates determined in accordance with the location of detection means;
- supply, spraying of fire extinguishing agent and control of this process, taking into account all the features (gravity, location, composition of the agent), using video channels, signals about the occurrence of errors in direction or volume and correcting them [5].

The individual features and benefits of DataRate's automatic smoke and fire suppression systems are shown in fig. 1, 2.

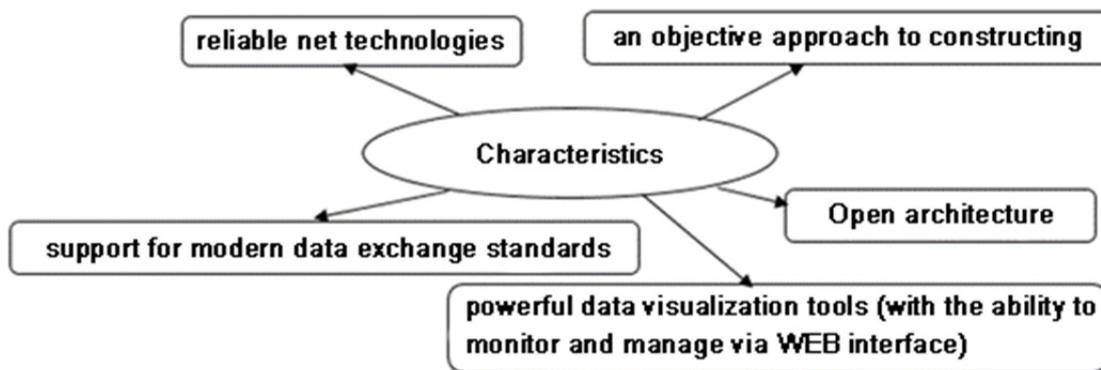


Fig. 1. Characteristics of DataRate, providing the ability to build an automated fire control system

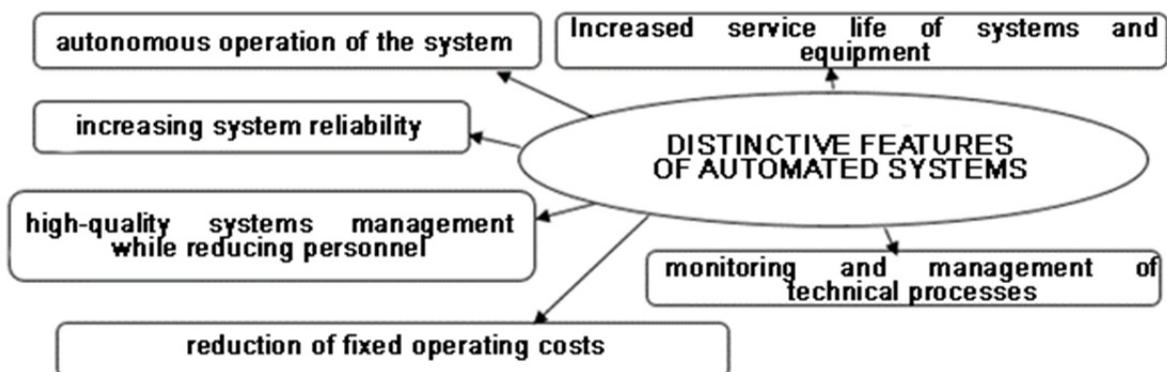


Fig. 2. Features of automated fire extinguishing and smoke removal systems

Thus, the system operates autonomously, without human interaction, and is able to independently respond to emerging threats and fires. High reliability of the equipment entails the absence of the need for maintenance personnel, and, as a result, the cost of providing it.

Since the system can perform its functions automatically, without any intervention and is capable of independently responding to the occurrence of a fire, its settings or other problems can be resolved remotely using computer equipment.

The operation of the SCADA system is shown in fig. 3.

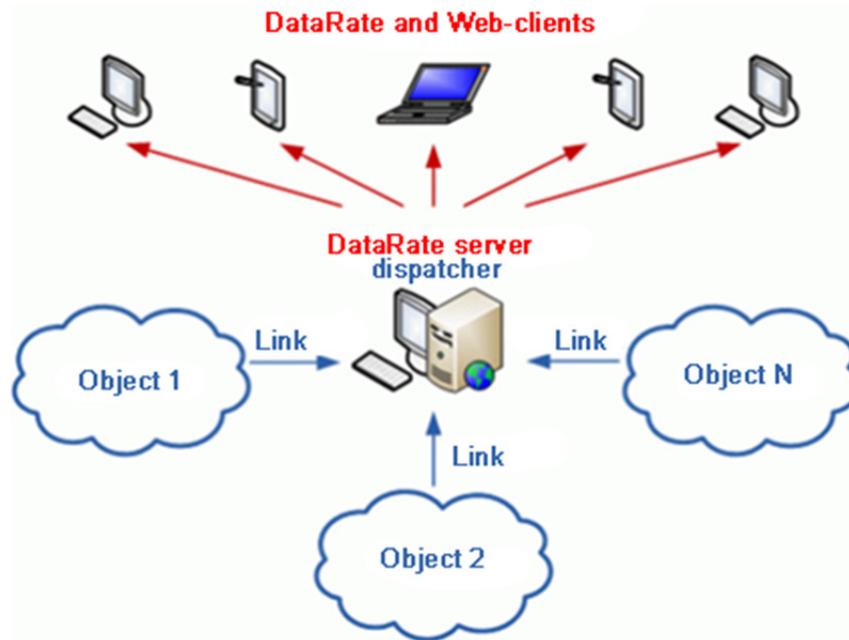


Fig. 3. General structure of the SCADA system

Based on fig. 3 we can conclude that the work process of the SCADA system is characterized by the provision of monitoring, control and management capabilities for a specific object of a given structure over other objects, which is explained by the integral basis of interaction.

For automatic control of fire systems and equipment, a system has been developed, shown in fig. 4.

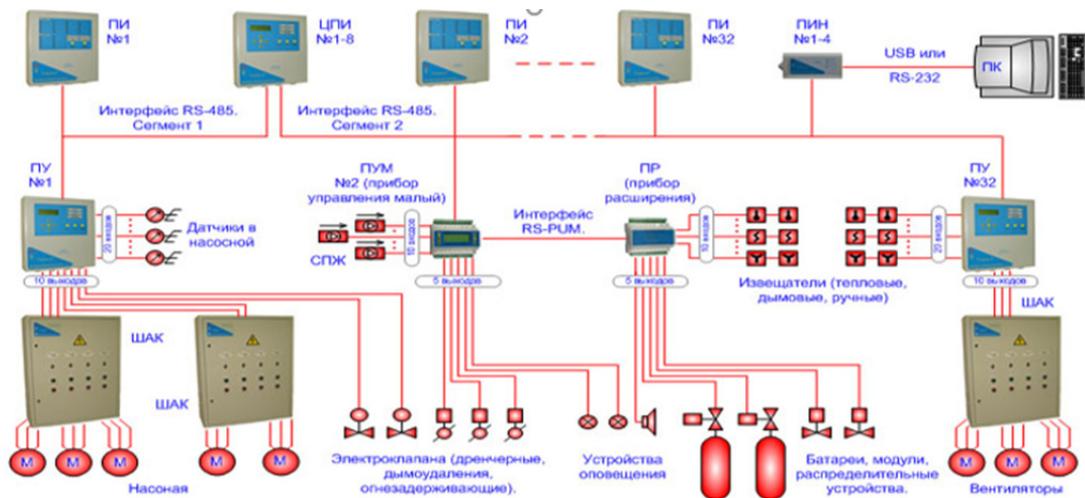


Fig. 4. Structure of the Sprut-2 system

The Sprut-2 system is completely autonomous and is capable of detecting a fire and neutralizing it without outside forces or human intervention. The Sprut-2 system includes: a pumping station, electrovalves, warning devices, batteries, modules, switchgears, fans, detectors, server stations, etc. [3, 6].

Next in fig. 5 presents the main functions of the fire safety system and fire extinguishing SCADA.

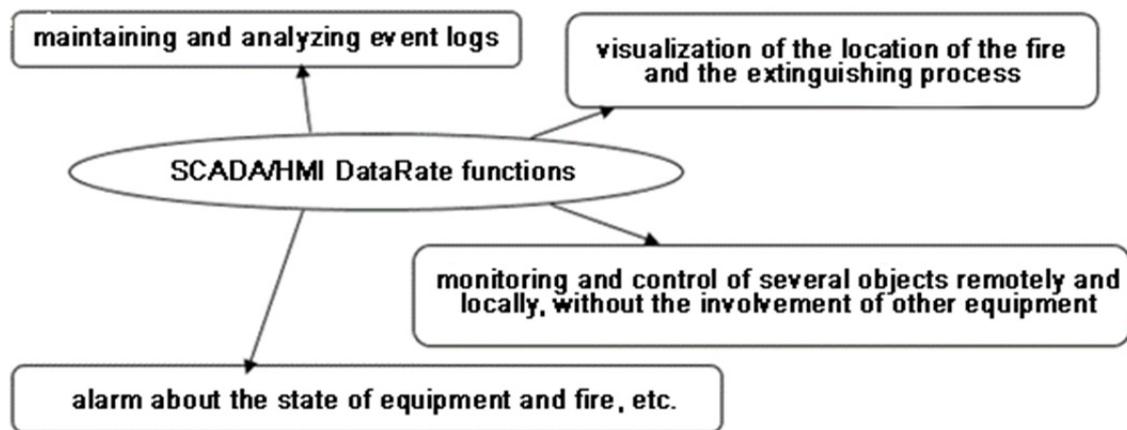


Fig. 5. Basic functions of the fire safety and fire extinguishing system SCADA/HMI DataRate

A monitoring and control system for smoke removal has also been developed, which is intended for use in apartment buildings and is necessary to remove combustion products during a fire, as well as to limit the spread of fire. This system guarantees the safety of people during evacuation during a fire. The smoke removal system (SDS), that is, the monitoring and control system for smoke removal, is one of the most important aspects in ensuring the fire safety of the protection facility [7, 8].

Thus, with the combined use of SDS and fire extinguishing systems, in addition to minimizing economic losses, the risk of a threat to human life, including due to carbon monoxide poisoning, is also minimized.

A reliable and high-quality fire protection system helps to ensure the required level of fire safety, reduce risks and possible consequences. At the present stage, achieving complete protection of an object requires automation of this process, as well as the use of high-quality, accurate and reliable technologies and software products.

Based on SCADA, dispatch systems are developed and applied at various facilities, necessary for the continuous control of aspects that require special attention [9].

Thus, through the implementation of the SCADA platform, continuous, uninterrupted, continuous monitoring of the facility as a whole is carried out: its safety, serviceability, reliability, equipment condition, etc., which helps to ensure the necessary security conditions for the facility 24/7. The system can be used as an independent unit. However, the use of SDS in combination with fire extinguishing systems makes it possible not only to practically eliminate the death of people due to carbon monoxide poisoning, but also to extinguish the fire and minimize material losses [10].

