

**Редакционный совет**

**Председатель** – доктор химических наук, профессор, лауреат премии Правительства Российской Федерации в области науки и техники **Ивахнюк Григорий Константинович**, заведующий кафедрой инженерной защиты окружающей среды Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета).

**Заместитель председателя** – доктор технических наук, доцент **Зыбина Ольга Александровна**, заместитель начальника университета по научной работе.

**Заместитель председателя** (ответственный за выпуск журнала) – доктор педагогических наук, профессор, заслуженный работник высшей школы Российской Федерации **Медведева Людмила Владимировна**, заведующий кафедрой физико-технических основ обеспечения пожарной безопасности, руководитель учебно-научного комплекса – 6 «Физико-математическое, инженерное и информационное обеспечение безопасности при ЧС».

**Члены редакционного совета:**

доктор технических наук, профессор **Минкин Денис Юрьевич**, директор Санкт-Петербургского ГУП «Горэлектротранс»;

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

кандидат юридических наук, доктор педагогических наук, профессор, заслуженный работник высшей школы Российской Федерации **Грешных Антонина Адольфовна**, декан факультета подготовки кадров высшей квалификации Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России;

доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки Российской Федерации **Поляков Александр Степанович**, профессор кафедры физико-технических основ обеспечения пожарной безопасности Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России;

доктор технических наук, профессор, почетный работник науки и техники **Барбин Николай Михайлович**, ведущий научный сотрудник Уральского института ГПС МЧС России, директор Научно-исследовательского института физико-химических проблем и техносферной безопасности Государственного аграрного университета;

доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки Российской Федерации, лауреат Государственной премии Российской Федерации и премии Правительства Российской Федерации в области науки и техники **Потапов Анатолий Иванович**, заведующий кафедрой «Приборы контроля и систем экологической безопасности» Северо-Западного государственного заочного технического университета;

кандидат физико-математических наук, доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки Российской Федерации **Сильников Михаил Владимирович**, профессор кафедры переподготовки и повышения квалификации специалистов Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России;

кандидат педагогических наук, доцент **Клюй Валерий Владимирович**, профессор кафедры организации пожаротушения и проведения аварийно-спасательных работ Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России.

**Секретарь совета:**

майор внутренней службы **Домничева Анастасия Вячеславовна**, старший редактор отделения предпечатной подготовки редакционного отдела центра организации научно-исследовательской и редакционной деятельности.

## **Редакционная коллегия**

**Председатель** – кандидат технических наук, доцент полковник внутренней службы **Онов Виталий Александрович**, начальник центра организации научно-исследовательской редакционной деятельности.

**Заместитель председателя** – майор внутренней службы **Дмитриева Ирина Владимировна**, начальник редакционного отдела центра организации научно-исследовательской и редакционной деятельности.

**Члены редакционной коллегии:**

доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки Российской Федерации **Щербаков Олег Вячеславович**, профессор кафедры прикладной математики и информационных технологий;

доктор технических наук, профессор, заслуженный работник высшей школы Российской Федерации **Таранцев Александр Алексеевич**, профессор кафедры организации пожаротушения и проведения аварийно-спасательных работ;

кандидат технических наук, профессор, заслуженный работник высшей школы Российской Федерации **Антюхов Валерий Иванович**, профессор кафедры системного анализа и антикризисного управления;

кандидат технических наук, доцент **Романов Николай Николаевич**, доцент кафедры физико-технических основ обеспечения пожарной безопасности;

кандидат технических наук, доцент **Матвеев Александр Владимирович**, заведующий кафедрой прикладной математики и информационных технологий;

кандидат технических наук, доцент **Виноградов Владимир Николаевич**, инженер отдела планирования, организации и координации научных исследований центра организации научно-исследовательской и редакционной деятельности.

**Секретарь коллегии:**

майор внутренней службы **Болотова Полина Александровна**, редактор редакционного отделения редакционного отдела центра организации научно-исследовательской и редакционной деятельности.



## СОДЕРЖАНИЕ

### **МОНИТОРИНГ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ РИСКОВ**

Лабинский А.Ю. Принцип оптимизации как основа моделирования сложных процессов и систем.....	4
Пекарская О.А., Лукьянов А.Г. Методика расчета зоны чрезвычайной ситуации при затоплении.....	13

### **ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ**

Иванов А.Р. Риск для здоровья населения и атмосферные гетерогенные фотопроцессы с участием минеральных компонентов аэрозолей.....	20
Пекарская О.А., Рыбакова И.В. Анализ математических моделей, описывающих формирование горных селевых потоков.....	30
Виноградов В.Н., Луговой А.А. Влияние водяного пара на химические процессы в диффузном пламени.....	40

### **ИНЖЕНЕРНОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ**

Тимофеев В.Д., Скрипка А.В., Старков И.В. Применение агрегатного метода при техническом обслуживании и ремонте пожарной техники в гарнизоне пожарной охраны.....	46
Виноградов В.Н., Луговой А.А. Пожарно-спасательная техника в исторической ретроспективе.....	56
Тимофеев В.Д., Скрипка А.В., Старков И.В. Применение передвижной авторемонтной мастерской в отдаленных районах Омской области.....	63
Лабинский А.Ю. Создание учебных материалов с элементами мультимедиа.....	70
Информационная справка.....	78
Авторам журнала «Природные и техногенные риски» (физико-математические и прикладные аспекты).....	83

Полная или частичная перепечатка, воспроизведение, размножение  
либо иное использование материалов, опубликованных в журнале  
«Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты)»,  
без письменного разрешения редакции не допускается

ББК Ц.9.3.2  
УДК 504+614.8(051.2)

Отзывы и пожелания присылать по адресу: 196105, Санкт-Петербург, Московский проспект, 149. Редакция журнала «Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты)»; тел. (812) 645-20-35. E-mail: redakziaotdel@yandex.ru. Официальный интернет-сайт Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России: WWW.IGPS.RU

ISSN 2307-7476

© Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы МЧС России, 2022

# МОНИТОРИНГ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ РИСКОВ

УДК 621.91

## ПРИНЦИП ОПТИМИЗАЦИИ КАК ОСНОВА МОДЕЛИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ ПРОЦЕССОВ И СИСТЕМ

✉ Александр Юрьевич Лабинский.

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

✉ [labynsci@yandex.ru](mailto:labynsci@yandex.ru)

*Аннотация.* Изложен принцип оптимизации как основа моделирования сложных процессов и систем. Дана классификация методов оптимизации. Из многообразия математических моделей выбраны модели случайного поиска при наличии ограничений.

*Ключевые слова:* математическая модель, целевая функция, оптимизация с ограничениями, случайный поиск

**Ссылка для цитирования:** Лабинский А.Ю. Принцип оптимизации как основа моделирования сложных процессов и систем // Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты). 2022. № 1 (41). С. 4–12.

## THE PRINCIPLE OF OPTIMIZATION AS THE WAY OF SIMULATION THE COMPLEX OBJECTS

✉ Alexander Yu. Labinskiy.

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

Saint-Petersburg, Russia

✉ [labynsci@yandex.ru](mailto:labynsci@yandex.ru)

*Abstract.* In the articles explain problem the principle of optimization as a base of simulation the complex objects. To give target of modeling and classification of mathematical models the random search method of optimization of complex objects. To selected mathematical models the random search method of constrained optimization.

*Keywords:* mathematical model, goal function, constrained optimization, random search

**For citation:** Labinskiy A.Yu. The principle of optimization as the way of simulation the complex objects // Prirodnye i tekhnogennye riski (fiziko-matematicheskie i prikladnye aspekty) = Natural and man-made risks (physico-mathematical and applied aspects). 2022. №. 1 (41). P. 4–12.

### Введение

В процессе прогнозирования и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций (ЧС), включая стихийные бедствия, на практике обычно используются методы системного анализа причин возникновения ЧС с целью выработки управленческих решений [1].

При этом применяются методы оптимизации, являющиеся составной частью системного анализа и используемые при решении задач анализа причин возникновения ЧС. В процессе моделирования сложных процессов и явлений использование принципа оптимизации позволяет формализовать описание модели с заданной точностью и при минимальных затратах на её разработку [2].

© Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2022

Представим классификацию методов оптимизации по различным признакам [3] в графическом виде (рис. 1).

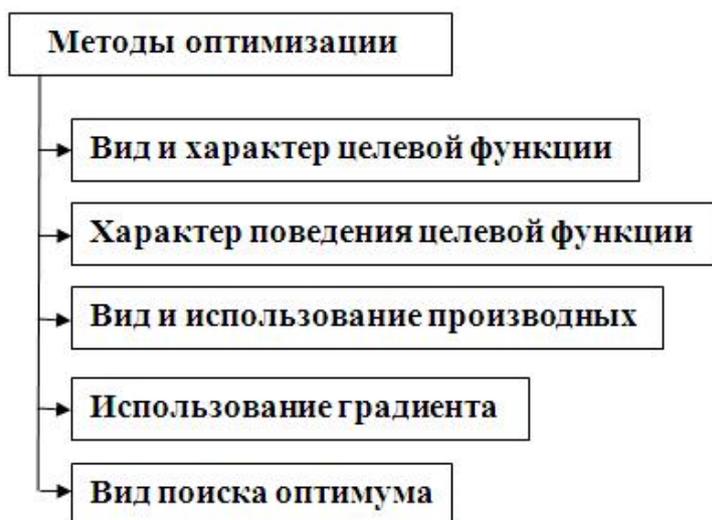


Рис. 1. Классификация методов оптимизации

Здесь вид целевой функции – одномерная или многомерная, унимодальная (одноэкстремальная) или многоэкстремальная функция. Характер целевой функции – с ограничениями или без ограничений (условная или безусловная оптимизация). Характер поведения – выпуклая, квадратичная или сепарабельная функция. Вид поиска оптимума – детерминированный или случайный поиск.

Рассмотрим оптимизацию одномерной унимодальной целевой функции, безусловная оптимизация, вид целевой функции известен. Функция  $f(x)$  называется унимодальной на интервале  $[a, b]$ , если она достигает минимального значения в единственной точке, причем слева от точки функция убывает, а справа от точки функция возрастает. Безусловная оптимизация предполагает отсутствие ограничений на значения управляемых переменных.

Интервал  $[a, b]$ , содержащий оптимальное значение управляемой переменной, называется интервалом неопределенности. Практически все одномерные численные методы поиска оптимума целевой функции  $f(x)$  основаны на предположении того, что функция  $f(x)$  внутри интервала неопределенности  $[a, b]$  обладает свойством унимодальности.

Методы оптимизации [4] представлены на рис. 2.

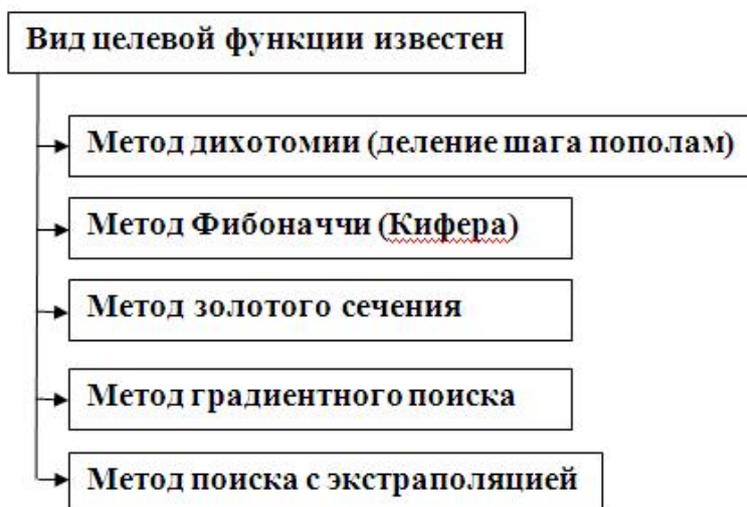


Рис. 2. Методы оптимизации при известном виде целевой функции

В случае, когда вид целевой функции неизвестен, используются методы оптимизации [5, 6], представленные на рис. 3.

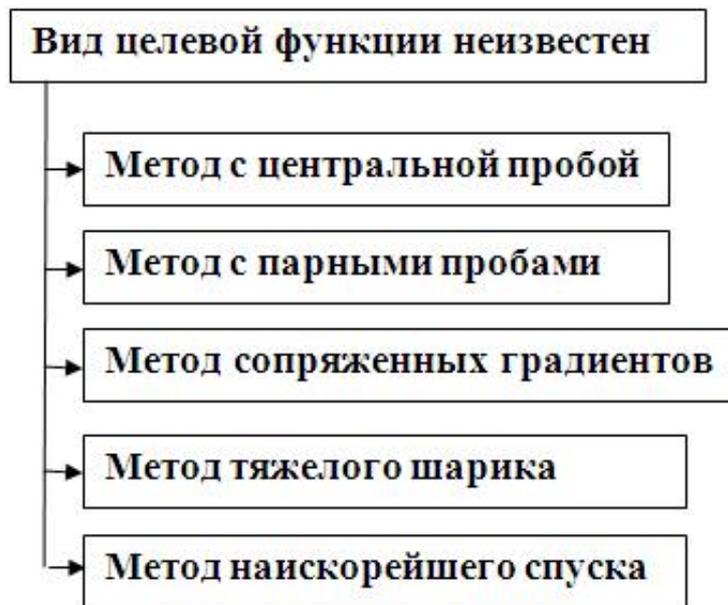


Рис. 3. Методы оптимизации при неизвестном виде целевой функции

При описании сложного объекта используются математические модели, содержащие множество ограничений в форме равенств и неравенств. В общем случае на целевую функцию накладываются ограничения первого  $G_1(X)=0$  и второго рода  $G_2(X)\geq 0$ . Ограничения первого рода уменьшают размерность пространства параметров. Ограничения второго рода выделяют области пространства параметров, где следует искать экстремум. При наличии ограничений универсальным методом решения задач оптимизации является метод штрафных функций.

Методы условной оптимизации (оптимизации при наличии ограничений) [6, 7] представлены на рис. 4.

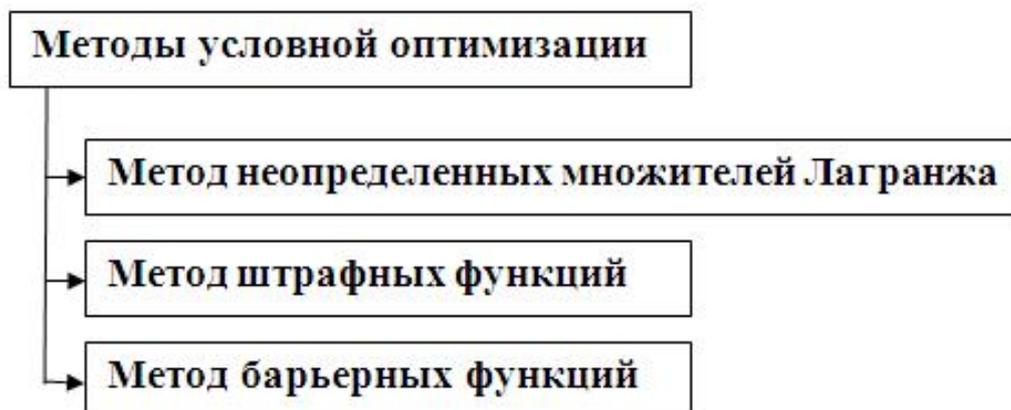


Рис. 4. Методы условной оптимизации

Методы оптимизации функций с несколькими переменными [6, 8] представлены на рис. 5.

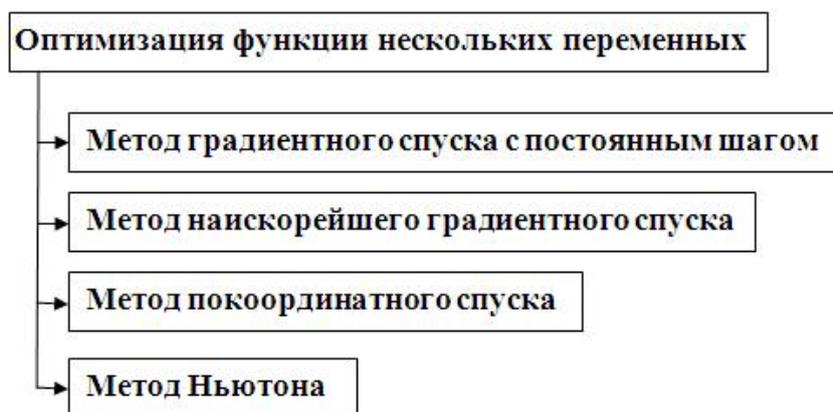


Рис. 5. Методы оптимизации функций с несколькими переменными

Сформулируем постановку задачи. Нужно минимизировать функцию двух переменных  $Y=f(X1, X2)$  с двумя ограничениями. Тема статьи актуальна, так как при разработке математических моделей оптимизации параметров сложных процессов и систем снижаются техногенные риски. В качестве объекта исследования рассматривается процесс оптимизации методом градиентного спуска, а в качестве метода исследования используются вычислительные эксперименты на разработанной компьютерной модели, которая реализована в виде программы для ЭВМ.

### Компьютерное моделирование методов оптимизации

Рассмотрим пример минимизации функции двух переменных  $Y=f(X1, X2)$  с двумя ограничениями  $G1(X)$  и  $G2(X)$ , учитываемыми с использованием метода штрафных функций. Интерфейс программы поиска оптимума представлен на рис. 6.

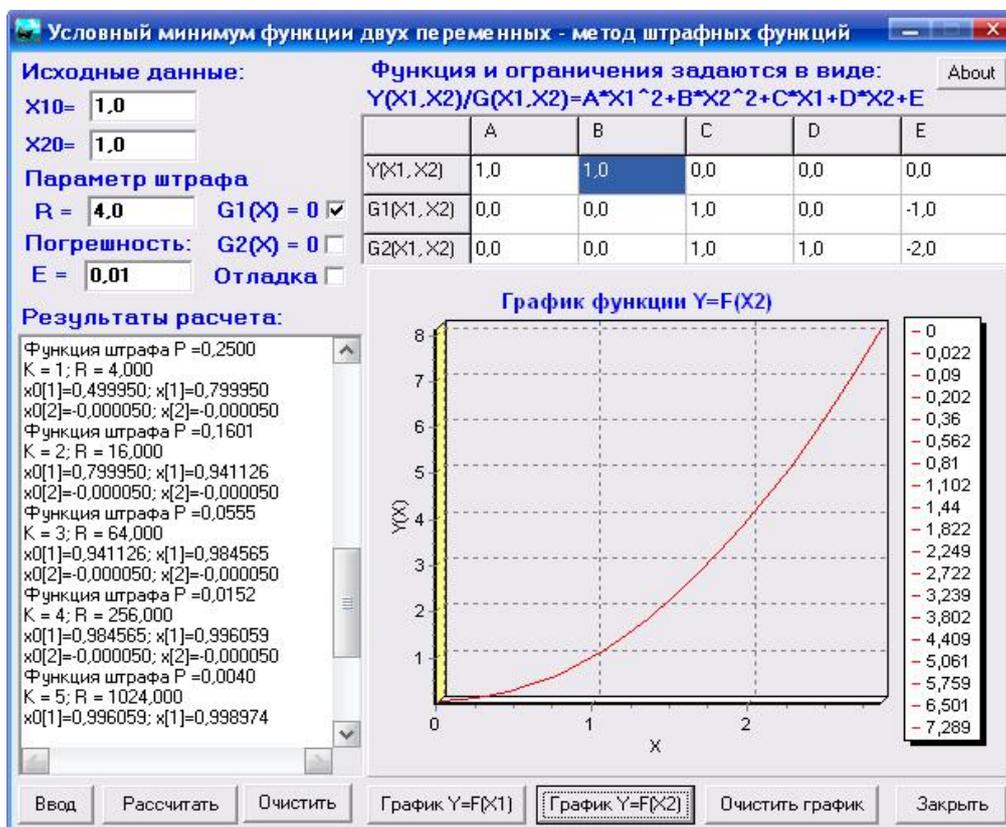


Рис. 6. Интерфейс программы поиска оптимума методом наискорейшего градиентного спуска

Поиск оптимума в первом случае ведется методом наискорейшего градиентного спуска [9], а во втором случае ведется методом случайного поиска [10]. Штрафная функция определяет изменение значения целевой функции за нарушение ограничений. Метод наискорейшего градиентного спуска предусматривает на каждом шаге поиска минимума максимально возможное уменьшение целевой функции.

Блок-схема программы поиска оптимума функции двух переменных  $Y=f(X_1, X_2)$  с двумя ограничениями  $G_1(X)$  и  $G_2(X)$  методом наискорейшего градиентного спуска представлена на рис. 7.

## МЕТОД НАИСКОРЕЙШЕГО ГРАДИЕНТНОГО СПУСКА

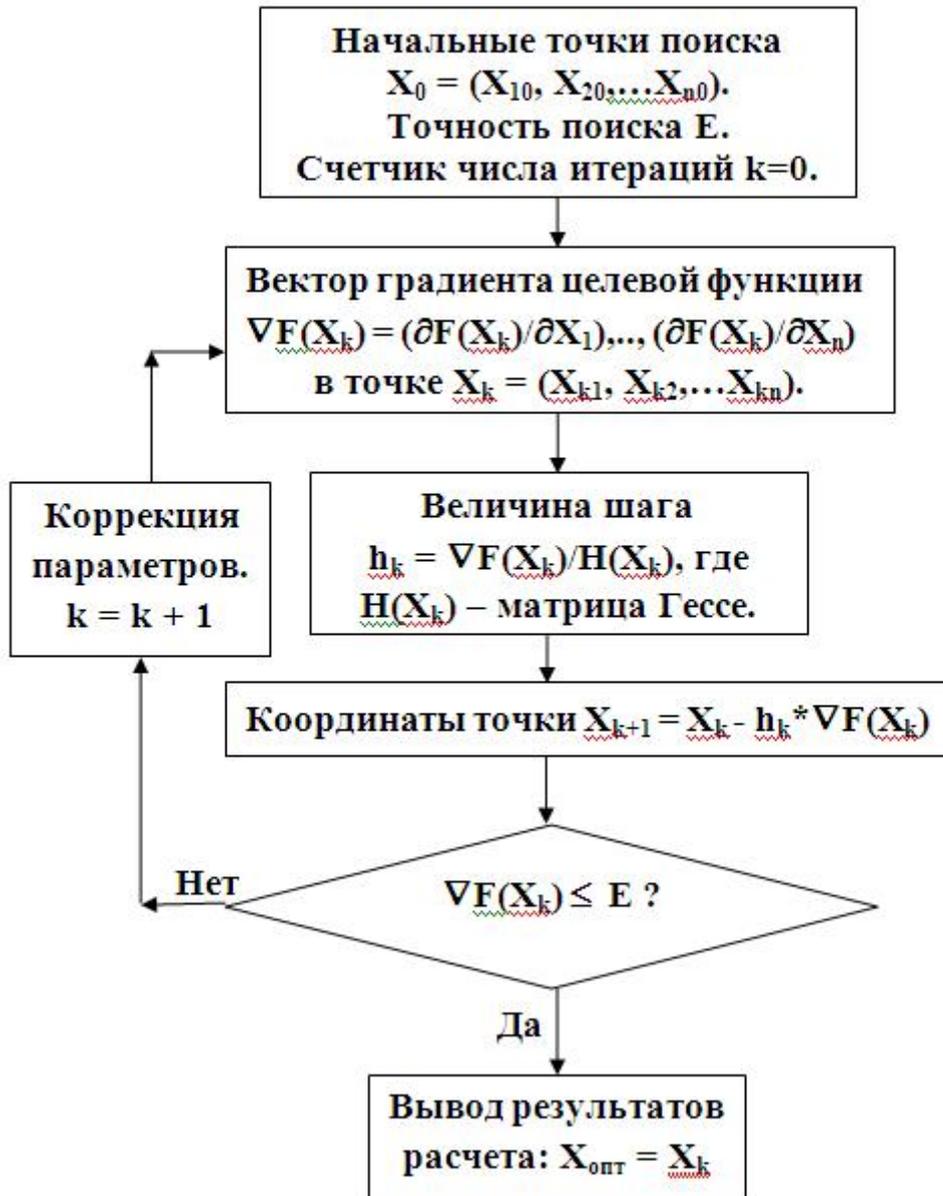


Рис. 7. Блок-схема программы оптимизации методом наискорейшего спуска

Матрицей Гессе называется матрица вторых производных целевой функции.

Метод наискорейшего градиентного спуска предполагает определение величины шага поиска путем решения вспомогательной одномерной задачи минимизации:

$$F(X_k - h_k * \nabla F(X_k)) \rightarrow \min.$$

При квадратичной интерполяции целевой функции величину шага поиска можно определить по формуле:

$$h_k = \nabla F(X_k) / H(X_k),$$

где  $H(X_k)$  – матрица вторых производных целевой функции (матрица Гессе).

Вторые производные могут быть определены по формуле:

$$\partial^2 F(X_k) / \partial X^2 = U_1 - 2 * U_2 + U_3, \quad U_1 = F(X_{k1}, X_{k2}, \dots, X_{ki} + \Delta X_{i, \dots}, X_{kn});$$

$$U_2 = F(X_{k1}, X_{k2}, \dots, X_{ki}, \dots, X_{kn}), \quad U_3 = F(X_{k1}, X_{k2}, \dots, X_{ki} - \Delta X_{i, \dots}, X_{kn}).$$

Во втором случае также производится минимизация функции двух переменных  $Y=f(X1, X2)$  с двумя ограничениями  $G1(X)$  и  $G2(X)$ , учитываемыми с использованием метода штрафных функций. Однако поиск оптимума ведется методом случайного поиска. Метод случайного поиска может использоваться для многоэкстремальных целевых функций. Интерфейс программы поиска оптимума представлен на рис. 8.