## References

1. Fires and fire safety // Statistical collection. Statistics of fires and their consequences. M.: VNIPO EMERCOM of Russia. 2022.
2. Polyakova E.V., Korotaev V.V. Software module based on SCADA systems to ensure fire safety of buildings // Software engineering: modern trends in development and application. 2019. P. 273–278.
3. SCADA DataRate. URL: <https://www.scadadatarate.ru> (access date: 03.13.2023).
4. SCADA TRACE MODE. Russian SCADA system for automated process control systems. URL: <http://www.adastra.ru> (access date: 03.13.2023).
5. Aleksandrov A.M., Ukrainsky O.V. Automatic fire extinguishing method and an automatic system for its implementation. M., 2022.
6. Tomakova R.A. Methodological foundations of modeling: textbook. allowance. Kursk, 2018. 258 p.
7. Tomakov M.V., Tomakov V.I. Personal protective equipment for people in case of fire and man-made accidents // News of the South-West State. un-ta. Ser.: Equipment and technologies. 2016. № 1 (18). P. 54–63.

8. Kapushchak K.I., Keller A.I., Emergency smoke removal system: purpose, design, principle of operation // Reshetnivsky readings. 2022. P. 249–251.
9. Tomakov M.V., Tomakov V.I. Emergency evacuation (self-rescue) means and individual protection of people during fires: monograph. Kursk, 2015. 118 p.
10. Apalkov V.V., Tomakova R.A. Epishev N.N. Basics of modeling digital signal processing in MATLAB. Kursk, 2015.

**Information about article:** the article was received by the editors: 28.04.2023;  
accepted for publication: 10.07.2023

*Information about the authors:*

**Razumikhin Alexey A.**, master's student at the Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), e-mail: alrazumikhin@yandex.ru

**Kurbanov Rashid F.**, master's student at the Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), e-mail: raschid7@mail.ru

**Tsyrengarmaeva Zhargalma L.**, master's student at the Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), e-mail: ztsyrengarmayeva@mail.ru

---

---

# FIRE SAFETY IN TRANSPORT AND INFRASTRUCTURE FACILITIES

---

---

Scientific article

UDK 681.3

## ON THE ISSUE OF ASSESSING THE CONSEQUENCES OF EMERGENCY SITUATIONS

**Labinsky Alexander Yu.**

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

***Labinsciy@yandex.ru***

*Abstract.* The dangerous factors during the combustion and explosion of petroleum products, which are the air shock wave and thermal radiation, are considered. An assessment is made of the consequences of violations of the conditions of storage and transportation (shipment) of flammable liquids and petroleum products caused by the processes of evaporation and combustion with the subsequent explosion of vapors of these substances. An assessment was made of the consequences of the formation of a cloud of steam-air mixture, which include explosive combustion and shock wave propagation. An example of calculating the TNT equivalent of a gasoline vapor-air mixture is considered for different proportions of gasoline vapor participation in the explosion: from the case of vapor release when gasoline spreads to the case of the formation of a gasoline-air mixture at atmospheric pressure. A mathematical model has been developed and an estimate of the size and lifetime of the vapor-air mixture cloud has been given.

*Keywords:* consequences of emergency situations, hazardous factors, petroleum products, combustion, explosion, shock wave, thermal radiation, cloud of steam-air mixture, mathematical model, computer program, calculation of size and lifetime

**For citation:** Labinsky A.Yu. On the issue of assessing the consequences of emergency situations // Supervisory activities and forensic examination in the security system. 2023. № 3. P. 50–54.

### Introduction

Currently, as a result of emergency situations, there are consequences associated with fires, explosions, floods, exposure to radiation and other harmful factors leading to illness and death. A number of works are devoted to the issues of preventing and eliminating the consequences of accidents and disasters, as well as assessing technical risk [1–11].

Some authors define environmental safety as a state of stable dynamic equilibrium of the biosphere. Other authors define environmental safety as a state of protection of the natural environment and people from the possible impacts of economic activities, natural and man-made emergencies and their consequences. To ensure environmental safety, it is necessary to prevent the occurrence of man-made emergency situations and eliminate their negative consequences.

This article discusses the assessment of the consequences of violations of storage conditions and transportation (transportation) of flammable liquids and petroleum products caused by the processes of evaporation and combustion with subsequent explosion of vapors of these substances.

Petroleum products include gasoline, kerosene, diesel fuel, oils and other paraffin components of oil. Trunk pipelines are used to transport petroleum products (pipe diameter from 200 to 2,000 mm, pressure 5–10 MPa) with temporary storage tanks (capacity from 1,000 to 100,000 m<sup>3</sup>), as well as railway (loading capacity of tanks from 60 to 120 tons, capacity from 75 to 160 m<sup>3</sup>) and road (tanks from 10 to 26 tons, capacity from 6 to 30 m<sup>3</sup>) transport.

The causes of accidents on pipelines are emergency ruptures of pipes due to a defect in the weld, destruction of the compressor, and gas leaks. The consequences of pipeline accidents are fires and explosions.

The consequences of accidents in railway transport are oil spills and fires. Every year about 2 thousand fires and fires [2]. When transporting flammable liquids (gasoline), explosions of the steam-air mixture are possible [6].

The consequences of accidents in road transport also include oil spills and fires, as well as explosions of a steam-air mixture of flammable liquids, such as gasoline [3].

A task was set, the results of which are presented in this article: it is necessary to assess the consequences of emergency situations associated with the combustion and explosion of petroleum products, accompanied by explosive combustion and propagation of a shock wave.

The novelty of the research lies in a detailed description of the dangerous factors of combustion and explosion, assessment of the consequences of the formation of a cloud of vapor-air mixture and the creation of a mathematical model of the explosive combustion of a cloud of combustible mixture, which made it possible to calculate the TNT equivalent of a mixture of gasoline vapor and air.

### **Hazardous factors during combustion and explosion of petroleum products**

An explosive mixture of oil vapors and air can be formed both inside the tank and in the open air. The condition for fire and explosion is the formation of a steam-air mixture with a concentration sufficient for combustion and explosion in the presence of a third-party energy source or when the temperature of the mixture reaches the auto-ignition temperature [7]. Methods for assessing the consequences of explosive combustion of a steam-air mixture are described in the works [4–7].

In case of explosive combustion of a steam-air mixture, the following consequences are possible:

- explosion of a cloud of steam-air mixture;
- explosive combustion of a cloud in the atmosphere;
- oil fire on the ground.

In this case, the following damaging factors affecting people may arise:

- during an explosion in the atmosphere – air shock wave and thermal radiation;
- during explosive combustion of a cloud in the atmosphere – an air shock wave with a lower damaging factor and thermal radiation with a higher damaging factor than during an explosion in the atmosphere;
- in case of a fire on the ground – a large release of heat with possible injury to people and ignition of neighboring objects (for example, tanks with petroleum products).

The result of exposure to thermal radiation, which causes ignition of substances or damage to humans and animals, depends on the threshold values of heat flow, which are determined by the amount of absorbed thermal energy. The absorbed thermal energy, in turn, depends on the heat flux density  $q$ , kW/m<sup>2</sup> and irradiation time  $T_0$ , s. The energy required to ignite a substance depends on its temperature and parameters (pressure, humidity) of the atmosphere.

Approximate values of heat flow and effect affecting humans:

- $q=1,0$  [кВт/м<sup>2</sup>] – sun tanning effect on a hot summer day;
- $q=15,0$  [кВт/м<sup>2</sup>] – the effect of blisters appearing on the skin after 5 s.

### **Assessment of the consequences of the formation of a cloud of steam-air mixture**

Opening a container with flammable gas or spilling liquefied gas during an accident leads to the evaporation of the liquid fraction and the formation of a cloud of steam-air mixture. Further, the steam-air mixture may ignite, which under certain conditions can lead to an explosion.

The determining factors in the development of an emergency situation are the conditions for the formation of a cloud of steam-air mixture, which can ignite with some delay. The process of ignition of a cloud of steam-air mixture can occur with different durations:

- ignition of the vapor-air mixture cloud occurs immediately;
- ignition of the vapor-air mixture cloud occurs with some delay.

In the first case, a region of burning liquid gas fraction is formed. In the second case, a cloud of steam-air mixture is formed with possible explosive combustion, which is accompanied by the formation of shock waves.

When a cloud of steam-air mixture explodes, the combustion front spreads either with a shock wave, or with some delay. When delayed, the combustion front propagation speed ranges from 10 to 300 m/s, and the pressure in the shock wave front can reach from 10 to 100 kPa or more.

When the flame front propagates together with the shock wave, detonation occurs – explosive propagation of the front. In this case, the propagation speed of the combustion front ranges from 1 to 3 km/s and the pressure in the shock wave front can reach 10 MPa or more. Various obstacles in the path of flame propagation cause turbulization of the mixture and contribute to the detonation of the steam-air mixture. An explosion of a steam-air mixture can also be triggered by an external source of energy, for example, a spark.

The volume concentration of the flammable component required for the explosion of a cloud of steam-air mixture should be from 5 % (propane) to 30 % (hydrogen).

### Mathematical model

The concentration of vapors released from the tank into the atmosphere is determined from the ideal gas equation of state:  $P \cdot V \cdot C = G \cdot R \cdot T$ , where  $P$  – tank pressure, Pa;  $V$  – tank volume,  $m^3$ ;  $C$  – gas concentration (volume fraction);  $G$  – vapor mass, kg;  $R$  – gas constant;  $T$  – temperature, K.

In the event of an explosion of a cloud of vapor mixture, its TNT equivalent in terms of the shock wave will be equal to [5]:  $G_{T\text{Э}} = 0,4 \cdot G \cdot Q_{\text{IIBC}} \cdot k / (0,9 \cdot Q_{\text{T}})$ , where  $G$  – mass of mixture vapors, kg;  $Q_{\text{IIBC}}$  – specific heat of combustion per unit mass of steam-air mixture (PVA), kJ/kg;  $k$  – coefficient taking into account the share of gas in the explosion ( $0 < k \leq 1$ );  $Q_{\text{T}}$  – specific heat of TNT explosion, kJ/kg.

Coefficient  $k$ , which takes into account the share of gas in the explosion, can take the following values [5]:

- $k = 0,02 \div 0,1$  – gases from the spreading of flammable liquids;
- $k = 0,1$  – gases liquefied by cooling;
- $k = 0,5$  – gases liquefied under pressure;
- $k = 1,0$  – gases at atmospheric pressure.

Let us calculate the TNT equivalent of PVA for various values of the coefficient  $k$ , which takes into account the share of steam in the explosion.

Let's consider an emergency situation in which 0,15 % or 1,500 kg of gasoline was released (lost) from a gasoline storage tank with a volume of 5,000  $m^3$  (diameter 20 m, height 18 m) as a result of an accident.

Input data: mass IIBC  $G = 1\,500$  kg, specific heat of combustion per unit mass of PVA (petrol)  $Q_{\text{PVA}} = 45$  kJ/kg, specific heat of explosion of TNT  $Q_{\text{T}} = 4,5$  kJ/kg. The calculation results are presented in the figure.

Calculations show that in the event of an explosion of a cloud of a mixture of gasoline vapors and air, the TNT equivalent of PVA in an air shock wave will be from 330 kg to 6,670 kg. The smallest value of TNT equivalent corresponds to the coefficient of gas participation in the explosion  $k=0,05$  (gasoline vapors released when it spreads), and the largest value corresponds to  $k=1,0$  (gasoline vapor at atmospheric pressure).