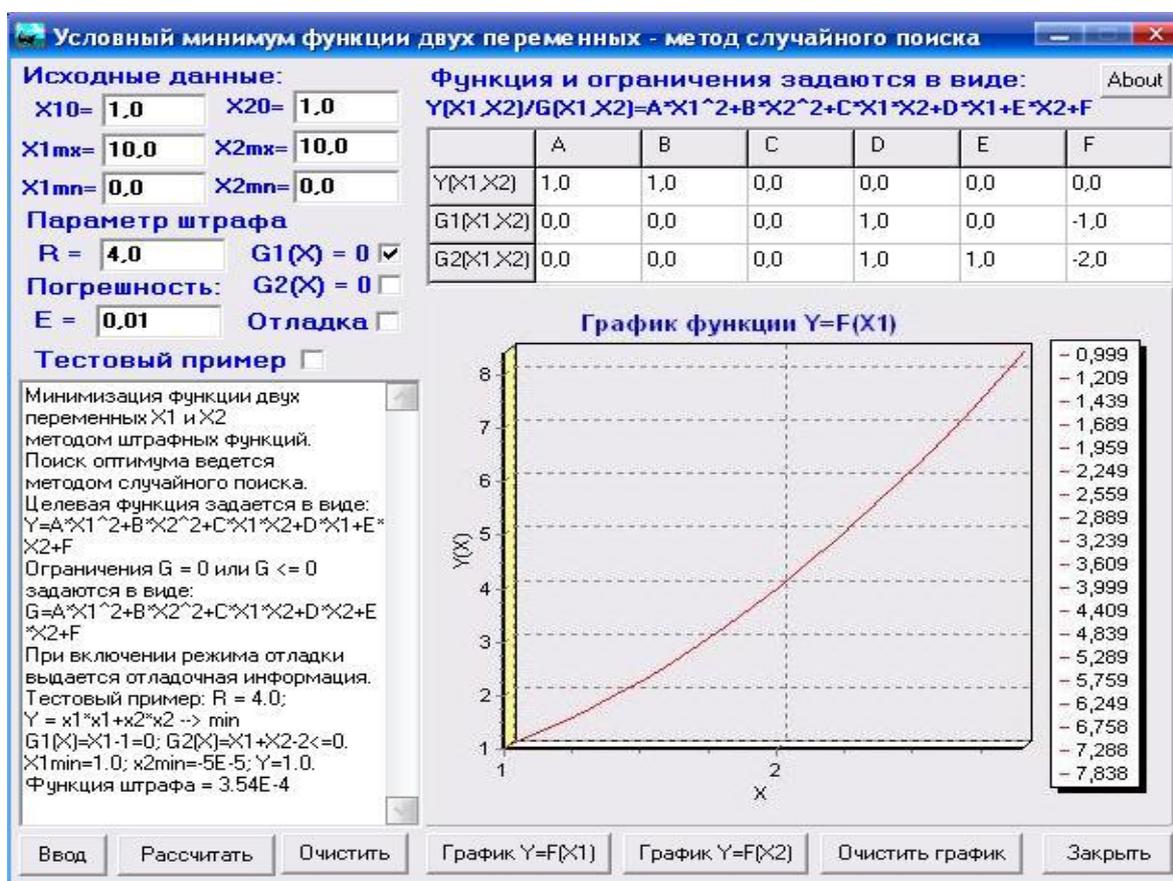


Рис. 8. Интерфейс программы метода случайного поиска

На рис. 9 представлена блок-схема программы, которая производит поиск оптимума функции двух переменных  $Y = f(X1, X2)$  при наличии двух ограничений  $G1(X)$  и  $G2(X)$  для случая использования метода случайного поиска.

## МЕТОД СЛУЧАЙНОГО ПОИСКА

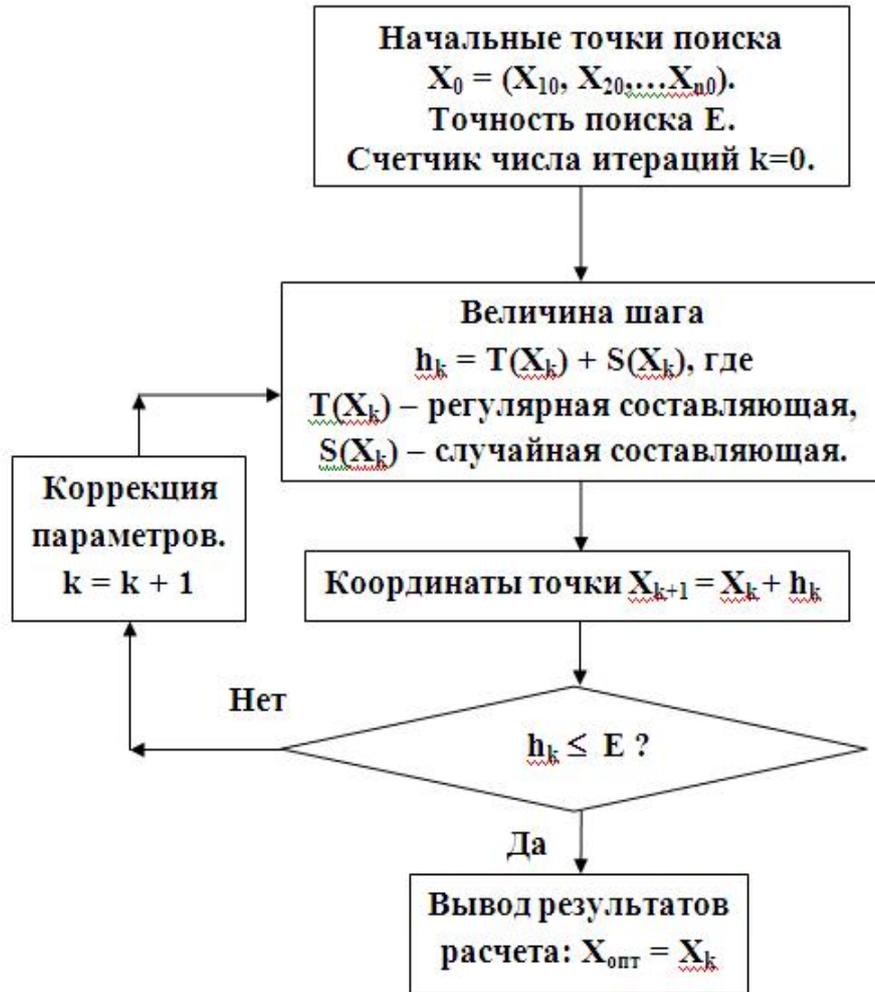


Рис. 9. Блок-схема программы оптимизации методом случайного поиска

Для определения случайного шага поиска используется зависимость:

$$\Delta Z(n) = M * m(n) * E(n).$$

В этой зависимости используются следующие составляющие:

- $E(n)$  – случайный нормальный вектор, использующий в виде компонентов нормальные случайные величины с единичной дисперсией и нулевым математическим ожиданием;
- $M$  – матрица размером  $k * k$  индивидуальных масштабов, компоненты которой влияют на скорость и точность процесса оптимизации;
- $m(n)$  – масштаб шага, определяемый для всех компонент вектора  $\Delta Z(n)$  по формуле:  

$$m(n) = \exp(-0,001 * (N^2 + N_{\max}^2 + k^2));$$
- $N$  – число совершенных из последней опорной точки поиска неудачных шагов;
- $N_{\max}$  – наибольшее значение числа совершенных из какой-либо опорной точки поиска за весь предшествующий период оптимизации неудачных шагов;
- $k$  – число параметров оптимизации.

В процессе поиска можно произвести учет количества шагов по формуле:

$$\Delta Z(n) = T(n) + S(n),$$

где  $T(n)$  и  $S(n)$  – две составляющие шага поиска: регулярная и случайная.

## Вывод

Принцип оптимизации является важнейшим методологическим принципом моделирования сложных явлений и процессов. Важность данного принципа заключается в том, что он помогает разработать описание исследуемого явления или процесса, обеспечивающее не только заданную точность и достоверность моделирования, но и минимальные затраты на разработку модели.

Рассмотрены две компьютерные модели, которые реализуют поиск оптимума методами наискорейшего градиентного спуска и случайного поиска, и являются примерами реализации принципа оптимизации.

Научная новизна исследования отражает личный вклад автора и выражается в создании автором двух компьютерных моделей поиска оптимума, реализованных в виде двух программ для ЭВМ.

### Список источников

1. Системный анализ и принятие решений: учеб. / В.С. Артамонов [и др.]. СПб.: С-Петербург. ун-т ГПС МЧС России, 2017.
2. Соболев Б.В., Месхи Б.Ч., Каныгин Г.И. Методы оптимизации. Ростов н/Д.: Феникс, 2019.
3. Коротченко А.Г., Кумагина Е.А., Сморякова В.М. Введение в многокритериальную оптимизацию: учеб.-метод. пособие. Н. Новгород: Нижегородский гос. ун-т, 2017.
4. Зайцев М.Г. Методы оптимизации управления для менеджеров: компьютерно-ориентированный подход. М.: Дело АНХ, 2016.
5. Kaheman D. Unconstrained Optimization with Applications // Journal of Mathematical Modeling. 2017. Vol. 2.
6. Бурман Я., Бобковский Г. Англо-русский научно-технический словарь. М.: Русский язык, 2017.
7. Bunge M. Constrained Optimization // Journal of Mathematical Modeling. 2018. Vol. 3.
8. McCord M. Optimization. Empirical Demonstration with Applications // Mathematical and Computer Modeling. 2016. Vol. 2.
9. Лабинский А.Ю. Оптимизация стоимости технической системы в зависимости от показателей надежности. СПб.: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петербург. ун-та ГПС МЧС России». 2020. № 1. С. 69–75.
10. Лабинский А.Ю., Подружкина Т.А. Оптимизация методом случайного поиска как способ снижения техногенных рисков // Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты). 2015. № 1 (13). С. 14–19.

### References

1. Sistemnyj analiz i prinyatie reshenij: ucheb. / V.S. Artamonov [i dr.]. SPb.: S-Peterb. un-t GPS MCHS Rossii, 2017.
2. Sobol' B.V., Meskhi B.CH., Kanygin G.I. Metody optimizacii. Rostov n/D.: Feniks, 2019.
3. Korotchenko A.G., Kumagina E.A., Smoryakova V.M. Vvedenie v mnogokriterial'nyuyu optimizaciyu: ucheb.-metod. posobie. N. Novgorod: Nizhegorodskij gos. un-t, 2017.
4. Zajcev M.G. Metody optimizacii upravleniya dlya menedzherov: komp'yuterno-orientirovannyj podhod. M.: Delo ANH, 2016.
5. Kaheman D. Unconstrained Optimization with Applications // Journal of Mathematical Modeling. 2017. Vol. 2.
6. Burman YA., Bobkovskij G. Anglo-russkij nauchno-tekhnicheskij slovar'. M.: Russkij yazyk, 2017.
7. Bunge M. Constrained Optimization // Journal of Mathematical Modeling. 2018. Vol. 3.

8. McCord M. Optimization. Empirical Demonstration with Applications // Mathematical and Computer Modeling. 2016. Vol. 2.

9. Labinskij A.Yu. Optimizaciya stoimosti tekhnicheskoy sistemy v zavisimosti ot pokazatelej nadezhnosti. SPb.: S.-Peterb. un-t GPS MCHS Rossii // Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MCHS Rossii». 2020. № 1. S. 69–75.

10. Labinskij A.Yu., Podrzhkina T.A. Optimizaciya metodom sluchajnogo poiska kak sposob snizhenie tekhnogennyh riskov // Prirodnye i tekhnogennye riski (fiziko-matematicheskie i prikladnye aspekty. 2015. № 1 (13). S. 14–19.

**Информация о статье:**

Поступила в редакцию: 10.01.2022

Принята к публикации: 14.02.2022

**The information about article:**

Article was received by the editorial office: 10.01.2022

Accepted for publication: 14.02.2022

*Информация об авторах:*

**Александр Юрьевич Лабинский**, 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: labynsciy@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-2735-4189>

*Information about the authors:*

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

УДК 614.18.01

## МЕТОДИКА РАСЧЕТА ЗОНЫ ЧРЕЗВЫЧАЙНОЙ СИТУАЦИИ ПРИ ЗАТОПЛЕНИИ

✉ Ольга Анатольевна Пекарская;  
Алексей Георгиевич Лукьянов.  
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России,  
Санкт-Петербург, Россия  
✉ [pekarskaya.olga@mail.ru](mailto:pekarskaya.olga@mail.ru)

*Аннотация.* Рассматривается методика прогнозирования паводковых наводнений с акцентом на возможное повышение уровня воды и ожидаемую площадь затопления. Полученные прогностические результаты могут применяться при определении возможных характеристик последствий наводнений. Эти данные дают возможность сформировать более полную картину затопления конкретного объекта и территории, на основании которой можно разрабатывать или корректировать планы мероприятий, способствующих повышению качества и эффективности управления процессами, обеспечивающими предупреждение и ликвидацию наводнений.

*Ключевые слова:* прогнозирование наводнений, последствия наводнений, затопление, предупреждение и ликвидация последствий наводнений, зона чрезвычайной ситуации, оценка риска

**Ссылка для цитирования:** Пекарская О.А., Лукьянов А.Г. Методика расчета зоны чрезвычайной ситуации при затоплении // Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты). 2022. № 1 (41). С. 13–19.

## THE ZONE CALCULATION METHOD BY FLOOD EMERGENCY

✉ Olga A. Pekarskaya; Alexey G. Lukyanov.  
Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia,  
Saint-Petersburg, Russia  
✉ [pekarskaya.olga@mail.ru](mailto:pekarskaya.olga@mail.ru)

*Abstract.* A methodology for flood forecasting is considered with an emphasis on the possible rise in water level and the expected area of flooding. The obtained prognostic results might be used in determining possible characteristics of the consequences of floods. These data make it possible to form a more complete picture of the flooding of a particular facility and territory, on the basis of which it is possible to develop or adjust action plans that improve the quality and efficiency of managing processes that ensure the prevention and elimination of floods.

*Keywords:* flood forecasting, flood consequences, flooding, prevention and liquidation of flood consequences, emergency zone, risk assessment

**For citation:** Pekarskaya O.A., Lukyanov A.G. The zone calculation method by flood emergency // Prirodnye i tekhnogennye riski (fiziko-matematicheskie i prikladnye aspekty) = Natural and man-made risks (physico-mathematical and applied aspects). 2022. №. 1 (41). P. 13–19.

Задача оценки опасности паводка весьма непростая, поскольку необходимо максимально точно прогнозировать как превышение уровня воды, так и площадь затопления.

Важнейшим источником данных при прогнозировании наводнений являются показания уровней гидропостов, отражающие состояние водных объектов, а также метеорологические условия, которые могут меняться в процессе развития ситуации [1]. Гидропосты предназначены для наблюдения за уровнем и расходом воды, температурой. Динамизм в развитии паводковой ситуации позволяет составлять лишь краткосрочные прогнозы [2].

Использование геоинформационных систем (ГИС) позволяет обрабатывать данные для получения пространственных показателей рельефа и цифровых моделей местности (ЦФМ) исследуемой территории [3].

Такие прогнозы имеют исключительную важность для лиц, принимающих решение. При этом для составления прогноза можно использовать различные методики прогнозирования, системы мониторинга и прогнозирования наводнений [4].

Данные, полученные на основании сделанного прогноза, касаются всего спектра изучаемых явлений – площади затопления, максимального уровня повышения воды, ее скорости течения и температуры – являются исключительно важными при изучении последствий, вызываемых наводнением, таких как количество объектов, попавших в зону чрезвычайной ситуации, численность находящегося в зоне затопления населения и др. [5, 6]. Точность прогноза в таком случае существенно повышается, картина затопления объектов и окружающей их территории становится объективнее, что повышает эффективность мероприятий по минимизации и ликвидации негативных последствий наводнений.

Прогнозирование наводнений, обусловленных прохождением дождевых паводков, требует дополнительного тщательного изучения характеристик самих осадков, лежащих в основу их анализа и оценки влияния выпадения осадков на развитие паводка [7].

Для описания поведения водных потоков применяются различные характеристики, однако важнейшей из них, характеризующей реку, является сток или, иначе, водность. Данный параметр применяется для описания объема воды, который проходит через поперечное сечение русла в течение строго определенного времени, причем временные отрезки могут быть как краткими, так и очень длительными, и их продолжительность может изменяться от нескольких часов до года. Сток также характеризуется расходом воды, который имеет обозначение в виде буквы  $Q$ , его единицами измерения служат  $\text{м}^3/\text{с}$  или л/с. Расход воды за исследуемый период характеризуется специальным графиком – гидрографом стока.

Рассмотрим методику, которая применяется при прогнозировании последствий наводнения, вызываемого обильными осадками или таянием снега.

Согласно этой методике сечение русла реки можно схематически изобразить в виде треугольника (рис. 1 а) или трапеции (рис. 1 б).

Исходными данными для расчета служат:

$b_0$  – ширина реки перед наводнением;

$b$  – ширина реки по окончании наводнения;

$a_0$  – ширина реки по ее дну;

$h_0$  – нормальная глубина реки в отсутствие наводнения;

$h$  – глубина подъема воды в реке при наступлении наводнения;

$h_3$  – глубина затопления;

$h_M$  – высота места;

$\alpha, \beta$  – углы, характеризующие наклон речных берегов.

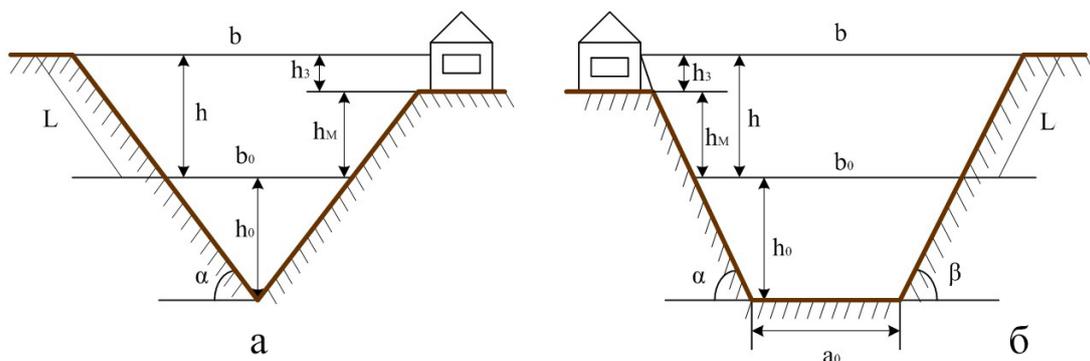


Рис. 1. Схема речного русла:  
а – схема треугольного сечения;  
б – схема трапециевидального сечения

Расход речной воды перед наступлением паводка (наводнения), измеряется в м<sup>3</sup>/с:

$$Q_0 = V_0 \cdot S_0, \quad (1)$$

где  $V_0$  – скорость речной воды перед наступлением паводка (наводнения), м/с;  $S_0$  – площадь сечения речного русла перед наступлением паводка (наступления), м<sup>2</sup>.

При треугольном сечении русла реки его площадь составляет:

$$S_0 = 0,5b_0 \cdot h_0. \quad (2)$$

При трапециидальном сечении русла реки его площадь составляет:

$$S_0 = 0,5 \cdot (a_0 + b_0) \cdot h_0.$$

В том случае, когда наводнение (паводок) вызывается выпадением осадков, можно определить расход воды по формуле:

$$Q_{max} = Q_0 + [J - F]/3,6],$$

где  $J$  – показатель интенсивности выпадения осадков или таяния снега, мм/ч;  $F$  – площадь, на которой выпадают осадки либо тает снег, км<sup>2</sup>.

При развитии наводнения (паводка) в случае, если сечение реки рассматривается как треугольное, можно определить высоту поднятия воды по формуле:

$$h = [2Q_{max} \cdot h_0^{5/3} / (b_0 \cdot V_0)]^{3/8} - h_0,$$

где  $h_0$  – показатель глубины реки, м.

Ширина при прохождении паводка  $L$ , м составляет:

$$L = h / \sin \alpha.$$

При развитии наводнения (паводка) в случае, если сечение реки рассматривается как трапециидальное, можно определить высоту поднятия воды по формуле:

$$h = \{2Q_{max} \cdot [(b_0 - a_0) / (ctg \alpha + ctg \beta)]^{5/3} / (b_0 \cdot V_0)\}^{3/8} - [(b_0 - a_0) / (ctg \alpha + ctg \beta)].$$

При развитии наводнения (паводка) для определения максимальной скорости прохождения потока воды служит формула:

$$V_{max} = Q_{max} / S_{max},$$

где  $V_{max}$  – максимальная скорость воды при развитии наводнения (паводка), м/с;  $S_{max}$  – площадь поперечного сечения потока при развитии наводнения (паводка), м<sup>2</sup>.

Величину  $S_{max}$  можно найти из (1) и (2), заменив  $h_0$  на  $h$ , а  $b_0$  на  $b$ .

Для определения глубины затопления служит формула:

$$h_3 = h - (h_0 + h_m).$$

Максимальную скорость потока затопления находим из:

$$V_3 = V_{max} \cdot f,$$

где  $f$  – показатель расстояния между объектом и руслом реки (табл. 1);  $V_3$  – скорость движения потока затопления, м/с.

Таблица 1. Значение показателя расстояния между объектом и руслом реки ( $f$ )

$h_3 / h$	Для трапецеидального русла	Для треугольного русла
0,1	0,232	0,32
0,2	0,433	0,54
0,4	0,642	0,725
0,6	0,843	0,964
0,8	1,051	1,182
1	1,23	1,321

Важнейшими параметрами, которые характеризуют наводнение, являются глубина затопления  $h_3$  и максимальная скорость потока  $V_3$  (табл. 2).

Таблица 2. Разрушающее действие волны затопления

Характеристика объектов	Разрушающие параметры волны					
	слабые		средние		сильные	
	$h_3$ , м	$V_3$ , м/с	$h_3$ , м	$V_3$ , м/с	$h_3$ , м	$V_3$ , м/с
Промышленные здания, имеющие легкий каркас	1,5	2	2	3,5	2,5	5
Промышленные здания, имеющие железобетонный каркас	3	3	6	4	7,5	6,5
Кирпичные дома низкой этажности (от 1 до 3 этажей)	1,5	2	2	3	2,5	4
Деревянные дома низкой этажности (от 1 до 2 этажей)	1	1	1,5	2,5	2	3,5
Каркасные сборные дома	1	1	1,5	2,5	2	3

Имеющийся математический аппарат позволяет приступить к формулированию алгоритма и далее к разработке программы, позволяющей производить расчет зоны затопления, вызванного выпадением осадков (таянием снега) при наводнениях. При написании программы необходимо разработать понятный для пользователя интерфейс, эффективные и простые алгоритмы расчета, инструмент формирования отчетов и преобразования их в файлы формата Microsoft Excel. После разработки программного продукта необходимо произвести оценку его эффективности и работоспособности и задокументировать полученные параметры в соответствии с требованиями, предъявляемыми к подобным разработкам, основанные на различных актах в области разработки программного обеспечения и правил его проверки [8].

Рассмотрим, каким образом следует выбрать язык программирования и программную среду разработки приложений для расчета параметров зоны затопления [9].

Язык программирования – это формальный язык, позволяющий описывать последовательность действий для компьютера с использованием алфавита естественного языка. Язык реализуется в виде специальных программ: компилятора и интерпретатора.

Компиляторы служат для преобразования исходного текста программы в машинный код для создания командного или исполняемого файла (exe). С помощью интерпретатора происходит построчная обработка программного текста.

Языком программирования задаются лексические, синтаксические и семантические правила, где задается характер программы и действия, выполняемые компьютером.

Все языки программирования делятся на языки низкого и высокого уровней.

Для языка программирования низкого уровня необходимо знать фундаментальные аппаратные процессы, происходящие внутри компьютера.

Для создания современного программного обеспечения используют языки высокого уровня. Эти языки имеют свой собственный алфавит – множество символов, используемых в языке. Ключевые слова языка формируются с использованием символов алфавита. Каждое ключевое слово выполняет свою функцию. Совокупность ключевых слов определяет последовательность действий, которые должен выполнять компьютер.

Для написания программы на языке высокого уровня необходимо разработать алгоритм, представляющий собой пошаговый план действий, которые необходимо выполнить для решения задачи [10].

Для реализации алгоритма, по которому рассчитывается зона затопления, вызванная выпадением осадков (таянием снега) при наводнениях, используется язык программирования высокого уровня Object Pascal.

Object Pascal – это расширение языка программирования Pascal, которое предоставляет функции объектно-ориентированного программирования (ООП), такие как классы и методы.

Для реализации данного языка будет использоваться среда Борланд Дельфи версии 7.0.

Integrated Development Environment (IDE) представляет из себя интегрированную среду разработки приложений, которая позволяет проектировать, запускать и тестировать приложения. Она содержит редакторы кодов и изображений, инструменты отладки и поиска ошибок, панели инструментов для различных целей.

Большинство сред разработки приложений используют технологию визуального создания проекта и событийно-процедурного программирования, суть которой в том, что среда разработки выполняет генерацию кода программы, а разработчик занимается интерфейсом программы и обработкой событий.

Программы, разработанные в среде разработки Борланд Дельфи, не являются кроссплатформенными и предназначены для работы в операционных системах Microsoft Windows. В качестве языка программирования в среде Борланд Дельфи используется объектно-ориентированный язык Object Pascal. Он прост для изучения и имеет высококачественный компилятор.

Среда разработки Borland Delphi позволяет создавать программы разных типов, начиная от простых консольных программ и заканчивая приложениями для работы с базами данных и интернетом.

В соответствии с ГОСТ 19.101–77 «Единая система программной документации. Виды программ и программных документов» в табл. 3 представлены виды программ.

Таблица 3. Программы и программные документы

Виды программ	Определение
Компонент	Программа, представляющая из себя единый комплекс, которая выполняет определенную функцию и реализуется как самостоятельно, так и в составе комплекса
Комплекс	Программа, включающая два или более компонента или комплекса, функции которых взаимосвязаны, которую можно применять как самостоятельно, так и в составе комплекса

Авторами статьи была разработана программа для расчета зоны затопления, вызванной выпадением осадков (таянием снега). Она представляет собой приложение в виде окна операционной системы Microsoft Windows. Основная форма программы представляется тремя вкладками: «Треугольное русло реки», «Трапециевидное русло реки» и «О программе».

Интерфейс этой вкладки включает в себя семь полей для ввода исходных данных, восемь полей и одну таблицу для вывода полученных результатов расчета, две кнопки и вспомогательный текст.