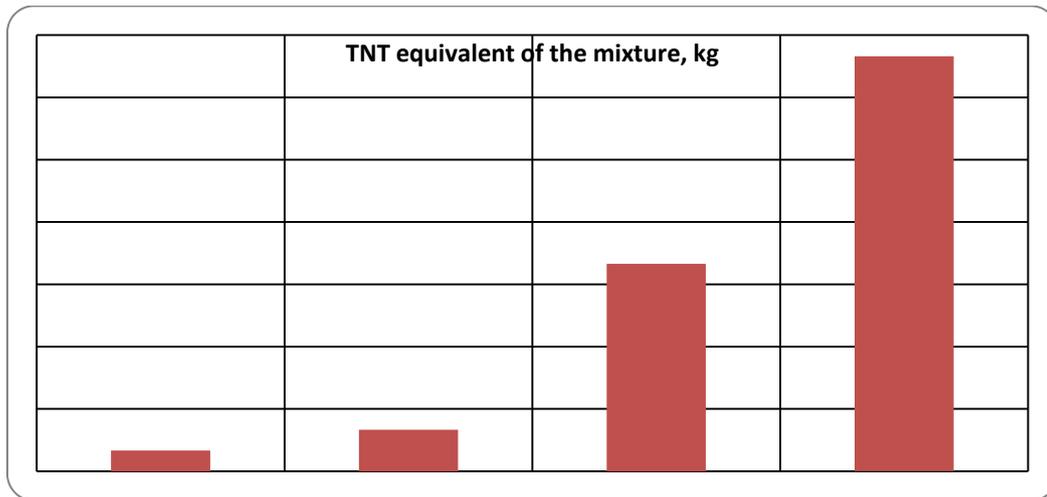


Fig. TNT equivalent of PVA depending on the coefficient of gas participation in the explosion

Let us calculate the lifetime of a cloud of steam-air mixture for the case of explosive combustion of the cloud. Let's assume that the cloud is spherical. For such a cloud, the value of surface radiation emission is taken to be 200 kW/m<sup>2</sup>. The radius of the cloud can be determined by the formula [5].

$$R = 29 \cdot \sqrt[3]{G} \text{ [m]},$$

where  $G$  – initial mass of PVA vapor, t.

The lifetime of a cloud of steam-air mixture can be determined by the formula [5].

$$T = 4,5 \cdot \sqrt[3]{G} \text{ [c]}.$$

Calculations show that the radius of the cloud is 33.2 m, and the lifetime of a PVA cloud with an initial vapor mass of 1,500 kg during explosive combustion will be 5.2 s.

### Conclusion

The article discusses the dangerous factors during the combustion and explosion of petroleum products, which are the air shock wave and thermal radiation. An assessment was made of the consequences of the formation of a cloud of steam-air mixture, which include explosive combustion and shock wave propagation. An example of calculating the TNT equivalent of a vapor-air mixture of gasoline for different proportions of gasoline vapor is considered in an explosion: from the case of vapor release when gasoline spreads to the case of the formation of a mixture of gasoline with air at atmospheric pressure. An estimate of the size and lifetime of the vapor-air mixture cloud is given.

The topic of the article is relevant, since fires and explosions of petroleum products lead to great material losses and human casualties. Assessing the consequences of such emergency situations allows us to solve the problem of preventing the occurrence of emergency situations by improving methods for calculating technogenic risk during the current activities of organizations engaged in processing, transportation and storage of petroleum products.

### References

1. Kobylkin N.I., Gelfand B.E. Analysis and experimental study of the causes of explosions of tanks and reservoirs during reloading with petroleum products // Problems of risk management in the technosphere. 2009. № 3.
2. Gavrilenko S.G. Statistics of extreme situations in railway transport // Informkurier-svyaz. 2012. № 4.

3. Maksimov D.Yu. Modern methods and means of combating oil spills // Journal of Technical Physics. 2017. № 9.
4. Fedotov V.N. Influence of the shape of an exploding cloud on the parameters of the blast wave // Journal of the Russian Academy of Sciences. 2011. № 9.
5. Methodology for assessing emergency explosions of fuel-air mixtures: RD 03-409-01, Gosgortekhnadzor Russian Federation. 2011. URL: [ohranatruda.ru/upload/iblock/d90/4293840653.pdf](https://ohranatruda.ru/upload/iblock/d90/4293840653.pdf) (access date: 07.12.2023).
6. Yakovlev A.V. Consequences of emergency explosions of gas-air mixtures // Reliability. 2016. № 4.
7. Krivov A.S. Risk assessment when transporting petroleum products by rail. Tomsk: Proceedings of TPU, 2017. № 2.
8. Samigulin G.Kh., Kadochnikova E.N. Assessment of fire hazard of freight transportation by rail // Natural and man-made risks. 2021. № 4.
9. Labinsky A.Yu. The use of fuzzy logic in assessing the probability of an emergency occurrence // Scientific and analytical journal «Vestnik Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia». 2017. № 1.
10. Labinsky A.Yu. On the issue of protection from harmful factors accompanying emergencies // Natural and man-made risks. 2018. № 1.
11. Labinsky A.Yu., Chernykh A.K., Tiarniyu O.L. Decision-making during liquidation of the consequences of natural disasters // Scientific and analytical journal «Vestnik Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia». 2021. № 1.

**Information about the article:** the article was received by the editors: 02.08.2023;  
accepted for publication: 15.08.2023

*Information about the authors:*

**Labinsky Alexander Yu.**, associate professor, department of applied mathematics and information technologies of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), candidate of technical sciences, associate professor, e-mail: [Labinsky@yandex.ru](mailto:Labinsky@yandex.ru), <https://orcid.org/0000-0001-2735-4189>, SPIN: 2338-4230

---

---

# LIFE SAFETY

---

---

Scientific article

UDK 504.05

## IMPACT OF COMPRESSOR STATION ON GAS TRANSPORTATION TO THE ENVIRONMENT

✉ **Mekh Valeria A.;**

**Molodkina Lyudmila M.**

**Peter the Great Saint-Petersburg polytechnic university, Saint-Petersburg, Russia**

✉ *valeria\_mekh\_1999@mail.ru*

*Abstract.* An analysis of the impact of a gas compressor station on atmospheric air, hydrosphere and lithosphere objects was carried out. The enterprise has identified sources of emissions of harmful substances into the atmosphere of continuous, periodic and burst action. The gross methane emission from the gas pumping unit and the fee for negative impact were calculated. Wastewater discharges through three water outlets were identified. The actual discharge of pollutants was calculated into the water body through outlet № 3. The efficiency of the settling facility was determined at water outlet № 3. An inventory of production waste was carried out. 101 types of waste belonging to five hazard classes were identified.

*Keywords:* gas compressor station, environment, negative impact, atmosphere, hydrosphere, waste accumulation

**For citation:** Mekh V.A., Molodkina L.M. Impact of a compressor station on gas transportation to the environment // Supervisory activities and forensic examination in the security system. 2023. № 3. P. 55–59.

### Introduction

Compressor stations (CS) of main gas pipelines (gas compressor stations – GCS) are structures combined into a single complex and equipment that serves to increase gas compression pressure. Compressor stations, according to their purpose, are divided into booster (head) compressor stations, linear compressor stations of main gas pipelines, injection compressor stations for reinjecting gas into the reservoir and compressor stations for underground gas storage facilities [1]. The GCS considered in the work belongs to the Privodinsky linear production directorate of main gas pipelines.

At gas compressor stations there are gas purification units, compressor shops, air cooling units, liquid collection units, condensate collection tanks and other units, each of which has its own specific impact on the environment [2]. In the gas transport system, it is GCS that are the main objects that have a negative impact on all of the Earth's geospheres (lithosphere, atmosphere, hydrosphere), as well as on their subspaces (lithobiosphere, hydrobiosphere and tropobiosphere) that make up the biosphere. In turn, a comparison of the environmental impact of processing, transportation and production of natural gas shows that gas transport makes the greatest contribution to their negative impact [3, 4]. For example, in 2019, the volume of pollutant emissions during gas transportation in our country amounted to 1,67 million tons, while from gas production and processing ~0,13 million tons each. Water disposal into water bodies was 5,5 million m<sup>3</sup>, 1,3 million m<sup>3</sup> and 0,2 million m<sup>3</sup>, respectively, and the dynamics of waste generation was 142 thousand tons, 40 thousand tons and 22 thousand tons [5]. Thus, in matters of the negative impact of the Russian gas industry on the environment, gas compressor stations are given a special place.

The purpose of the work is to analyze the impact of a specific gas compressor station on atmospheric air, hydrosphere and lithosphere objects with calculation of the impact level in volume (mass) and monetary terms and determination of waste generated at the station.

When performing the work, regulatory documents and methodological materials were used [6–11], as well as data obtained in the divisions of the enterprise, including:

- draft standards for maximum permissible emissions of pollutants;
- protocols for studying emissions from the CS chemical laboratory;
- data on the number of operating hours of the enterprise’s regulatory legal acts (information provided by the enterprise’s dispatch service);
- data on the amount of natural gas used for its own technological needs (information provided by the dispatch service of the enterprise);
- data on the amount of natural gas losses during work on the linear part of the main gas pipeline (information provided by the dispatch service of the enterprise);
- average density of natural gas for the period (chemical laboratory data).

### Research results and their analysis

#### 1. Determination of the level of impact of GCS on atmospheric air x

When analyzing sources of emissions of pollutants into the atmosphere sources of continuous, periodic and salvo action.

Sources of continuous action include gas pumping units, sealing systems for the centrifugal supercharger of a gas pumping unit (GPU), equipment leaks, batteries, sewage treatment facilities and gas heaters (in the fuel pulse gas preparation unit).

Periodic sources include welding stations, open parking lots, fire stations, chemical laboratories, emissions during the application of paints and varnishes, emissions of combustion products during test starts of emergency diesel and gas power plants.

Sources of burst emissions include a gas distribution station (carrying out purging and bleeding of natural gas), mobile automobile gas-filling compressor stations, dust collectors, adsorbers, condensate collectors, separators, freezers, heaters, and collectors.

The listed sources emit 42 types of pollutants of all hazard classes into the atmosphere, which can form 15 groups of total harmful effects.

The greatest contribution to atmospheric air pollution is made by methane emissions.

A calculation was made of exhaust gases (natural gas) from the GCS GPU for the first quarter of 2021, which is presented in table 1. The calculation took into account 39 gas pumping units installed in seven workshops.

Table 1

#### Calculation of gross exhaust gas emissions from GCS gas pumping units for the first quarter of 2021

Natural gas (methane)	Formula	Total (t/quarter)
Gross emissions from one source	$B_M = C_M * V_C * t$	481,7

Note:  $B_M$  – gross emissions (tonnes/quarter);  $C_M$  – average methane concentration in dry combustion products ( $mg/m^3$ );  $V_C$  – volume of exhaust gas emissions from one source ( $Nm^3/sec$ );  $t$  – time (sec)

A fee was also calculated for the negative impact of natural gas (methane) emissions from equipment operation (GPU operation) for the first quarter of 2021. The total amount was RUB 56,184,672.