Данная программа может быть практически полезна при расчете зоны затопления, особенно в тех местностях, где выпадают множественные осадки в виде дождя и снега, причем их выпадение резко варьируется в зависимости от сезона и погодных условий.

Надежная методика расчета и прогноза паводков, описанная в статье, на сегодняшний день распространена в гидрогеологии и имеет огромное значение для прогнозирования, предотвращения, уменьшения последствий чрезвычайных ситуаций, возникающих в паводочных регионах.

### Список источников

1. Афонин Л.А. Проблемы прогнозирования паводков и наводнений // Наука. Инновации. Технологии. 2014. № 1. С. 145–152.
2. Методы определения масштабов паводковых затоплений на основе 3D реконструкции с использованием данных топологии местности / В.И. Аверченков [и др.] // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 6.
3. David S. Bowles, Loren R. Anderson, and Terry F. Glover. The practice of dam safety risk assessment and management: its roots, its branches, and its fruit // Eighteenth USCOLD Annual Meeting and Lecture / Buffalo, NewYork, 1998.
4. Fell R. Estimating the Probability of Failure of Embankment Dams under Normal Operating Conditions // Repair and Upgrading of Dams: Symposium in Stockholm. Stockholm, 1996. P. 567–576.
5. Стефанишин Д.В. Статистические оценки живучести плотин при авариях. URL: <http://www.cawater-info.net/bk/dam-safety/files/stefanishin.pdf> (дата обращения: 15.02.2022).
6. Малик Л.К. Чрезвычайные ситуации, связанные с гидротехническим строительством. Ретроспективный обзор. URL: <http://www.cawater-info.net/bk/dam-safety/files/malik1.pdf> (дата обращения: 15.02.2022).
7. Ветошкин А.Г. Нормативное и техническое обеспечение безопасности жизнедеятельности: учеб.-практ. пособие. Ч. 2: Инженерно-техническое обеспечение безопасности жизнедеятельности. М.: Вологда: Инфра-Инженерия, 2017. 653 с.
8. Методические указания по проведению анализа риска аварий ГТС (СТП ВНИИГ 210.02.НТ - 04). ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева». URL: <http://bit.ly/2oAIVAG> (дата обращения: 15.02.2022).
9. Юсупова Н.И., Еникеева К.Р. Интеллектуальная информационная поддержка принятия решений при анализе рисков чрезвычайных ситуаций и управлении ими. М.: Машиностроение, 2017. 208 с.
10. Мастрюков Б.С. Безопасность в чрезвычайных ситуациях в природно-техногенной сфере. Прогнозирование последствий. М.: Academia, 2016. 368 с.

### References

1. Afonin L.A. Problemy prognozirovaniya pavodkov i navodnenij // Nauka. Innovacii. Tekhnologii. 2014. № 1. P. 145–152.
2. Metody opredeleniya masshtabov pavodkovykh zatoplenij na osnove 3D rekonstrukcii s ispol'zovaniem dannyh topologii mestnosti / V.I. Averchenkov [i dr.] // Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya. 2014. № 6.
3. David S. Bowles, Loren R. Anderson, and Terry F. Glover. The practice of dam safety risk assessment and management: its roots, its branches, and its fruit // Eighteenth USCOLD Annual Meeting and Lecture / Buffalo, NewYork, 1998.
4. Fell R. Estimating the Probability of Failure of Embankment Dams under Normal Operating Conditions // Repair and Upgrading of Dams: Symposium in Stockholm. Stockholm, 1996. P. 567–576.
5. Stefanishin D.V. Statisticheskie ocenki zhivuchesti plotin pri avariayah. URL: <http://www.cawater-info.net/bk/dam-safety/files/stefanishin.pdf> (data obrashcheniya: 15.02.2022).
6. Malik L.K. CHrezvychnajnye situacii, svyazannye s gidrotekhnicheskim stroitel'stvom. Retrospektivnyj obzor. URL: <http://www.cawater-info.net/bk/dam-safety/files/malik1.pdf> (data obrashcheniya: 15.02.2022).
7. Vetoshkin A.G. Normativnoe i tekhnicheskoe obespechenie bezopasnosti zhiznedeyatel'nosti: ucheb.-prakt. posobie. Part 2: Inzhenerno-tekhnicheskoe obespechenie bezopasnosti zhiznedeyatel'nosti. M.: Vologda: Infra-Inzheneriya, 2017. 653 s.

8. Metodicheskie ukazaniya po provedeniyu analiza riska avarij GTS (STP VNIIG 210.02.NT - 04). OAO «VNIIG im. B.E. Vedeneeva». URL: <http://bit.ly/2oAIVAG> (data obrashcheniya: 15.02.2022).

9. Yusupova N.I., Enikeeva K.R. Intellektual'naya informacionnaya podderzhka prinyatiya reshenij pri analize riskov chrezvychajnyh situacij i upravlenii imi. M.: Mashinostroenie, 2017. 208 с.

10. Mastryukov B.S. Bezopasnost' v chrezvychajnyh situacijah v prirodno-tehnogennoj sfere. Prognozirovaniye posledstvij. M.: Academia, 2016. 368 с.

**Информация о статье:**

Поступила в редакцию: 10.01.2022

Принята к публикации: 14.02.2022

**The information about article:**

Article was received by the editorial office: 10.01.2022

Accepted for publication: 14.02.2022

*Информация об авторах:*

**Ольга Анатольевна Пекарская**, доцент кафедры высшей математики и системного моделирования сложных процессов Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат экономических наук, e-mail: [pekarskaya.olga@mail.ru](mailto:pekarskaya.olga@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-0717-4284>

**Алексей Георгиевич Лукьянов**, магистрант института заочного и дистанционного обучения Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: [max\\_foster@mail.ru](mailto:max_foster@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-6936-6806>

*Information about the authors:*

**Olga A. Pekarskaya**, associate professor of the department of higher mathematics and system modeling of complex processes of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, St. Petersburg, Moskovsky Ave., 149), candidate of economic sciences, e-mail: [pekarskaya.olga@mail.ru](mailto:pekarskaya.olga@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-0717-4284>

**Alexey G. Lukyanov**, master's student of the Institute of correspondence and distance learning of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, St. Petersburg, Moskovsky Ave., 149), e-mail: [max\\_foster@mail.ru](mailto:max_foster@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-6936-6806>

# ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

УДК 612.014.464

## РИСК ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ НАСЕЛЕНИЯ И АТМОСФЕРНЫЕ ГЕТЕРОГЕННЫЕ ФОТОПРОЦЕССЫ С УЧАСТИЕМ МИНЕРАЛЬНЫХ КОМПОНЕНТОВ АЭРОЗОЛЕЙ

✉ Антон Рубенович Иванов.

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, Санкт-Петербург, Россия

✉ [ecologyrisk2012@mail.ru](mailto:ecologyrisk2012@mail.ru)

*Аннотация.* Результаты лабораторного исследования фотостимулированного окисления некоторых экологически значимых соединений (ароматических углеводородов) на поверхности компонентов природного аэрозоля приведены в качестве примера саморегуляции в экологической системе. Снижение риска заболеваемости населения является результатом этих процессов. Сокращение ожидаемой продолжительности жизни рассчитано с учетом фотохимических атмосферных процессов. Произведено сравнение заболеваемости раком легких в зависимости от групп населения под действием ароматических углеводородов.

*Ключевые слова:* ароматические углеводороды, фотостимулированное окисление, риск для здоровья, сокращение ожидаемой продолжительности жизни, заболеваемость раком легких

**Ссылка для цитирования:** Иванов А.Р. Риск для здоровья населения и атмосферные гетерогенные фотохимические процессы с участием минеральных компонентов аэрозолей // Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты). 2022. № 1 (41). С. 20–29.

## HUMAN-HEALTH RISK AND ATMOSPHERIC HETEROGENEOUS PHOTO- PROCESSES WITH MINERAL AEROSOLS

✉ Anton R. Ivanov.

Saint-Petersburg state university industrial technology and design,  
Saint-Petersburg, Russia

✉ [ecologyrisk2012@mail.ru](mailto:ecologyrisk2012@mail.ru)

*Abstract.* The results of lab investigation of photostimulated oxidation of some ecologically significant compounds (aromatic hydrocarbons) on surface of natural aerosol components were taken as example of self-preservation in ecological system. The reduction of human-health risk is a result of this sink. Loss of life expectancy for photochemical atmospheric processes were calculated. The frequencies of cancer lung diseases under aromatic hydrocarbons for different population groups were compared.

*Keywords:* aromatic hydrocarbons, photostimulated oxidation, human-health risk, loss of life expectancy, cancer lung diseases

**For citation:** Ivanov A.R. Human-health risk and atmospheric heterogeneous photo-processes with mineral aerosols // Prirodnye i tekhnogennye riski (fiziko-matematicheskie i prikladnye aspekty) = Natural and man-made risks (physico-mathematical and applied aspects). 2022. №. 1 (41). P. 20–29.

## Введение

Наиболее опасным последствием загрязнения атмосферы продуктами неполного сгорания бензина является возникновение смоговой ситуации в населенном пункте (городе). Этот тип загрязнения атмосферы получил название «фотохимического смога». Признаком его появления является голубоватая дымка – результат конденсации продуктов фотохимических реакций в воздухе с образованием озона, что приводит к формированию зоны чрезвычайной ситуации (ЧС) [1–5]. Многочисленные успешные лабораторные эксперименты с использованием смоговых камер и результаты компьютерного моделирования убедительно показали, что без учета гетерогенных фотохимических превращений летучих органических соединений (ЛОС) невозможно описать изменение характеристик атмосферы [6–10]. Ароматические углеводороды являются важнейшими малыми составляющими атмосферы и ответственны за смогообразование в воздухе городов [1, 6–10].

Цель данного исследования заключалась в установлении значимости ранее не учитывавшихся стоков антропогенных ЛОС из атмосферы и влияния этих стоков на риск здоровью, с привлечением имеющихся в литературе данных и величин их предельно допустимых концентраций (ПДК) [11–28].

## Материалы и методика работы

Автором были измерены константы псевдопервого порядка скорости убыли ароматических углеводородов из газовой фазы ( $k_1$ ) и выделения  $\text{CO}_2$  ( $k_2$ ) в присутствии образцов минеральных материалов при облучении аэрозольных частиц светом ртутной лампы и ксеноновой лампы среднего давления мощностью 250–400 Вт (Tungsram, Венгрия). Константы вычислялись по формулам:

$$k_1 = \ln(S_0/S_t)/(tm);$$

$$k_2 = \ln(S_2/S_1)/(tm),$$

где  $S_0$ ,  $S_t$  – приведенная площадь хроматографического пика ЛОС к площади пика воздуха после достижения темнового адсорбционного равновесия до и после облучения соответственно;  $S_1$ ,  $S_2$  – приведенная площадь хроматографического пика  $\text{CO}_2$  до и после облучения соответственно;  $t$  – время облучения в секундах;  $m$  – масса твердых частиц, грамм.

Воспроизводимость измерения величин констант не превышала 20 %. Хромато-масс-спектрометрическую идентификацию ЛОС осуществляли на приборе LKB-2091 (Швеция). Количественное газохроматографическое определение ЛОС и  $\text{CO}_2$  осуществляли на газовых хроматографах ЛХМ-8МД (МОЗ «Хроматограф», Россия) моделей 3700 (МОЗ «Хроматограф», Россия) и «Цвет-570М» (ДОКБА, Россия), оснащенных пламенно-ионизационным детектором и катарометром.

## Результаты и их обсуждение

Для оценки риска воздействия токсичного компонента на здоровье населения автор применял подход, описанный в работах [4–7, 14–27], рассматривал его как интеграл «элементарных» рисков,  $r$ , распределенных во времени и пространстве по некоторому закону,  $F$  при условии  $0 \leq R \leq 1$ :

$$R = \int_{R_{min}}^{R_{max}} F(r) dr.$$

Рассматривая риск как вероятностную величину, автор рассчитывал его, используя формулы вида [4, 6, 7]:

$$R_1 = Q_1 c (c + C_A)^{-1};$$

$$R_2 = \exp(-C_M c^{-1}) c (c + C_M)^{-1},$$

где  $R_1$  – риск хронической (кумулятивной) интоксикации;  $C_A$  – среднесуточная ПДК,  $\text{мг} \times \text{м}^{-3}$ ;  $c$  – концентрация компонента в воздухе,  $\text{мг} \times \text{м}^{-3}$ ;  $Q_1 = t/24$  – отношение времени воздействия на субъект опасной примеси в часах за 1 сутки к 24 часам (принимали  $t=8$  часов);  $R_2$  – риск (моментальной) интоксикации;  $C_M$  – максимальная разовая ПДК  $\text{мг} \times \text{м}^{-3}$ ;  $R_{\max} = R_1 + R_2$ ,  $R_{\min} = R_1 R_2$ .

Автор, с учетом размерностей и имеющихся в литературе [21–28] формул для расчета риска, составил следующее выражение для оценки максимального риска возникновения ЧС,  $R_0$ :

$$R_0 = \gamma \left[ \frac{R_1}{C + C_A} + \frac{R_2}{C + C_M} - \frac{R_1}{C + C_A} \times \frac{R_2}{C + C_M} c \right] c \times \exp(-C_M c^{-1}),$$

где  $\gamma$  – фактор, определяемый режимом воздухообмена (рельефом местности);  $\gamma=1$  при скорости ветра менее 1,2 м/с (штиль);  $\gamma < 1$  при скорости ветра более 1,2 м/с.

Следующим этапом работы была оценка сокращения ожидаемой продолжительности жизни (loss life expectancy, LLE), лет [25]:

$$LLE = R_0 (L_1 - L_2),$$

$L_1$  – средняя продолжительность жизни, лет;  $L_2$  – средний возраст, лет. Для промышленно развитых стран во второй половине XX в. – начале XXI в. приняли в среднем  $L_1 = 70$  лет,  $L_2 = 39,5$  лет [1–3, 8, 19–32].

Полученные из данных (табл. 4) результаты расчетов (табл. 5) позволяют говорить о том, что на основании оценки LLE-фактора необходимо учитывать риск для населения, связанный с токсическим действием ЛОС в городах промышленно развитых стран. Для сравнения LLE по курению составляет около шести лет, по онкологическим заболеваниям в целом составляет 2,7 г., по нарушению стратосферного озона – 0,06 г. [26]. Высокие оценочные значения LLE говорят о том, что в данной модели не учтены факторы, обеспечивающие снижение рисков в условиях реальной атмосферы населенных пунктов. Одним из таких факторов может служить гетерогенный фотостимулированный сток ЛОС. Учитывая убыль токсичного компонента по первому порядку с константой  $k_1$ , значение действующей концентрации ароматического углеводорода  $c$  должно быть исправлено:

$$c = c_0 \exp(-k_1 t),$$

где  $c_0$  – исходная концентрация ЛОС в начале периода облучения солнечной радиацией;  $t$  – время активного фотохимического смогообразования в сутки,  $t = 1,8 \cdot 10^4$  с.

С учетом измеренных автором констант скоростей гетерогенных фотостимулированных реакций ЛОС ( $k_1 = 10^{-6} - 10^{-4} \text{ с}^{-1}$ ) можно оценить снижение действующей концентрации токсичных примесей:

$$c = f c_0,$$

где  $f = \exp(-k_1 t)$  и составляет, согласно значениям  $t$  и  $k_1$ , 0,17 – 0,98 (табл. 1–3), а в среднем  $f = 0,58$ . С учетом  $f$  можно оценить снижение рисков и соответствующей LLE за счет гетерогенного фотостимулированного стока ЛОС.

Из табл. 5 видно, что проведенная оценка  $R_0$  и LLE показывает сильную зависимость этих параметров от концентраций загрязнителей атмосферы, что указывает на хорошую чувствительность к данному параметру предложенной автором модели расчета. Исторически

наиболее неблагоприятные в экологическом отношении регионы (г. Лос-Анжелес, США, 1960–1980-е гг., Санкт-Петербург, Россия, 1990–2000 гг.) согласно данной модели характеризуются очень высокими LLE. Это наблюдается несмотря на влияние гетерогенного фотостимулированного стока на концентрации первичных загрязнителей – бензола и его ближайших гомологов.

В различных странах мира заболеваемость злокачественными новообразованиями трахеи, бронхов и лёгкого находится на высоком уровне. Основную долю в группе этих заболеваний составляет рак лёгкого (99,6 %). Рак лёгкого является основной причиной смертности в большинстве стран ввиду высокой доли распространенных и запущенных стадий.

**Таблица 1. Константы скоростей псевдопервого порядка наблюдаемой фотостимулированной убыли из газовой фазы ароматических углеводородов в присутствии  $\text{TiO}_2$ , квалификации «чда», с удельной поверхностью  $35 \text{ м}^2/\text{г}$ , при облучении светом ртутной лампы**

Углеводород	Количество углеводорода, мкМ	Время облучения, мин	Наблюдаемая константа фотоубыли, $\text{к} \times 10^4, (\text{с} \cdot \text{г})^{-1}$
Бензол	110	180	1,1
Толуол	94	180	1,0
Этилбензол	82	180	0,9

Для рака лёгкого курение является основным источником риска и преобладает у мужчин, в то время как женщины меньше подвержены его воздействию. Однако присутствие во вдыхаемом воздухе ароматических углеводородов, в частности, бензола и его ближайших гомологов, также создает риск возникновения у людей онкологических заболеваний [2–5, 21–28, 30–32]. На взгляд автора, это надо учитывать при оценке «канцерогенного» риска.

**Таблица 2. Наблюдаемые константы скоростей псевдопервого порядка убыли толуола из газовой фазы и выделения  $\text{CO}_2$  при облучении светом с  $\lambda \geq 310 \text{ нм}$  в присутствии компонентов природного аэрозоля**

Компонент природного аэрозоля			Время облучения, мин	Наблюдаемая константа выделения $\text{CO}_2$ , $\text{к} \times 10^5, (\text{с} \cdot \text{г})^{-1}$	Наблюдаемая константа убыли толуола, $\text{к} \times 10^5, (\text{с} \cdot \text{г})^{-1}$
название	удельная поверхность, $\text{м}^2/\text{г}$	масса навески, г			
Песок пустыни Кара-Кум	20,0	10,0	180	2,0	1,8
Вулканический пепел (Камчатка)	6,0	3,0	300	0,5	1,2
Мел (технический)	4,0	3,5	300	1,0	0,6
Морская соль (Тихий океан)	–	3,0	300	0,2	1,3

Прочерк означает отсутствие сведений

Сравнение коэффициентов корреляции средней заболеваемости раком лёгкого с концентрациями бензола, толуола и этилбензола в атмосферном воздухе ( $r_k$ ) и коэффициента корреляции той же величины со значениями LLE, рассчитанными по концентрациям бензола, толуола и этилбензола в атмосферном воздухе с учетом гетерогенного фотостимулированного стока (табл. 6 и 7), показывает следующее. Присутствие в атмосферном воздухе бензола, толуола и этилбензола имеет связь с заболеваемостью раком лёгкого (является фактором риска здоровью) в большей степени для женщин (средняя или умеренная положительная связь), чем для мужчин (очень слабая положительная или отрицательная связь). Близость значений коэффициентов корреляции заболеваемости раком лёгкого с концентрациями опасных загрязнителей – бензола и его гомологов и вычисленных по ним значений LLE по предложенной автором формуле позволяет говорить о достаточной ее адекватности.

Таблица 3. Наблюдаемые константы скоростей псевдопервого порядка фотостимулированной убыли толуола (доза 94 мкМ) в присутствии увлажненных образцов ZnO (масса 1 г)

Оксид цинка (чда)	Вид обработки (при 500 °С, 5 ч) перед опытом					
	в вакууме			на воздухе		
Массовая доля воды в оксиде цинка, %	-	0,97	5,4	-	1,0	3,7
Первый цикл облучения, наблюдаемая константа убыли толуола, $k \times 10^5, c^{-1}$	8,0	6,5	2,0	4,2	2,0	6,9
Второй цикл облучения (после перерыва), наблюдаемая константа убыли толуола $k \times 10^5, c^{-1}$	8,0	40,0	42,5	4,2	7,5	16,5

Прочерк в верхней строчке означает, что фотокатализатор не подвергался дополнительному обводнению

Таблица 4. Среднегодовые концентрации ЛОС в воздухе ( $c_0$ ) в некоторых регионах, приведенные в литературе [2, 5, 21, 26]

Концентрация, компонент мкг/м <sup>3</sup>	Бензол	Толуол	Этилбензол	Твердые частицы
г. Лос-Анжелес, США, 1960–1980-е гг.	106,0	115,0	25,0	7,0–46,0
г. Сидней, Австралия, 1970–1980-е гг.	23,6	–	–	–
Рурская область, ФРГ, 1990–2000-е гг.	10,6	18,2	4,14	33,0
Санкт-Петербург, Россия, 1990–2000-е гг.	104,0	111,0	20,0	181,0

Прочерк означает отсутствие сведений

Таблица 5. Рассчитанные риски интоксикации ( $R_0$ ) и LLE (лет) в некоторых регионах для концентраций ЛОС в атмосферном воздухе, приведенных в литературе [2, 5, 21, 26] без учета ( $c_0$ , табл. 4) фотостимулированных процессов и с их учетом ( $c=0,58c_0$ ), при  $\gamma=1$ , на основании ПДК, взяты из источников [9–11, 17]

Компонент	$R_0$ при действии бензола		$R_0$ при действии толуола		$R_0$ при действии этилбензола	
	в концентрации $c_0$	в концентрации $c=0,58c_0$	в концентрации $c_0$	в концентрации $c=0,58c_0$	в концентрации $c_0$	в концентрации $c=0,58c_0$
г. Лос-Анжелес, США, 1960–1980-е гг.	0,606 <b>LLE=18,5</b>	0,418 <b>LLE=12,8</b>	0,439 <b>LLE=13,4</b>	0,25 <b>LLE=8,9</b>	0,5 <b>LLE=15,3</b>	0,3 <b>LLE=9,29</b>
г. Сидней, Австралия, 1970–1980-е гг.	0,11 <b>LLE=3,3</b>	0,08 <b>LLE=2,4</b>	–	–	–	–
Рурская область, ФРГ, 1990–2000-е гг.	0,011 <b>LLE=0,33</b>	$7,54 \cdot 10^{-4}$ <b>LLE=0,023</b>	0,0118 <b>LLE=0,36</b>	$8,02 \cdot 10^{-4}$ <b>LLE=0,025</b>	0,021 <b>LLE=0,64</b>	0,002 <b>LLE=0,06</b>
Санкт-Петербург, Россия, 1990–2000-е гг.	0,6 <b>LLE=18,3</b>	0,41 <b>LLE=12,6</b>	0,427 <b>LLE=13,0</b>	0,24 <b>LLE=7,4</b>	0,42 <b>LLE=12,8</b>	0,226 <b>LLE=6,9</b>

Прочерк означает отсутствие сведений

Таблица 6. Заболеваемость раком лёгкого в разных регионах [30–32] и линейный коэффициент ее корреляции ( $r_k$ ) с концентрациями ЛОС в атмосферном воздухе (табл. 4, 5)

Регион	Группа населения, заболеваемость на 100 000 чел.				
	мужчины	мужчины, среднее	женщины	женщины, среднее	общее среднее
г. Лос-Анжелес, США, 1960–1980-е гг.	61,3–79,8	70,55	33,8–51,4	42,6	56,6
г. Сидней, Австралия, 1970–1980-е гг.	30,1–39,1	34,6	13,3–13,9	13,6	48,2
Рурская область, ФРГ, 1990–2000-е гг.	70,9–108,8	89,85	10,3–20,9	15,6	52,7
Санкт-Петербург, Россия, 1990–2000-е гг.	61,8–80,0	70,9	7,0–15,5	11,25	41,1
$r_k$ для бензола с учетом*)	–	0,110	–	0,491	-0,206
$r_k$ для бензола	–	-0,999	–	0,402	-0,414
$r_k$ для толуола	–	-0,998	–	0,484	-0,240
$r_k$ для этилбензола	–	-0,968	–	0,587	-0,0477

Таблица 7. Коэффициенты корреляции ( $r'_k$ ) средней заболеваемости раком лёгкого в разных регионах [30–33] с LLE, рассчитанные по концентрациям ЛОС в атмосферном воздухе с учетом гетерогенного фотостимулированного стока (табл. 4)

Компонент группа	Бензол			Толуол			Этилбензол		
	муж- чины	жен- щины	общее	муж- чины	жен- щины	общее	муж- чины	жен- щины	общее
Коэф- фициенты корреляции с LLE ( $r'_k$ )	-0,999 0,067 <sup>*)</sup>	0,388 0,480 <sup>*)</sup>	-0,263 -0,146 <sup>*)</sup>	-0,990	0,526	-0,120	-0,972	0,603	-0,027

\*) С учетом г. Сидней, Австралия, 1970–1980-е гг.

### Выводы и заключение

Показано, что порядок константы гетерогенного стока ароматических углеводородов в атмосфере составляет  $10^{-6}$ – $10^{-4}$  с<sup>-1</sup>. Несмотря на то, что условия данных экспериментов значительно отличаются от природных, можно сделать некоторые рекомендации.

В связи с массовым отказом от курения на первый план выходит необходимость снижения канцерогенных и общих рисков для здоровья, связанных с загрязнением атмосферы, в частности, выхлопными газами автотранспорта и промышленными выбросами. Следует снизить поступление этих ЛОС, сопряженное с работой автотранспорта, путем ограничения движения автомобилей с бензиновыми двигателями в центральных частях городов. Существует зарубежный опыт решения этих проблем. Правила дорожного движения нуждаются в доработке с точки зрения обеспечения экологической безопасности [1–5, 7, 21–26].

Также следует сделать научно обоснованный выбор растительных пород при посадках на территориях внутри и вокруг населенных пунктов в плане возможной эмиссии ими фотоактивных ЛОС [33]. Растущие потребности населения в улучшении качества жизни требуют тщательной доработки экологического законодательства, принимая во внимание особенности конкретных регионов.