The following initial data were used in the calculation:

1. Established emissions (t) – 1 548,32.
2. Actual emission (t)– 481,693.
3. Payment rate (RUB/t) – 108.
4. Coefficient to the rate of payment for emissions within the limits of Permissible emission standards (NDV TN) ( $K_{НД}$ ) – 1.
5. Coefficient to the emission fee rate within the limits of the RV ( $K_{BP}$ ) – 25.
6. Coefficient to the rate of payment for emissions in excess of the RV, NDV TN ( $K_{CP}/K_{НП}$ ) – 100.

7. Additional coefficient ( $K_{от}$ ) – 1.

8. Correction factor ( $K_{инд}$ ).

2. *Determining the level of impact on water bodies*

Analysis of the impact of the gas compressor station on hydrosphere objects showed that the compressor station discharges wastewater through three outlets:

– river Siverukha (wastewater discharge into the Siverukha river);

– unnamed swamp (discharge of wastewater, including drainage, onto agricultural irrigation fields);

– river Siverukha (discharge of drainage water after the dewatering system).

The Siverukha River is the right tributary of the river. Udimia (basin of the Malaya Northern Dvina river). The water regime of the river is typical for the rivers of the North of the European territory of Russia; it is fed by snow and rain. The length of the river is about 7 km. The width of the coastal protective strip is equal to the width of the water protection zone and is 50 m. The river valley has an unclearly defined shape. The surrounding area is predominantly occupied by mixed forest, the river bed is slightly winding. The Siverukha river has some flow; in the off-season periods (summer and winter) periods of drying out and freezing are possible. The river belongs to water bodies of fishery importance of the second category.

The unnamed swamp belongs to a group of wetlands with an area of up to 1,000 m<sup>2</sup>. The main water supply is precipitation. Mixed forest grows in the surrounding area. The dimensions of the water protection zone have not been established. The water body belongs to objects of fishery importance of the second category.

The work carried out a calculation of the actual discharge of pollutants into the water body of the river Siverukha (issue № 3), which is presented in table 2.

The following initial data were used for the calculation:

– volume of waste and (or) drainage water discharge (certificate from the technical water supply service – TVS);

– wastewater research protocols (chemical laboratory data).

Table 2

**Calculation of actual discharge of pollutants into the water body of the river Siverukha – issue № 3**

Name of pollutants	Yearly reset	
	kg	t
Suspended solids	40,3	0,04
Biological oxygen demand (BOD) total	33,9	0,03
Petroleum products	0,4	0,0004

The calculation of the fee for the discharge of pollutants into the river Siverukha was also carried out, the results of which are presented in table 3.

Table 3

**The results of calculating fees for the discharge of pollutants into the river Siverukha in 2021**

Name of pollutants	Fee amount (RUB/year)
Petroleum products	8,8
Suspended solids	42,5
BOD, total	8,9

In addition, the calculation of the efficiency of the settling tank (fig.) at outlet № 3 was carried out. The minimum, maximum and average values of the cleaning efficiency are presented in table 4.



The compressor station has a complex for thermal waste disposal IN-50.1M, which carries out waste treatment (hazard class 4–5) generated as a result of production activities of enterprise facilities.

The following types of waste are subject to neutralization at IN-50.1M:

- cleaning material contaminated with oil or petroleum products (oil or petroleum product content less than 15 %);
- work wear made from natural synthetic, artificial and wool fibers, contaminated with petroleum products (petroleum product content less than 15 %);
- sawdust and wood shavings contaminated with oil or petroleum products (oil or petroleum product content less than 15 %).

### Conclusion

A comparison of the given data (by geosphere) indicates that this GCS has the greatest negative impact on the atmosphere. Impact analysis on hydrosphere objects must be continued in order to assess the impact of water outlets №№ 1 and 2. It is also planned to develop measures to reduce the negative impact of the gas compressor station on all geospheres.

### References

1. Compressor station of main gas pipelines. URL: <https://www.turbinist.ru/31606-kompressornaya-stanciya.html> (access date: 12.12.2022).
2. Ostrovskaya A.V. Environmental safety of gas compressor stations. Part 2. Impact of the gas transport system on the environment: textbook. allowance. Ekaterinburg: Ural university publishing house, 2017. 151 p.
3. Shaidullin R.R., Kostryukova N.V., Elizariyev A.N. Security at gas processing facilities: collection All-Russian articles scientific-practical conf. Ufa, 2020. P. 121–125.
4. Development of measures for wastewater treatment at a gas compressor station / E.A. Khasanova [et al.] // Science, education, production in solving environmental problems. (Ecology-2021): materials of the XVII International. scientific-technical conf.: in 2 vol. Ufa: Publishing house: Ufa State aviation tech. univ. 2021. T. 1. P. 223–230.
5. On the state and protection of the environment of the Russian Federation in 2019. State report. URL: [https://www.mnr.gov.ru/docs/gosudarstvennye\\_doklady](https://www.mnr.gov.ru/docs/gosudarstvennye_doklady) (access date: 10.11.2022).
6. Methods for calculating the dispersion of emissions of harmful (pollutant) substances in atmospheric air: order of the Ministry of natural resources of Russia dated June 6, 2017 № 273. Access from the information and legal portal «Garant».
7. STO Gazprom 2-1.19-058–2006. Instructions for calculating and regulating emissions from gas distribution systems (AGDS, hydraulic fracturing), GIS. M., 2006.
8. List of methods used in 2019 to calculate, standardize and control emissions of pollutants into the air. SPb.: JSC «NII Atmosphere», 2019.
9. Industry methodology for developing norms and standards for water consumption and wastewater disposal in the gas industry. RAO Gazprom, DAO VNIPIgazdobycha. M., 2016.
10. On approval of guidelines for the development of draft standards for waste generation and limits on their disposal: order of the Ministry of natural resources of the Russian Federation from 7 Dec. 2020 № 1021. Access from the reference legal system «ConsultantPlus».
11. Collection of methods for calculating waste generation volumes. SPb., 2000.

**Information about the article:** the article was received by the editor: 06.02.2023;  
accepted for publication: 11.07.2023

#### *Information about the authors:*

**Mekh Valeria A.**, master's student of Peter the Great Saint-Petersburg polytechnic university (195251, Saint-Petersburg, Politekhnikeskaya str., 29), e-mail: [valeria\\_mekh\\_1999@mail.ru](mailto:valeria_mekh_1999@mail.ru)

**Molodkina Lyudmila M.**, master's student of Peter the Great Saint-Petersburg polytechnic university (195251, Saint-Petersburg, Politekhnikeskaya str., 29), e-mail: [molodkina.lm@mail.ru](mailto:molodkina.lm@mail.ru), SPIN: 3014-8601

Scientific article

UDK 614.8

## **ANALYSIS OF CONDUCTING A BEHAVIORAL SAFETY AUDIT AT AN ENERGY ENTERPRISE**

**Kuzhakhmetova Yana N.**

**Peter the Great Saint-Petersburg polytechnic university, Saint-Petersburg, Russia**

*prohorenko98@mail.ru*

*Abstract.* The problem of a high level of injuries at work in Russia has been identified, despite regularly taken measures, in connection with which an action has been proposed – conducting behavioral safety audits in production, and specifically in an energy organization.

The article analyzes the results of a behavioral safety audit conducted at an energy enterprise for three quarters of 2022. To analyze the results obtained, quantitative indicators are calculated: the index of dangerous situations and the Elmerly index, which allow one to judge the effectiveness of the behavioral safety audit. When it is carried out regularly, a decrease in the index of dangerous situations and an increase in the Elmerly index are noted, which indicates a decrease in the performance of dangerous actions by workers and an increase in the number of safe actions and conditions.

*Keywords:* safety, audit, injuries, accident

**For citation:** Kuzhakhmetova Ya.N. Analysis of conducting a behavioral safety audit at an energy enterprise // Supervision activities and forensic examination in the security system. 2023. № 3. P. 60–65.

### **Introduction**

An occupational disease or any adverse event in the field of labor protection at work is inevitable; there are always a number of reasons that lead to in sad statistics. That is why it is necessary to identify effective measures on the prevention and prevention of the consequences of accidents in the workplace.

Despite regularly taken measures to prevent injuries, accidents continue to occur in Russia, including accidents with severe consequences [1].

In the overwhelming majority, the cause of accidents at work is the human factor, incorrect performance of certain works, and neglect of labor safety rules [2]. This shows the relevance of this study.

In a general sense, security, in its broadest meaning, has the greatest impact on the proper functioning of an enterprise. Security in a manufacturing plant is a complex process and depends on many systems.

It is the person, his knowledge and skills, his thinking that are the main factor in the functioning of any organization. This understanding of human function can be defined as occupational safety culture [3–4].

Some of the first prerequisites for the formation of this concept appeared in the field of nuclear energy after the largest man-made disaster at the Chernobyl nuclear power plant.

Currently in Russia, since 2016, there has been a definition of the term «safety culture», set out in the INSAG-4 document: Safety culture is a set of characteristics and features of the activities of organizations and the behavior of individuals, which establishes that NPP safety problems, as having the highest priority is given attention determined by their significance [5].

The level of safety culture is inextricably linked with the level of industrial injuries. The transition to a risk-based approach became the starting point for changing the performance indicators of the Occupational Safety and Health Management System (OSMS). And more and more often you can see that the level of safety culture is becoming a leading indicator

of the effectiveness of the OHSMS. Research has shown that cultural mechanisms play a significant role in the occurrence of large-scale industrial disasters and are associated with accident rates and the number of occupational diseases as in enterprises and throughout society [6–8].

The purpose of this work is to analyze the conduct of a behavioral safety audit (BAS) at an energy enterprise for the third quarter of 2022 using the Hazard Situation Index (HSI) and the Elmerly index (IE).

To achieve this goal, it is necessary to calculate quantitative index indicators to determine the effectiveness of PAB implementation.

### Research methods

The PAB method was chosen because it allows you to identify strengths and weaknesses in the occupational safety management system, immediately act on a dangerous situation. This method is not of a disciplinary nature; its goal is to prevent occupational injuries by talking with workers and explaining to them certain norms and rules. IOS and IE were used to quantify the impact of the PAB over a certain period.

PSA allows you to identify potential hazards in workplaces that were previously were not taken into account, it also allows us to determine the real opinion of workers about the state of labor protection at work [9].

To analyze the implementation of the PAB, an energy organization providing electricity transmission services was selected. The average number of personnel of the organization is 169 people. On average, one structural unit employs 20 people. As the object of the study, two operational mobile teams for servicing distribution networks were selected, each of which consists of two people: an electrician on duty and an electrician with a combination driver. Each of the teams works at different sites, but with the same content and conditions of work.

The process of conducting a PAB consists of the following stages: preparation, observation, conversation with the employee, drawing up a report, taking corrective measures and control. The results of the PAB are recorded in the PAB cards.

Based on the results of the PSA, IOS and IE were identified based on the identified dangerous actions and conditions.

IOS is an indicator for analyzing the results of PAB [10].

IOS and IE are calculated using formulas (1–3).