Часть работ выполнена в рамках грантов Комитета по науке и высшей школе Администрации Санкт-Петербурга (Конкурсный центр фундаментального естествознания) АСП № 298250 и АСП № 300232.

### Список источников

1. Вопросы экологии: сб. материалов для жителей муниципального округа № 6 Адмиралтейского района Санкт-Петербурга / А.Б. Бутенко [и др.]. СПб.: Теза, 2009.
2. Санкт-Петербургу – чистый воздух / С.С. Чичерин [и др.]. СПб.: Азбука, 2000.
3. Охрана окружающей среды, природопользование и обеспечение экологической безопасности в Санкт-Петербурге в 2006 году / под. ред. Д.А. Голубева, Н.Д. Сорокина. СПб.: ООО «Единый строительный портал», 2007. 173 с.
4. Белова К.В., Федченко В.В., Иванов А.Р. Оценка риска влияния выхлопных газов автотранспорта на здоровье населения Адмиралтейского района Санкт-Петербурга // Естественные и антропогенные аэрозоли: сб. материалов VI междунар. конф. / отв ред. Л.С. Ивлев. СПб.: Изд-во С.-Петерб. ун-та, 2008. С. 9.
5. Исидоров В.А. Органическая химия атмосферы. СПб.: Химия, 2000.
6. Иванов А.Р. Влияние атмосферных фотоактивных минеральных аэрозолей на риск возникновения чрезвычайных ситуаций: автореф. дис. ... канд. хим. наук. СПб., 2004.
7. Иванов А.Р. Оценка риска для здоровья населения с учетом атмосферных гетерогенных процессов // Химическая и биологическая безопасность. 2007. № 4–5 (34–35). С. 22–27.

8. Криксунов Е.А., Пасечник В.В., Сидорин А.П. Экология. СПб.: Изд. дом «Дрофа», 1995.
9. ГОСТ 17.2.3.01–86. Охрана природы. Атмосфера. Правила контроля качества воздуха населенных пунктов // ЭЛЕКТРОННЫЙ ФОНД правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (дата обращения: 21.02.2022).
10. ГОСТ 12.1.005–88. Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны // ЭЛЕКТРОННЫЙ ФОНД правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (дата обращения: 21.02.2022).
11. ГН 2.1.6.1338-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест // ЭЛЕКТРОННЫЙ ФОНД правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (дата обращения: 21.02.2022).
12. Беспаятных Г.П., Кротов Ю.А. Предельно допустимые концентрации химических веществ в окружающей среде: справ. Л.: Химия, 1985.
13. Практикум по экологии: учеб. пособие / С.В. Алексеев [и др.]. М.: АО МДС, 1996.
14. Баталов А.Е., Шаврина Е.В. Методические рекомендации к полевой практике по общей экологии: учеб. пособие. Архангельск: ПГУ, 2000.
15. Руководство к лабораторным работам по основам экологии и охране природы: учеб. пособие / В.В. Галушко [и др.]. СПб.: Изд. дом «Дрофа», 2005.
16. Иванов А.Р. Фотостимулированные процессы с участием летучих органических соединений на поверхности минеральных компонентов природного аэрозоля // Химия поверхности и нанотехнология: сб. материалов конф. Хилово, 2002. С. 25.
17. ГОСТ 17.2.4.02–81. Охрана природы. Атмосфера. Общие требования к методам определения загрязняющих веществ // ЭЛЕКТРОННЫЙ ФОНД правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (дата обращения: 21.02.2022).
18. Иванов А.Р., Исидоров В.А. Фотостимулированные процессы с участием летучих органических соединений на поверхности минеральных компонентов природного аэрозоля // Атмосферная радиация (МСАР-02): сб. материалов конф. СПб., 2002. С. 62–63.
19. Охрана окружающей среды, природопользование и обеспечение экологической безопасности в Санкт-Петербурге в 2006 году / под. ред. Д.А. Голубева, Н.Д. Сорокина. СПб., 2007.
20. Кузнецова М.А. Полевой практикум по экологии: учеб. пособие. М.: Наука, 1994.
21. Фрумин Г.Т. Загрязнение атмосферного воздуха в городах России и риск здоровью // Экологическая химия. 2002. № 11 (2). С. 73–77.
22. Киселев А.В., Фридман К.Б. Оценка риска здоровью. СПб.: АО «Дейта», 1997.
23. Башкин В.Н. Экологические риски: расчет, управление, страхование: учеб. 2-е изд. М.: Выс. шк., 2007.
24. Алымов В.Т., Тарасова Н.П. Техногенный риск. Анализ и оценка. М.: ИКЦ Академкнига, 2004.
25. Исидоров В.А. Введение в химическую экотоксикологию. СПб.: Химия, 1999.
26. Ваганов П.А. Человек-риск-безопасность. СПб.: Изд-во С.-Петербур. ун-та, 2000.
27. Прохоров Ю.В., Моисеев Н.Н. Экология человечества глазами математика. М.: Молодая гвардия, 1988. 254 с.
28. Музалевский А.А., Воробьев О.Г., Потапов А.И. Экологический риск. СПб.: Изд-во СПбГУ, 2002.
29. Уравнение регрессии. URL: <https://math.semestr.ru/corel/corel.php> (дата обращения: 15.01.2021).
30. Население и общество. Центр демографии и экологии человека Института народнохозяйственного прогнозирования РАН: Электронная версия бюллетеня. URL: <http://www.demoscope.ru/weekly/2004/0145/analit02.php> (дата обращения: 15.01.2021).

31. Гомельский онкологический диспансер. Статистика – рак лёгкого. URL: <https://www.grsoc.gomel.by/poleznaya-informatsiya/poleznye-stati/723-statistika-rak-ljogkogo> (дата обращения: 15.01.2021).

32. Эпидемиология рака в мире. Сетевое издание. Современные проблемы науки и образования / Э.К. Макимбетов [и др.]. URL: <https://scienceeducation.ru/ru/article/view?id=29718> (дата обращения: 15.01.2021).

33. Исидоров В.А. Летучие выделения растений. СПб.: Алга, 1992.

## References

1. Voprosy ekologii: sb. materialov dlya zhitelej municipal'nogo okruga № 6 Admiraltejskogo rajona Sankt-Peterburga / A.B. Butenko [i dr.]. SPb.: Teza, 2009.

2. Sankt-Peterburgu – chistyj vozduh / S.S. CHicherin [i dr.]. SPb.: Azbuka, 2000.

3. Ohrana okruzhayushchej sredy, prirodopol'zovanie i obespechenie ekologicheskoy bezopasnosti v Sankt-Peterburge v 2006 godu / pod. red. D.A. Golubeva, N.D. Sorokina. SPb.: ООО «Edinyj stroitel'nyj portal», 2007. 173 s.

4. Belova K.V., Fedchenko V.V., Ivanov A.R. Ocenka riska vliyaniya vyhlopnyh gazov avtotransporta na zdorov'e naseleniya Admiraltejskogo rajona Sankt-Peterburga // Estestvennye i antropogennye aerozoli: sb. materialov VI mezhdunar. konf. / otv red. L.S. Ivlev. SPb.: Izd-vo S.-Peterb. un-ta, 2008. S. 9.

5. Isidorov V.A. Organicheskaya himiya atmosfery. SPb.: Himiya, 2000.

6. Ivanov A.R. Vliyanie atmosferynyh fotoaktivnyh mineral'nyh aerozolej na risk vozniknoveniya chrezvychajnyh situacij: avtoref. dis. ... kand. him. nauk. SPb., 2004.

7. Ivanov A.R. Ocenka riska dlya zdorov'ya naseleniya s uchetom atmosferynyh geterogennyh processov // Himicheskaya i biologicheskaya bezopasnost'. 2007. № 4–5 (34–35). S. 22–27.

8. Kriksunov E.A., Pasechnik V.V., Sidorin A.P. Ekologiya. SPb.: Izd. dom «Drofa», 1995.

9. GOST 17.2.3.01–86. Ohrana prirody. Atmosfera. Pravila kontrolya kachestva vozduha naseleennyh punktov // ELEKTRONNYJ FOND pravovoj i normativno-tekhnicheskoy dokumentacii. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (дата обрaшчeния: 21.02.2022).

10. GOST 12.1.005–88. Sistema standartov bezopasnosti truda. Obshchie sanitarno-gigienicheskie trebovaniya k vozduhu rabochej zony // ELEKTRONNYJ FOND pravovoj i normativno-tekhnicheskoy dokumentacii. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (дата обрaшчeния: 21.02.2022).

11. GN 2.1.6.1338-03. Predel'no dopustimye koncentracii (PDK) zagryaznyayushchih veshchestv v atmosfernom vozduhe naseleennyh mest // ELEKTRONNYJ FOND pravovoj i normativno-tekhnicheskoy dokumentacii. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (дата обрaшчeния: 21.02.2022).

12. Bespamyatnov G.P., Krotov YU.A. Predel'no dopustimye koncentracii himicheskikh veshchestv v okruzhayushchej srede: sprav. L.: Himiya, 1985.

13. Praktikum po ekologii: ucheb. posobie / S.V. Alekseev [i dr.]. M.: AO MDS, 1996.

14. Batalov A.E., SHavrina E.V. Metodicheskie rekomendacii k polevoj praktike po obshchej ekologii: ucheb. posobie. Arhangel'sk: PGU, 2000.

15. Rukovodstvo k laboratornym rabotam po osnovam ekologii i ohrane prirody: ucheb. posobie / V.V. Galushko [i dr.]. SPb.: Izd. dom «Drofa», 2005.

16. Ivanov A.R. Fotostimulirovannye processy s uchastiem letuchih organicheskikh soedinenij na poverhnosti mineral'nyh komponentov prirdnogo aerozolya // Himiya poverhnosti i nanotekhnologiya: sb. materialov konf. Hilovo, 2002. S. 25.

17. GOST 17.2.4.02–81. Ohrana prirody. Atmosfera. Obshchie trebovaniya k metodam opredeleniya zagryaznyayushchih veshchestv // ELEKTRONNYJ FOND pravovoj i normativno-tekhnicheskoy dokumentacii. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (дата обрaшчeния: 21.02.2022).

18. Ivanov A.R., Isidorov V.A. Fotostimulirovannye processy s uchastiem letuchih organicheskikh soedinenij na poverhnosti mineral'nyh komponentov prirodno go aerozolya // Atmosfernaya radiaciya (MSAR-02): sb. materialov konf. SPb., 2002. S. 62–63.
19. Ohrana okruzhayushchej sredy, prirodnopol'zovanie i obespechenie ekologicheskoy bezopasnosti v Sankt-Peterburge v 2006 godu / pod. red. D.A. Golubeva, N.D. Sorokina. SPb., 2007.
20. Kuznecova M.A. Polevoj praktikum po ekologii: ucheb. posobie. M.: Nauka, 1994.
21. Frumin G.T. Zagryaznenie atmosfernogo vozduha v gorodah Rossii i risk zdorov'yu // Ekologicheskaya himiya. 2002. № 11 (2). S. 73–77.
22. Kiselev A.V., Fridman K.B. Ocenka riska zdorov'yu. SPb.: AO «Dejta», 1997.
23. Bashkin V.N. Ekologicheskie riski: raschet, upravlenie, strahovanie: ucheb. 2-e izd. M.: Vys. shk., 2007.
24. Alymov V.T., Tarasova N.P. Tekhnogenyj risk. Analiz i ocenka. M.: IKC Akademkniga, 2004.
25. Isidorov V.A. Vvedenie v himicheskuyu ekotoksikologiyu. SPb.: Himiya, 1999.
26. Vaganov P.A. CHelovek-risk-bezopasnost'. SPb.: Izd-vo S.-Peterb. un-ta, 2000.
27. Prohorov YU.V., Moiseev N.N. Ekologiya chelovechestva glazami matematika. M.: Molodaya gvardiya, 1988. 254 s.
28. Muzalevskij A.A., Vorob'ev O.G., Potapov A.I. Ekologicheskij risk. SPb.: Izd-vo SPbGU, 2002.
29. Uravnenie regressii. URL: <https://math.semestr.ru/corel/corel.php> (data obrashcheniya: 15.01.2021).
30. Naselenie i obshchestvo. Centr demografii i ekologii cheloveka Instituta narodnohozyajstvennogo prognozirovaniya RAN: Elektronnaya versiya byulletenya. URL: <http://www.demoscope.ru/weekly/2004/0145/analit02.php> (data obrashcheniya: 15.01.2021).
31. Gomel'skij onkologicheskij dispanser. Statistika – rak lyogkogo. URL: <https://www.grcoc.gomel.by/poleznaya-informatsiya/poleznye-stati/723-statistika-rak-ljogkogo> (data obrashcheniya: 15.01.2021).
32. Epidemiologiya raka v mire. Setevoe izdanie. Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya / E.K. Makimbetov [i dr.]. URL: <https://scienceeducation.ru/ru/article/view?id=29718> (data obrashcheniya: 15.01.2021).
33. Isidorov V.A. Letuchie vydeleniya rastenij. SPb.: Alga, 1992.