1. Index of dangerous situations:

$$IOS = \frac{\text{number of hazardous actions} + \text{number of hazardous conditions}}{\text{number of employees}}. \quad (1)$$

When calculating IOS, the ratio of the total number of dangerous actions is determined and conditions for the number of employees for whom the audit was carried out. That is, when calculating the IOS, the number of dangerous actions and conditions per employee is obtained. Accordingly, a decrease in this index over the billing period indicates about the positive dynamics of employee behavior (the number of workers who neglect correct behavior in the workplace is decreasing), or about changes in working conditions (a decrease in hazardous conditions in the workplace). When the IOS increases, the opposite is true.

IOS reflects the dynamics of the number of dangerous situations and is an indicator of the need to take timely corrective measures [10].

2. Elmerly index:

$$IE = \frac{\text{"good" points}}{\text{"good" points} + \text{"bad" points}}. \quad (2)$$

To evaluate PAB, it is advisable to use the following notations:

- «good» items – the number of safe actions;
- «bad» items – the number of dangerous actions.

Taking into account the proposed changes, the formula for calculating IE will have the following form:

$$ИЭ = \frac{\text{number of safe actions}}{\text{number of safe actions} + \text{number of dangerous actions}} \quad (3)$$

### Research results and their analysis

The PAB took place on the monthly Occupational Safety and Health Day for the third quarter of 2022 from January to September. In total, nine PABs were conducted for each of the teams during the third quarter.

The main factors that were assessed during PAB [11]:

1. Employee reaction.
2. Overalls.
3. Equipment and tools.
4. Rules and instructions.
5. Compliance with industrial sanitation and order standards.

Data on identified dangerous and safe actions, hazardous conditions and the number of employees by factors are presented in table 1.

Table 1

**Data on identified actions and conditions**

Quarter	№ brigade	Number of observed employees		Number of dangerous actions	Number of hazardous conditions	Number of safe actions
		1 brigade	2 brigade			
1	1	2	2	32	23	56
	2			40	25	72
2	1			26	19	73
	2			32	20	86
3	1			21	15	80
	2			26	17	104
TOTAL	1			79	57	209
	2			98	62	262

According to the results of the PSA for three quarters of 2022, the first brigade had the most dangerous actions associated with special clothing: 36 out of 79 dangerous actions, which is 45,57 % (improper use of PPE, lack of checking PPE before use, finding PPE in poor condition, improper storage of PPE).

Employee reaction – 5 dangerous actions; equipment and tools – 26; rules and instructions – 7; compliance with industrial sanitation and order standards – 5.

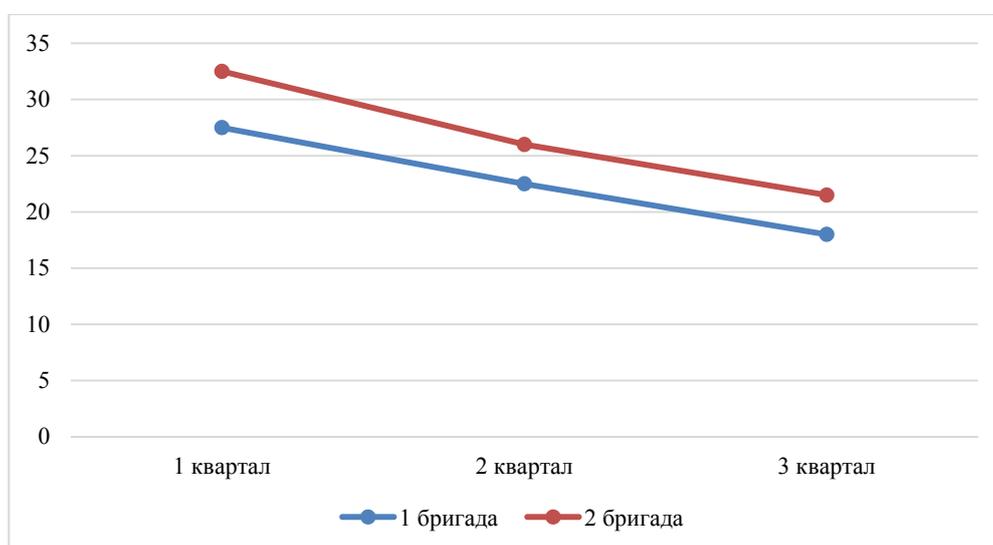
For the second team: worker reaction – 9; workwear – 33; equipment and tools – 35; rules and instructions – 11; compliance with industrial sanitation and order standards – 10.

Calculations of the index of dangerous situations and the Elmerly index for the first and second teams are presented in table 2.

**IOS and IE calculations**

Quarter	№ brigade	Number of observed employees		ISO	IE
		1 brigade	2 brigade		
1	1	2	2	27,5	0,64
	2			32,5	0,64
2	1			22,5	0,74
	2			26	0,73
3	1			18	0,79
	2			21,5	0,8

When analyzing the results of calculating IOS and IE, a decrease in IOS is noted for the first, and the second brigade, which indicates the positive dynamics of the PAB (fig. 1).



**Fig. 1. IOS changes**

The reduction in this indicator occurs due to corrective measures taken both in the process of conducting a behavioral safety audit and subsequently.

The main measures that were taken:

- conducting explanatory conversations during the PSA, indicating dangerous actions and conditions and the consequences to which they may lead;
- work stoppage due to faulty equipment / due to incorrect use of PPE;
- submitting applications for personal protective equipment;
- instructions to the necessary services and departments to supply teams with serviceable equipment and personal protective equipment;
- encouraging workers who perform safe actions;
- installation of safety signs at workplaces;
- practical lessons in the use of PPE.

Due to corrective actions, the number of hazardous conditions and activities has decreased.

In fig. 2 shows a graph of changes in the Elmerly index. The graph also shows the positive dynamics of changes in IE, which shows the correction of undesirable dangerous behavior of workers and the effectiveness of the measures taken.

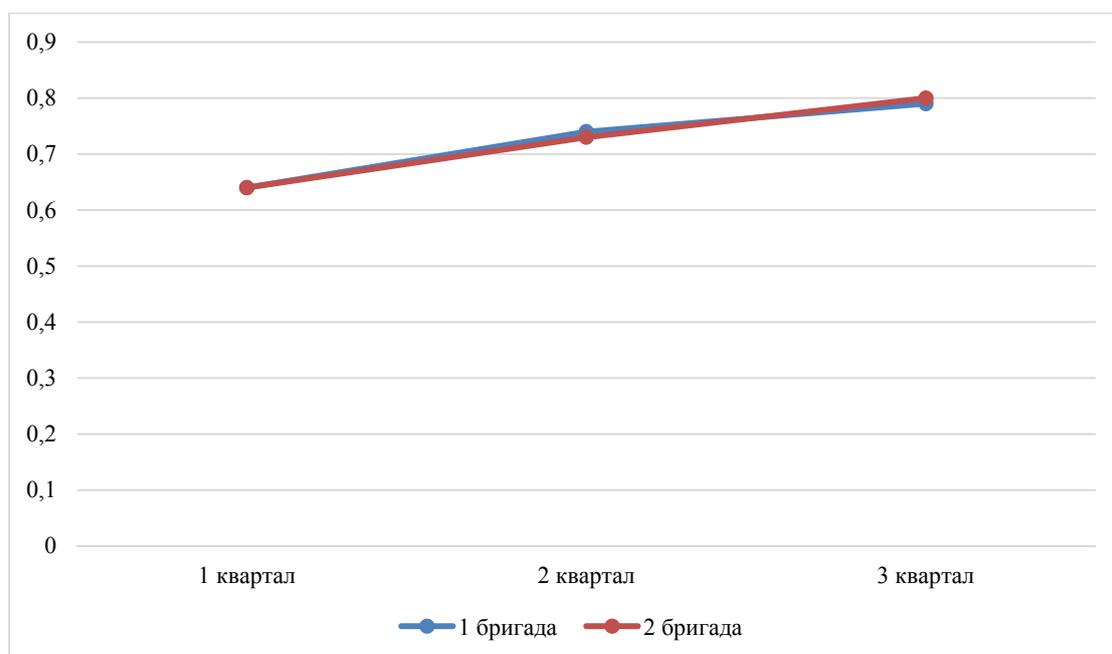


Fig. 2. IE changes

The calculated indices make it possible to identify the strengths and weaknesses of the OSMS within the framework of an internal behavioral safety audit, to identify hazardous working conditions, to determine the likelihood of the risk of injury and to find out its possible consequences, and most importantly, to improve the safety culture among the personnel by conducting a safety and security policy.

During the PSA process, when dangerous actions of workers were identified, explanatory conversations were held indicating violations and ways to eliminate them.

### Conclusion

The study allowed us to draw the following conclusions:

1. The identified positive dynamics of IOS and IE indicate that conducting PSA should be a regular tool in the field of labor protection.

2. The «Employee Reaction» factor ranks fewer dangerous actions, which can be argued by the fact that over time workers have adapted to the auditor, and this ceased to cause fear.

3. The change in quantitative indicators (IOS and IE) is linear, that is, with an increase in the frequency of PSA per month, it is possible to reduce dangerous conditions and actions and increase safe ones.

4. PSA is an effective measure of influencing the behavior of workers in the process of performing labor functions for the better, which in the long term can significantly reduce the number and severity of accidents.

### References

1. Working conditions. URL: [rosstat.gov.ru/working\\_conditions](http://rosstat.gov.ru/working_conditions) (access date: 10.12.2022).
2. Prygunov P.V. Safety culture is a priority of production activities // *Young scientist*. 2019. P. 373–375.
3. Ponomarenko D.V., Lesnykh V.V., Panova M.A. Assessment and development of industrial safety culture at PJSC Gazprom // *Gas industry*. 2017. P. 78–80.
4. Kovalkovskaya N.O., Utyuganova V.V., Serdyuk V.S. Features of introducing a culture of labor safety at machine-building enterprises // *Scientists of Omsk – to the region: materials of the Regional scientific and technical conf.* Omsk: Omsk state. tech. univ. 2018. P. 100–105.
5. General provisions for ensuring the safety of nuclear power plants: Federal norms

and rules in the field of atomic energy use dated February 15. 2016 № NP-001-015 // Collection. Russian legislation Federation. 2016.

6. Klimova E.V., Semeykin A.Y., Nosatova E.A. Prospects for the introduction of micro training in the occupational safety management system // Materials science and engineering: paper presented at the IOP conference series. 2020. № 753 (7).

7. Glebova E.V., Volokhina A.T., Vikhrov A.E. Development and implementation of methods for behavioral safety audit conducting in the fuel and energy complex // Earth and Environmental Science: paper presented at the IOP conference series. 2020. № 459 (3).

8. Examining the impact of abusive supervision on employees' psychological wellbeing and turnover intention: The mediating role of intrinsic motivation / K. Hussain [et al.] // Cogent business and management. 2020. № 7 (1).

9. Khairullina L.I., Krylatykh I.S., Guryanova D.V. Conscious safety as an element of behavioral audit at an enterprise // Security: information, technology, management. 2020. P. 42–45.

10. Conducting a leadership behavioral safety audit: enterprise standard SE-ST-05/02. Nur-Sultan, 2019.

11. Tursunov O.Z. Features of implementing behavioral security audit in production // Life safety: science, education, practice. 2017. P. 263–266.

**Information about** the article: the article was received by the editor: 20.02.2023;  
accepted for publication: 16.07.2023

*Information about the authors:*

**Kuzhakhmetova Yana N.**, master's student of Peter the Great Saint-Petersburg polytechnic university (195251, Saint-Petersburg, Politekhnikeskaya str., 29), e-mail: prohorenko98@mail.ru

Scientific article

UDK 614.8

## **ANALYSIS OF OCCUPATIONAL INJURIES IN THE CONSTRUCTION INDUSTRY: THE RELATIONSHIP OF FATAL INJURIES WITH THE GROWTH OF HIGH-RISE CONSTRUCTION**

**Chipizubov Daniil V.**

**Peter the Great Saint-Petersburg polytechnic university, Saint-Petersburg, Russia**

***chipizubov.dv@edu.spbstu.ru***

*Abstract.* The main causes of injuries in construction are considered, as well as the connection between the increase in injuries and the increase in the share of high-rise construction based on statistical data from supervisory authorities and data from statistical information resources. An analysis of published studies on the problem of injuries in construction was carried out, and measures were considered in the field of reducing industrial injuries at construction sites. The main legal act regulating the performance of work at height has been analyzed, in which some shortcomings have been identified that mainly affect the safety of work at height. Recommendations are proposed for making additions in the field of performing work at height, such as the development of methods for specialized calculation of the load on an anchor device, the selection of anchor lines, as well as the introduction of additions to determine the minimum acceptable risk, the standardized indicator of which has not been measured to date.

*Keywords:* construction, injuries in the construction industry, industrial injuries, accident, fall from height

**For citation:** Chipizubov D.V. Analysis of occupational injuries in the construction industry: the relationship of fatal injuries with the growth of high-rise construction // Supervision activities and forensic examination in the security system. 2023. № 3. P. 66–71.

### **Introduction**

All over the world, the construction industry is equated to the most dangerous sector of the economy, since, despite the improvement in the technical level of production and working conditions, the number of accidents in the industry increases every year.

Many domestic and foreign works have been devoted to the study of injuries in the construction industry. The authors analyze the main causes of injuries and ways to reduce it. Some of them note that injuries in the construction industry are associated with insufficient control of labor protection (OHS) at work by regulatory authorities [1–2], others - that the main cause of injuries is the human factor and irresponsible behavior [3], however, most authors come to the conclusion about the impact of a combination of factors on the occurrence of NS [4–5]. The authors highlight training and preventive measures based on studying the causes of industrial injuries in construction, in particular the causes of falls, as the main proposals in the field of reducing injuries in the construction industry from above [6], developing various methods for predicting accidents, including a matrix-index approach to calculations [7–8], and also considering options for introducing the concept of «zero injuries» (Vision Zero) [9]. The concept of zero injuries is one of the innovative high-quality methods for reducing industrial injuries; the authors are convinced that the implementation of this concept in production in Russia will prevent the occurrence of accidents and achieve a high level of organization to ensure occupational safety and health of workers in various industries [9].

The purpose of the study was to study the causes of industrial injuries in construction related to work at height, based on their analysis and systematization and identification of patterns in the increase in injuries with the growth of high-rise construction in Russia.

## Research methods

During the study, methods of statistical analysis, methods of mathematical calculations, and a graphical method of providing information were used.

To analyze injuries in the construction industry, statistics from Rosstat, Rostrud, the National association of builders (NOSTROY), the Unified Interdepartmental Information and statistical system (EMISS), the Unified resource of developers (ERZ), as well as reports from the Ministry of health were used.

The results of the analysis are presented in the form of tables and figures, which allows you to clearly assess the current situation with injuries and its trend.

## Research results and their analysis

The construction industry in Russia is developing dynamically, the volume of work in 2021 will compared to 2020, increased by 14 % and will continue to increase. The increase in the volume of work will be associated with the strategic goals described in the industry development strategy for 2030 (fig. 1) [10].

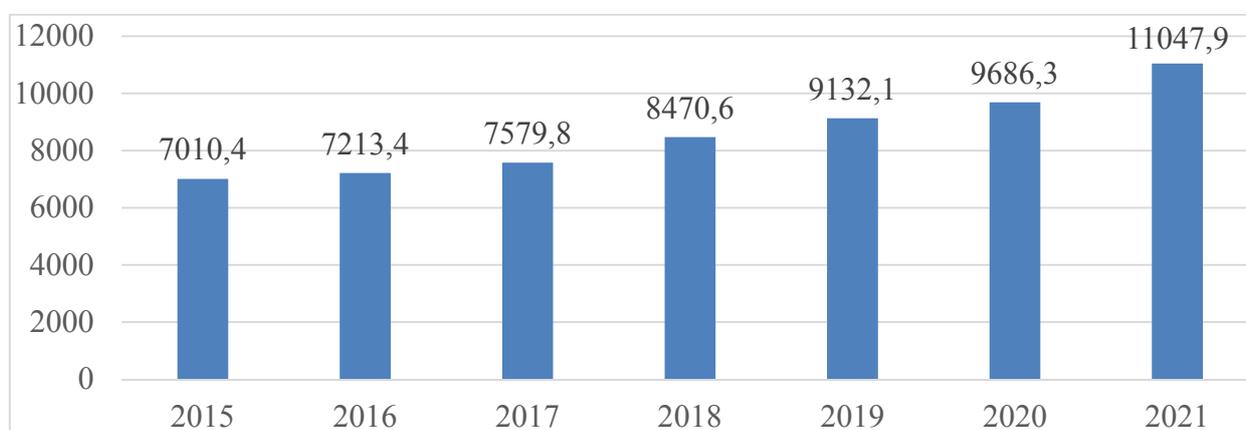


Fig. 1. Dynamics of the volume of construction work, billion rubles

The average annual number of people employed in construction is also increasing; according to EMISS data for 2021, this figure increased by 5 % compared to 2020 (fig. 2) [11]. However, according to experts, to complete the volume of work planned in accordance with national development projects, there is a shortage of qualified personnel in the construction industry. To achieve the set goals, in accordance with the development strategy, the number of employees should be increased to 11.3 million people (by 73 % compared to the current year, that is, almost twice). Within this goal, there are certain risks associated with such a large number of people. These risks are associated with a lack of qualified personnel; the lack of qualifications of new workers can lead to an even greater increase in injuries.

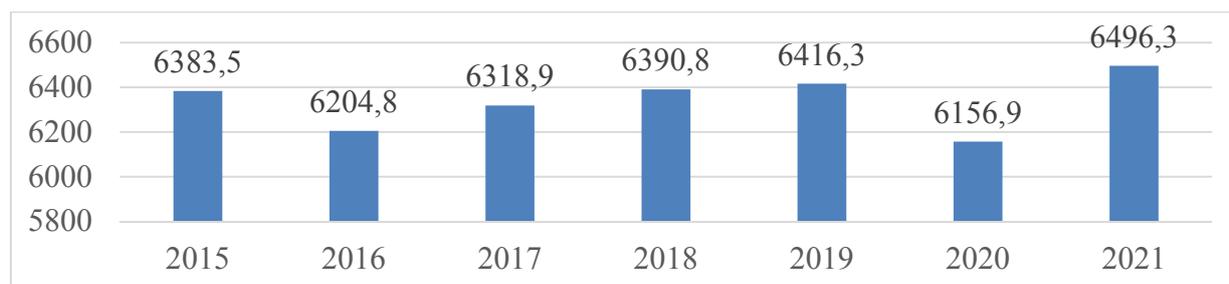


Fig. 2. Average annual number of employees in the construction industry, thousand people

In table 1 shows the dynamics of fatal injuries in the construction industry. As can be seen over the past year, the number of fatalities at work has increased by 14 %, and the number of fatalities in the construction industry has also increased by 1 % (fig. 3).

Table 1

### Dynamics of the number of fatal accidents in construction

Indicators	2016	2017	2018	2019	2020	2021	Deviation (2021 to 2020), %
Total number of workplace fatalities	2072	1722	1698	1613	1175	1350	+14
Number of victims fatalities as a result of registered accidents in construction	414	413	363	374	334	339	+1
Share, %	20	24	21	23	28	25	-11

At the same time, there is an increase in the share of fatal accidents in construction in the total number of fatal accidents at work in the country, which suggests that the construction industry remains the most dangerous sector of the economy.



Fig. 3. Dynamics of fatalities at work, in particular in the construction industry

The main type of severe UA and fatal cases is a fall from high. This type of NS accounts for 33,4 % of all NS in 2021, compared to 31,6 % in 2020 [12].

In 90 % of cases, a fall from a height ends in death. Wherein in most cases, deaths result from falls from a height of the 5th floor – 16 % and above the 10th floor – 19 % [13].

According to the ERZ, the share of high-rise construction in the total volume of housing construction increases annually and in 2021 amounts to 26 % [14]. The statistics include buildings with a height of 25 floors or more. The average number of floors of buildings is the highest in Moscow and is 27,1 floors. In second place in Russia in terms of average number of floors are the Sverdlovsk region (22,5 floors), as well as the Republic of Bashkortostan (20,8 floors), Novosibirsk region (20,2) and Lipetsk region. (19,6).

Based on the above statistics of cities on the share of high-rise construction, it is proposed to consider the dynamics of fatal occupational injuries in construction in these cities (table 2).

**Dynamics of fatal industrial injuries in cities with a high share of high-rise construction**

Indicators	2018	2019	2020	2021	Growth rate, (2021 to 2020), %	Specific gravity, %
Number of victims fatalities as a result of registered accidents in construction	363	374	334	339	101	100
Moscow	110	71	73	88	120	26
Moscow region	12	17	12	5	0,04	1
Saint Petersburg	4	18	21	15	0,7	4
Krasnodar region	6	9	4	2	0,5	1
Ufa (Republic of Bashkortostan)	3	14	6	4	0,66	1
Ekaterinburg (Sverdlovsk region)	1	8	6	2	0,33	1
Novosibirsk region	4	3	2	3	1,5	1
Krasnoyarsk region	6	3	4	0	0	0

On the base of the table 2 we can conclude that the growth of NS is observed only in Moscow and the Novosibirsk region, in other cities and regions NS tend to decrease. The largest decrease is shown in the Moscow region – reduction by 96 % (by seven NS), it is also necessary to note the decrease in this indicator in St. Petersburg by 30 % (in absolute value six NS).

If we consider the dynamics of emergency situations in the context of cities leading in terms of construction volume, it should be noted that the share of fatalities in construction in Moscow is equal to 26 % of the total number of cases in these cities, and since 2019 there has been an increase in fatalities [12]. In 2021, the increase in the number of NS here was 20 % (in absolute terms – 11 NS). There are no such statistics in any of the cities or regions presented.

Thus, one can see the relationship between the increase in high-rise construction and the number of deaths in Moscow. It can be assumed that in order to speed up the delivery of objects, construction enterprises and employees neglect safety precautions when performing high-rise construction work.

The NOSTROY Association collects statistical data on accidents in construction; this organization not only summarizes data on industrial injuries in construction, but also maintains statistics on the main causes of accidents.

The main causes of injuries, according to NOSTROY in 2021, are:

1. Violation of safety rules when working at height (failure to use safety systems, insufficient control over the preparation of the workplace, etc.).
2. Violation of safety rules in construction (failure to conduct a medical examination, operation of faulty equipment, failure to use protective equipment).
3. Simultaneous violation of the requirements of several regulations governing relations in the field of occupational safety.

When falling from a height, half of the accidents occur due to violation of the rules when working at height, NOSTROY notes the following main causes of falls in construction:

- working on one rope (loss of control over the descender, lack of a knot at the end of the rope, unfastening of the descender when flying into an unsupported space);
- lack of insurance (fall due to lack of insurance, incorrect insurance);
- destruction of anchor lines (deformation of anchor points, breakage of working and safety rope) [15].

It is important to note that from January 1, 2021, changes were made to the regulatory requirements for labor protection when working at height, approved by Order № 782n dated November 16, 2020 «On approval of the Rules for labor protection when working at height».

In accordance with the updated order, it was allowed to carry out work at heights with wind speeds of more than 15 m/s, thunderstorms, fog and with large sail structures, subject to the indication in clause 3 of the approval order of measures that reduce the impact of adverse factors to the minimum acceptable risk [15]. Previously there was a direct ban. At the same time,

the rules do not define the minimum acceptable risk or the methodology for calculating it, or the standard level. It is not noted how much the prescribed measures can reduce the impact of these adverse factors, if they will not help completely eliminate the risk of their exposure. Thus, we can conclude that employers may make mistakes when determining the risk of falling from a height, thereby allowing the occurrence of accidents.

In accordance with the new requirements in the updated safety regulations, responsible persons must conduct a specialized calculation of the parameters of the anchor line before starting the relevant work. This innovation should reduce the number of emergency situations arising from the destruction of anchor lines [16].

However, when studying this order, it was revealed that it does not indicate how this calculation should be carried out and there is no data on the choice of parameters of anchor lines.

Thus, it can be assumed that the increase in fatal accidents in Moscow is associated not only with the fast pace of work and neglect of safety precautions, but also with the identified contradictions in the new rules.

Thus, we can summarize that reducing injuries in construction during work at height is possible by finalizing legislative acts in the field of regulation of these works, namely by introducing a method of specialized load calculation on the anchor device, the minimum permissible risk (or standard risk value).

### Conclusion

Comparing the results obtained with the results of research by other authors, it is confirmed that the construction industry is by far the most dangerous. Injuries in construction are not decreasing. This is explained by the high growth rates of construction volumes and the increase in people employed in construction. Leading city

In terms of construction volume, Moscow is currently the largest city. The share of high-rise construction throughout the country and in this city is increasing. The largest number of NS fatalities also occur in Moscow – almost half of all fatal accidents. In addition, since 2019 in Moscow there has been an increase in fatal accidents. Thus, the relationship between the increase in high-rise construction and the number of public buildings is obvious. Since, according to Rosstat and NOSTROY, the main type of accident for three years has been falling from a height, the main reasons for which are violations of safety regulations, it can be assumed that with the high pace of city development, safety precautions when working at height are neglected. The increase in fatal emergency situations in Moscow is associated not only with the rapid pace of work and neglect of safety precautions, as well as identified contradictions in the new occupational safety rules. To reduce industrial injuries in the construction industry, it was proposed to amend the rules for working at height and introducing a specialized calculation of the load on the anchor device, as well as standard values of the minimum acceptable risk and methods for calculating the minimum acceptable risk.

### References

1. Arslan M., Cruz C., Ginjac D. Semantic enrichment of spatio-temporal trajectories for worker safety on construction sites // Paper presented at the Procedia Computer Science. 2018. № 130. P. 271–278. DOI: 10.1016/j.procs.2018.04.039.
2. Proximity warning and excavator control system for prevention of collision accidents / B. Jo [et al.] // Sustainability (Switzerland). 2017. № 9 (8). DOI: 10.3390/su9081488.
3. Variety of accident causes in construction industry: paper presented at the MATEC Web of Conferences / I. Othman [et al.]. 2018. DOI: 10.1051/mateccconf/201820302006.
4. Themes and factors of construction safety management for system dynamic model interactions. A systematic review / N.A. Jasni [et al.] // Earth and Environmental Science: paper presented at the IOP Conference Series. 2019. № 385 (1). DOI: 10.1088/1755-1315/385/1/012055.
5. Is perception of safety climate a relevant predictor for occupational accidents? A prospective cohort study among blue-collar workers / J.Z.N. Ajslev [et al.] // Scandinavian Journal of Work, Environment and Health. 2018. № 44 (4). C. 370–376. DOI: 10.5271/sjweh.3723.

6. Volkov I.I., Vakhrusheva O.M. Reducing the level of accidents and injuries in construction // Scientific works of KUBGTU. 2019. № 3. P. 321–327.
7. Sharmanov V.V., Simankina T.L. Matrix-index approach to assessing the level of injuries at construction sites // Bulletin of the Scientific Center for Work Safety in the Coal Industry. 2020. № 1. P. 75–82.
8. Stepanchenko A.A., Shkrabak V.S. Zero injuries in construction // Safe and comfortable city: collection scientific works based on materials of the IV International scientific-practical conf. 2020. P. 526–529.
9. Lankova L.A. Injuries in construction: analysis of the causes of worker falls from above // Scienceosphere, 2022. № 4-2. P. 225–229.
10. Rostrud. Information about types (types) of accidents with severe consequences. URL: [https://rostrud.gov.ru/control/soblyudenie-zakonodatelstva-o-trude/?CAT\\_ID=15047](https://rostrud.gov.ru/control/soblyudenie-zakonodatelstva-o-trude/?CAT_ID=15047) (access date: 14.01.2023).
11. EMISS. URL: <https://www.fedstat.ru/indicator/58994> (access date: 14.01.2023).
12. Rosstat. Construction. URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/14458> (date of access: 14.01.2023).
13. Larina O.P., Khalabuda E.I. Ensuring safety during construction and installation work at height // News of universities. Investments. Construction. Real estate. 2019. № 4. P. 734–741.
14. Single resource for developers of the Russian Federation. URL: <https://erzrf.ru/novostroyki?noC=&region=moskva&regionKey> (access date: 01/14/2023).
15. NOSTROY. Annual report. URL: <https://nostroy.ru/information-disclosure/godovoy-otchet-2021/> (access date: 14.01.2023).
16. On approval of the Labor safety rules when working at height: order dated November 16. 2020 № 782n. Access from the legal reference system «ConsultantPlus».

**Information about the article:** the article was received by the editor: 20.02.2023;  
accepted for publication: 06.09.2023

*Information about the authors:*

**Chipizubov Daniil V.**, master's student of Peter the Great Saint-Petersburg polytechnic university (195251, Saint-Petersburg, Politekhnikeskaya str., 29), e-mail: [chipizubov.dv@edu.spbstu.ru](mailto:chipizubov.dv@edu.spbstu.ru), SPIN: 3598-4130

Scientific article

UDK 504.054

## **ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF MICROPLASTICS ON THE HUMAN BODY**

✉ **Polugodina Irina A.;**

**Politaeva Natalya A.**

**Peter the Great Saint-Petersburg polytechnic university, Saint-Petersburg, Russia**

✉ *IrinaAndreevna\_98@mail.ru*

*Abstract.* The ways in which microplastics enter the environment are considered, in particular, the pollution of the world's oceans and its impact on living organisms living in the continental waters of the Gulf of Finland and Lake Ladoga. The characteristics of microplastic particles, their use in industry and their threatening effect on the human body through the food chain are presented. Using the methodology for studying bottom sediment samples, an analysis of the content of microplastic particles in the bottom sediments of Lake Ladoga was carried out. Samples of bottom sediments were studied, and as a result of the study, microplastic particles of various shapes, colors and sizes were identified. To obtain more accurate information about the chemical composition of particles, it is necessary to conduct an analysis using an IR spectrometer. Methods have been proposed to combat the spread of microplastics in the environment. Further research into this issue is envisaged.

*Keywords:* microplastic, ocean pollution, environmental problem, plastic, continental waters

**For citation:** Polugodina I.A., Politaeva N.A. Analysis of the influence of microplastics on the human body // Supervision activities and forensic examination in the security system. 2023. № 3. P. 72–76.

With the development of industry, plastic came into our lives as the cheapest, wear-resistant, durable and lightweight material, in comparison with others (glass, metal and so on.). A huge part of the production in our country and in the world as a whole is produced made of plastic, it has already become part of daily use. But how many resources are spent for plastic production? How much for its further destruction or decomposition? Most plastic products are not recycled, but are sent to municipal solid waste landfills or unauthorized dumps. One of the places where plastics accumulate is the world's oceans. Tons of plastic trash drifting in the waters of the world's oceans, having a negative impact on marine life, and then and per person. Over the past few years, scientists, public figures and politicians sounded the alarm and began to take action to clean up sea waters from garbage. Cleaning up large debris does have a positive impact, as some animals have died from becoming entangled in packaging or were disfigured.

But it turned out that cleaning a water body from large debris is not enough, because when it decomposes, plastic breaks down into micro- and nano-plastic. Microplastics arrive into water bodies not only from garbage, but also from industrial wastewater, as well as domestic wastewater. Many cosmetics manufacturers add microplastic particles to their cosmetics: glitter, abrasive particles in scrubs, toothpastes etc. In the environment, plastic microbeads first appeared in personal care products about fifty years ago, and plastic is increasingly replacing natural ingredients, according to the UN Program. Back in 2012, this problem was relatively unknown because there were many products on the market containing plastic microbeads and consumers knew little about it. Also, microplastic particles end up in wastewater when washing products that contain synthetic fibers. Thus, pollution by plastic particles poses a threat to all living organisms, including humans, and the environment as a whole.

Accumulating under the influence of biota, microplastics cause multiple environmental consequences.

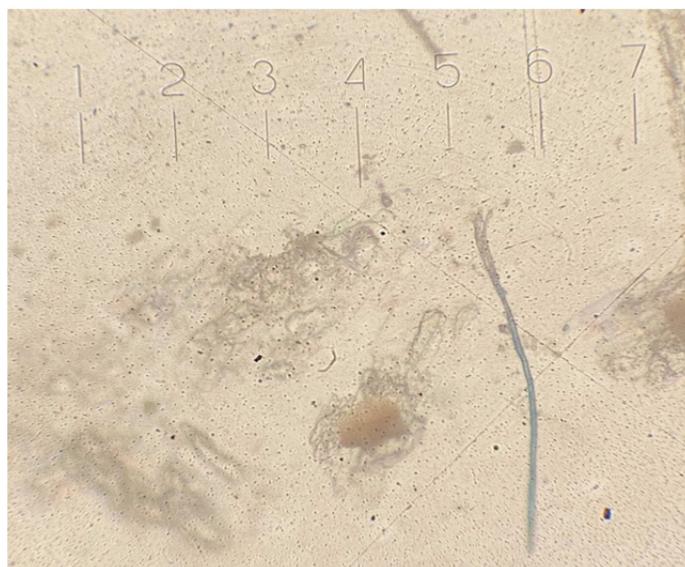
But while everyone was preoccupied with the waters of the world's oceans, no one thought of continental waters, but traces of plastic decay were also found in them.

And here the question became more acute, because continental waters are sources of fresh water that we consume daily. Thus, in Russia, the following water bodies were studied by the Institute of lake science (INOS RAS): the Gulf of Finland (near Saint-Petersburg) and lake Ladoga. Microplastic particles were found in both objects.

The relevance of the problem under consideration is confirmed by the following factor: a new type of environmental pollution, microplastics, poses a threat to the ecological state of water bodies and can affect the human body as at the local and global levels. Due to the fact that competent environmental organizations have dealt with the problem of the spread of microplastics relatively recently, at the moment there are no clear methods for identifying and analyzing this type of particles in natural objects [1–4].

The purpose of the work is to study the effect of microplastics on humans.

Plastics are artificially synthesized molecular compounds. They are formed from structural repeating units – monomers, which are then linked into long chains – polymers. In turn, it can be divided into primary and secondary plastic. The main problem with microplastics is their small size, from 1 micron to 5 mm. And if particles from 1 to 5 mm can be seen, then a smaller size can only be detected under a microscope (fig. 1, 2), so the spread of microplastics in the biosphere occurs completely unnoticed by humans. Microplastic has a large number of shapes and types, these can be sticks of various colors, most often blue and red, shreds, long threads, granules, etc. [5].



**Fig. 1. Blue fibrous microplastic particle in a sample of bottom sediments of lake Ladoga 2022**



**Fig. 2. Blue fibrous microplastic particle in a sample of bottom sediments of lake Ladoga 2022**

Primary microplastics are particles (microgranules) with certain parameters that are produced to be added to various products. They are widely used in the production of cosmetics, for example, cosmetics with added glitter or toothpastes with abrasive particles used for teeth whitening and household chemicals, in washing powders for better stain removal, in industry they can be used as abrasives used to clean dirty surfaces buildings or technical means, for example, ships, microgranules are also actively used in 3D printers [1, 4].

Recycled microplastics are formed by the breakdown of large pieces of plastic waste such as plastic bags, disposable plastic tableware, bottled containers and other types of waste into microscopic particles under the influence of a combination of physical, chemical and biological processes in the environment [1]. Another example of secondary microplastics is dust generated by the friction of car tires about the road surface, this type of pollution spreads both in the atmospheric air and enters the storm sewer, and then into the city's wastewater [6].

Microplastics can enter the human body through the respiratory system, that is, the person will be in an area with polluted atmospheric air, for example, near from the highway and/or through the gastrointestinal tract. Particles may also settle on the skin, and subsequently are inhaled by a person or cause microtrauma to the skin due to mechanical impact. Microplastics can enter the human stomach when eaten. But where does it come from? Everything starts again with the polluted waters of the world's oceans/continental waters, and the next food chain is formed (fig. 3).

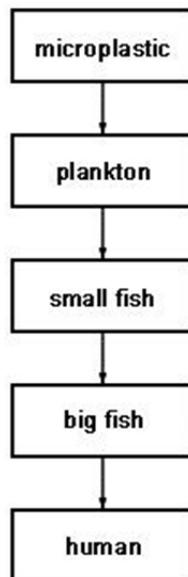


Fig. 3. Food chain in the aquatic environment

Plankton is the basis of the marine food chain; therefore, it is consumed by all marine life, which is then consumed by humans.

In addition, microplastics were found in drinking water, tea bags, coffee and shellfish.

The main danger of microplastic is that it is an excellent adsorbent, which allows it to accumulate various harmful and toxic substances inside itself. When contaminated plastic particles enter the digestive system of any living organism, toxic substances are released and cause harm to health, and the particles also cause mechanical damage because they are hard abrasive objects.

To summarize, we can say that microplastics are a new global problem for humanity. At the moment, there are no methods for extracting plastic particles from the environment that harm living organisms without suspecting about this because microplastic is an invisible enemy. You can protect yourself by limiting the appearance of microplastic particles, for example, by refusing disposable tableware. Many companies produce stylish reusable thermal mugs and bottles; you can come to a coffee shop with them and ask them to prepare your favorite drink in your mug. You must avoid materials with the addition of polymer particles, use reusable bags instead of bags, give preference to clothes made from natural materials, and sort garbage.

## References

1. Study of the content of microplastic particles in water, bottom sediments and soils of the coastal territory of the Neva Bay of the Gulf of Finland / Sh.R. Pozdnyakov [et al.] // *Water resources*. 2020. DOI: 10/31857/S0321059620040148.
2. Ivanova E.V., Pozdnyakov Sh.R., Tikhonova D.A. Analysis of microplastic concentrations in water and bottom sediments as a new aspect of ecological monitoring // *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 2021. № 834. DOI: 10.1088/1755-1315/834/1/012057.
3. Rumyantsev V.A., Pozdnyakov Sh.R., Kryukov L.N. On the issue of microplastics in continental waters // *Russian Journal of Applied Ecology*. 2019.
4. Pitulko V.M., Ivanova V.V., Kulibaba V.V. Ecological safety of marine natural-economic systems of the Russian Baltic states: monograph. M.: Publishing house. INFRA-M center, 2016. 317 p.
5. Donchenko V.K., Ivanova V.V., Pitulko V.M. Ecological and chemical features of coastal waters. SPb.: Publishing house. NICEB RAS, 2008. 540 p.
6. Cartwright P.S. New problems of drinking water pollution // *Water and water treatment technologies*. 2018. № 1 (87). P. 4–13.
7. Esyukova E.E., Bagaev A.V., Mizyuk A.I. Floating debris on the beaches of the south-eastern Baltic: observations and numerical modeling // *Regional ecology*. 2017. № 1. P. 47–57.
8. Kozlovsky N.V., Blinovskaya Ya.Yu. Microplastics – a macroproblem of the world ocean // *International journal of applied and fundamental research*. 2015. № 10-1. P. 159–162.
9. Feyzullaeva R.E. Systematic analysis of the problem of growing plastic waste and their negative impact on the environment // *Modern problems of territorial development*. 2019. № 3. ID 94 ISSN: 2542-2103.
10. A review on microplastics and nanoplastics in the environment: Their occurrence, exposure routes, toxic studies and potential effects on human health / S. Sangkham [et al.] // *Marine Pollution Bulletin*. 2022. DOI: 10.1016/j.marpolbul.113832.
11. Microplastics as vectors of environmental contaminants: Interactions in the natural ecosystems / R. Iqbal [et al.] // *Human and Ecological Risk Assessment*. 2022. DOI: 10.1080/10807039.2022.2120846.
12. A critical review on the interactions of microplastics with heavy metals: Mechanism and their combined effect on organisms and humans / Y. Cao [et al.] // *Science of the Total Environment*. 2021. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.147620.
13. Airborne microplastics: A review study on method for analysis, occurrence, movement and risks / C.E. Enyoh [et al.] // *Environmental Monitoring and Assessment*. 2019. № 191 (11). DOI: 10.1007/s10661-019-7842-0.
14. Oxidation and fragmentation of plastics in a changing environment; from UV-radiation to biological degradation / A.L. Andrady [et al.] // *Science of the Total Environment*. 2022. № 851. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.158022.
15. Lambert S., Wagner M. Characterisation of nanoplastics during the degradation of polystyrene // *Chemosphere*. 2016. № 145. P. 265–268. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2015.11.078.
16. Distribution and potential health impacts of microplastics and microrubbers in air and street dusts from asaluyeh county, Iran / S. Abbasi [et al.] // *Environmental Pollution*. 2019. № 244. P. 153–164. DOI: 10.1016/j.envpol.2018.10.039.
17. Zobkov M., Esiukova E. Microplastics in Baltic bottom sediments: Quantification procedures and first results // *Marine Pollution Bull.* 2017. Vol. 114. P. 724–732.
18. Screening for microplastics in sediment, water, marine invertebrates and fish: method development and microplastic accumulation / T.M. Karlsson [et al.] // *Mar. Pollut. Bull.* 2017.
19. Microplastics in the Northwestern Pacific: Abundance, distribution, and characteristics / Z. Pan [et al.] // *Sci. Total Environ.* 2019.
20. Methods for sampling and detection of microplastics in water and sediment: a critical review / J.C. Prata [et. al.] // *TrAC Trends Anal. Chem.* 2019.

21. Accumulation of Microplastic on Shorelines Worldwide: Sources and Sinks / M.A. Browne [et al.] // Environmental Science & Technology. 2011. Vol. 45. Iss. 21. P. 9175–9179. DOI: 10.1021/es201811s.
22. Schymanski D., Goldbeck C., Humpf H.-U. Analysis of microplastics in water by micro-Raman spectroscopy: Release of plastic particles from different packaging into mineral water // Water Research. 2018. Vol. 129. P. 154–162. DOI: 10.1016/j.watres.2017.11.011.
23. Abbasi S., Turner A. Dry and wet deposition of microplastics in a semi-arid region (Shiraz, Iran) // Science of the Total Environment. 2021. № 786. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.147358.
24. Examination of the ocean as a source for atmospheric microplastics / S. Allen [et al.] // PLoS ONE. 2020. № 15 (5). DOI: 10.1371/journal.pone.0232746.
25. Geyer R., Jambeck J.R., Law K.L. Production, use and fate of all plastics ever, made // Sci. Adv. 2017.

**Information about the article:** the article was received by the editor: 15.12.2022;  
accepted for publication: 01.07.2023

*Information about the authors:*

**Polugodina Irina A.**, master's student of Peter the Great Saint-Petersburg polytechnic university (195251, Saint-Petersburg, Politekhnikeskaya str., 29), e-mail: IrinaAndreevna\_98@mail.ru

**Politaeva Natalya A.**, professor of higher school of hydraulic and energy construction of Peter the Great Saint-Petersburg polytechnic university (195251, Saint-Petersburg, Politekhnikeskaya str., 29), e-mail: politaeva1971@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-5914-6210>, SPIN: 9964-2034



**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий имени Героя Российской Федерации генерала армии Е.Н. Зиничева»**

Federal state budgetary educational institution of higher education «Saint-Petersburg university of the State fire service of the Ministry of the Russian Federation for civil defense, emergencies and disaster relief named after Hero of the Russian Federation army general E.N. Zinichev»

**Научно-аналитический журнал**  
Scientific and analytical journal

## **Надзорная деятельность и судебная экспертиза в системе безопасности**

Supervisory activities and forensic examination in the security system

**№ 3–2023**

**Свидетельство о регистрации**  
**ПИ № ФС 77-57194 от 11 марта 2014 г.**  
Registration certificate PI № FS 77-57194 dated March 11, 2014.

**Выпускающий редактор Г.Ф. Сулова**  
Editor G.F. Suslova

---

Подписано в печать 29.09.2023. Формат 60×84<sub>1/8</sub>. Усл.-печ. п.л. 9,75. Тираж 1000 экз.  
Passed for printing 29.09.2023. Format 60×84<sub>1/8</sub>. Tentative printed sheets 9,75. Circulation 1000 copies.

---

Отпечатано в Санкт-Петербургском университете ГПС МЧС России  
196105, Санкт-Петербург, Московский проспект, д. 149.  
Printed in Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia  
196105, Saint-Petersburg, Moskovsky prospect, 149