#### **Информация о статье:**

Поступила в редакцию: 10.01.2022

Принята к публикации: 14.02.2022

#### **The information about article:**

Article was received by the editorial office: 10.01.2022

Accepted for publication: 14.02.2022

#### *Информация об авторах:*

**Антон Рубенович Иванов**, доцент кафедры общей и неорганической химии Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна (190068, Санкт-Петербург, Вознесенский пр., 46), кандидат химических наук, e-mail: [ecologyrisk2012@mail.ru](mailto:ecologyrisk2012@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-4364-2102>

#### *Information about the authors:*

**Anton R. Ivanov**, associate professor of the department of general and inorganic chemistry of the Saint-Petersburg State university of industrial technologies and design (46 Voznesensky Ave., 190068, St. Petersburg), candidate of chemical sciences, e-mail: [ecologyrisk2012@mail.ru](mailto:ecologyrisk2012@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-4364-2102>

УДК 614.18.01

## АНАЛИЗ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ, ОПИСЫВАЮЩИХ ФОРМИРОВАНИЕ ГОРНЫХ СЕЛЕВЫХ ПОТОКОВ

✉ **Ольга Анатольевна Пекарская;**  
**Ирина Викторовна Рыбакова.**  
**Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России,**  
**Санкт-Петербург, Россия**  
✉ [pekarskaya.olga@mail.ru](mailto:pekarskaya.olga@mail.ru)

*Аннотация.* Проанализированы основные концепции, связанные с моделями селевых потоков, формирующихся в руслах рек, с учетом основных факторов селеобразования, анализа механизма образования и развития селя. Детальный анализ связи подземных и поверхностных вод должен проводиться только для конкретных водосборных речных бассейнов с учетом основных процессов гидрогеодинамики в существующих породах горных массивов. Поэтому применение в математическом моделировании, относящемся к процессам развития данных процессов, соответствующих дифференциальных уравнений будет очень уместно при учете важнейших характеристик горных пород. Существующая сегодня солитонная модель возникновения и распространения селевого потока, которая основана на механизме активизации селевых процессов, базируется на отождествлении потенциального селевого массива с волновым процессом нелинейной системы. И в этой системе принципиально значим процесс самоорганизации упорядоченных волновых структур.

Полученные результаты могут применяться при определении возможных последствий прохождения селевых потоков. Это дает возможность разрабатывать или корректировать планы мероприятий, способствующих повышению качества и эффективности управления процессами, обеспечивающими предупреждение и ликвидацию последствий прохождения селевых потоков.

*Ключевые слова:* моделирование селевых потоков, механизмы зарождения селей, последствия схода селей, затопление, предупреждение и ликвидация последствий схода селей, оценка риска конкретных территорий

**Ссылка для цитирования:** Пекарская О.А., Рыбакова И.В. Анализ математических моделей, описывающих формирование горных селевых потоков // Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты). 2022. № 1 (41). С. 30–39.

## ANALYSIS OF MATHEMATICAL MODELS DESCRIBING THE FORMATION OF MOUNTAIN MUDFLOW

✉ **Olga A. Pekarskaya; Irina V. Rybakova.**  
**Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia,**  
**Saint-Petersburg, Russia**  
✉ [pekarskaya.olga@mail.ru](mailto:pekarskaya.olga@mail.ru)

*Abstract.* The issues of modeling mountain mudflows that suddenly form in riverbeds are considered, taking into account the key factors of mudflow formation, analysis of the mechanism of formation and development of mudflow. A detailed analysis of the relationship between groundwater and surface water should be carried out only for specific drainage basins, taking into account the main processes of hydrogeodynamics in existing rock masses. This allows to carry out mathematical modeling of development of these processes within the framework of the corresponding differential equations, taking into account such important characteristics of rocks as the tortuosity coefficient, the degree of heterogeneity, the coefficient of porosity, fracturing, and others. The mechanism of activation of mudflow processes can be described within the framework of general model concepts of a potential mudflow massif as a wave process in a nonlinear system in which the process of self-organization of ordered wave structures takes place. This makes it possible to use the soliton model for a mathematical description of the process

of occurrence and propagation of a debris flow. The results obtained can be used in determining the possible consequences of the passage of mudflows. This makes it possible to develop or correct action plans that improve the quality and efficiency of managing processes that ensure the prevention and elimination of the consequences of the passage of mudflows.

*Keywords:* modeling of mudflows, mechanisms of mudflow initiation, consequences of mudflows, flooding, prevention and liquidation of the consequences of mudflows, risk assessment of specific areas

**For citation:** Pekarskaya O.A., Rybakova I.V. Analysis of mathematical models describing the formation of mountain mudflows // Natural and technogenic risks (physico-mathematical and applied aspects). 2022. № 1 (41). P. 30–39.

Дадим определения важнейших понятий, которые будут использоваться в статье.

Селем называется грязевой или грязекаменный поток, в который входят минеральные частицы, камни и обломки горных пород (от 10–15 до 75 % объема потока), имеющий особенность внезапного формирования в руслах горных рек. Причинами селя являются в большинстве случаев избыточные осадки, обусловленные ливнями, таянием снега, нередко прорывы моренных и завальных озер, обвалы и оползни, а также землетрясения, вызывающие селевые лавины [1].

Величина площадей зон селеобразования по статистике не менее 0,03 кв. км, а при чрезвычайных ситуациях может быть более 40 кв. км. Зона селевого транзита или, что то же самое, величина русла варьируется от 10 до 20 м, если это микросели, и достигает более 20 км, если это гигантские сели. У селя есть и такой показатель, как крутизна (или тангенс угла наклона), имеющий разное значение в верхней и нижней частях транзитной зоны – обычно не менее 5 и не более 320. Отметим, что движение селя останавливается, если крутизна менее 45 [2].

Значение плотности селевого потока превышает, как правило, 100 кг в кубическом метре воды, при этом плотность породы находится в пределах от 2,4 до 2,6 г/см<sup>3</sup> и, следовательно, плотность несвязных селевых потоков (фактически, водных потоков при наводнениях) будет находиться в пределах от 1,07 до 1,1 г/см<sup>3</sup>. Величина плотности связного селевого потока (он может одновременно сопровождаться несвязным потоком) при этом будет изменяться от 1,2 до 1,9 г/см<sup>3</sup>. Скорость движения селевого потока зависит от самых различных обстоятельств, поскольку потоки имеют различную глубину, их величина зависит от уклона русла реки, состава массы селя и может быть весьма различной – от 1 м/с до 8 м/с, а иногда и превышать последнее значение. Между максимальной и средней скоростью может быть разница в 1,5–2 раза. Значение высоты при этом зависит от характера селя. Если сел несет катастрофический характер, то его высота составляет от 3 до 10 м, а если сел маломощный, то его глубина изменяется от 1 до 2 м. Главным фактором, определяющим ширину селя, является ширина речного русла. Как правило, эта ширина составляет от 3 м до 100 м, поскольку горный рельеф сложен, и каньоны, горловины, русла небольших бассейнов могут иметь самую различную ширину. Соответственно, и максимальный расход селя будет колебаться от нескольких десятков до 1 500 м<sup>3</sup>/с. При этом возможно лавинообразное движение селя в руслах водотока, когда речь идет уже не о течении, а о передвижении определенного целого объема селя [3].

Глыбы огромных размеров (крупногабаритные скальные обломки объемом 100–200 м<sup>3</sup>, весом до 500 т и более) могут свободно транспортироваться селевым потоком, что определяется необходимой величиной средней скорости связного селевого потока (порядка 25 м/с), которая нужна для транспортировки крупного скального обломка, частично погруженного в поток. При резких перемещениях вниз больших объемов породы возможно возникновение в русле реки так называемой обратной (отрицательной) волны,двигающейся вверх с большой скоростью (до 40 м/с) [4].

Механизмы зарождения селей в рамках стандартных представлений подразделяются на три типа: эрозионный, прорывной и обвально-оползневый. Наиболее катастрофические последствия схода селя связывают с последним механизмом, когда селевая волна



В дальнейшем увеличение в данной области объема воды станет причиной возросшего гидростатического давления консолидированной водной системы подземных вод. В горной долине все виды водных потоков направлены в сторону русла. Принимается во внимание и градиент высот наклонной плоскости. Поэтому возникает эффект артезианской скважины: под давлением в водосборной воронке подземные водные массы в приповерхностной области русла изливаются на поверхность. В гидрогеологии эту область русла принято называть «селевыми воротами».

Предполагаемую высоту водного потока (селевую волну) можно рассчитать, зная разность давлений между местом излияния потока (по внутренним напряжениям в горной породе) и поверхностным давлением.

Отметим, что, согласно гидродинамическому закону Бернулли, с повышением скорости выброса масс воды давление понижается. И возникшее в селевых воротах низкое давление вовлекает дополнительные массы воды, твердые обломки. Эффект положительной обратной связи интенсивно «запускает» процесс, который становится лавинообразным. Формируется смесь воды с мелкоземом (гравиевая смесь различной величины, камни и т.п.).

Важным обстоятельством является правильное значение высоты селевой волны. В свою очередь, возникновение самого потока, прежде всего, определяется внутренними напряжениями в горных пластах, и воздействием внешних причин, вызывающих рост давления на поверхности, которые в первую очередь зависят от расположенного выше водоема. Далее селевой поток вырывается вверх. Вследствие действия гидродинамического закона Бернулли при увеличении выбрасывания водных масс снижается давление, поток воды при этом усиливается и увлекает за собой твердый обломочный материал, что усиливает интенсивность протекания процесса, принимающего далее лавинообразный характер, провоцирующий возникновение водной смеси с мелкоземом и каменной фракции различного состава. Это усиливает интенсивность процесса и провоцирует лавинообразный рост интенсивности водных потоков, содержащих мелкозем и мелкие камни в виде воды и гравия, а также камни больших размеров.

Этот процесс провоцирует возникновение области низкого давления, в которую дополнительно втягиваются подземные воды. Это может объяснить механизм возникновения дополнительных масс воды, существенно превышающих объем воды, выпадающей при осадках. Конечно, интенсивность такого водного потока в наибольшей степени определяется характером строения горного массива и расположением в нем водных горизонтов. Учет абсолютно всех этих факторов необходим для составления прогноза, который особенно сложно составить для времени и места возникновения селя, причем под местом возникновения селя могут быть весьма протяженные территории.

Процесс возникновения селя характеризуется пороговым значением, поскольку в бассейне реки действуют различные, часто взаимно противостоящие процессы. Таким образом, можно сказать, что этот процесс носит нелинейный динамический характер и при этом может быть катастрофическим [7, 8].

Расположение водоема над местом возникновения селя является дополнительным фактором опасности. Это, с одной стороны, источник появления дополнительных водных масс, которые, в свою очередь, увлекают за собой дополнительное количество камней и другого обломочного материала. Интенсивность процесса селеобразования резко возрастает.

Сходящий селя выносит обломочный материал и грязь из русла реки, которое в результате этого очищается. Такой процесс будет неизбежно повторяться, однако без должной регулярности, поскольку возникновение процесса селеобразования вызывается совокупностью действия самых разнообразных факторов, различные из которых могут доминировать в зависимости от конкретных обстоятельств.

Говоря о селевой волне, следует отметить, что взвешенные частицы в ней распределены неоднородно. Частицы, имеющие большую массу, расположены в нижней

части потока, их скорость выше, а частицы, имеющие меньшую массу, расположены в верхней части потока и их скорость выше. Находящиеся в речном русле куски породы и преграды также влияют на поведение селевой волны. Процесс со временем приобретает все большую нелинейность, усиливается неоднородность распределения скорости водных потоков по пространственным координатам. Явление усиливается за счет находящихся в русле встречных объектов, сооружений и преград.

Гидродинамические процессы в различных горных пластах весьма различаются по характеру. Эти процессы описываются с помощью дифференциальных уравнений, учитывающих разнообразные характеристики горных пород, такие как коэффициент извилистости, степень гетерогенности, коэффициенты пористости, трещиноватости и эффективного напряжения [9].

Моделирование селевых процессов представляет из себя непростую задачу. Такой процесс носит волновой характер и может быть диссипативным, поскольку упорядоченные волновые структуры демонстрируют тенденцию к самоорганизации.

Сложность задачи моделирования обусловлена непредсказуемостью поведения селевого потока, который может внезапно возникать в самых различных местах в разное время. Наибольшая интенсивность потока наблюдается в начальный момент, масса воды в потоке превышает массу воды выпадающих осадков, мощность же самого селя при его продвижении усиливается. Сель при этом может возникать в разное время с разной периодичностью, но в то же время места возникновения селя могут повторяться. В связи со сложностью поведения такая система может рассматриваться как открытая, имеющая нелинейный характер, и характеризующаяся временной и пространственной обратной связью с распределенными параметрами.

В рамках такого рассмотрения природных водных катастроф как регулярных нелинейных процессов за основу берутся, во-первых, уравнения гидростатики и гидродинамики, определяющие поле давлений и транспортные пути движения водных масс в горных массивах, во-вторых, уравнения нелинейных волновых процессов с солитонными решениями.

Солитон представляет собой уединенную волну, распространяющуюся в различных средах без изменения формы и амплитуды на существенные расстояния. Место возникновения солитонов – физические системы, где энергия импульса движущихся волн компенсируется нелинейностью среды, в пределах которой данная группа волн распространяется. Иначе говоря, происходит связывание энергии волн. Это вызывает возникновение уединенной волны.

В качестве модели распространения селя можно использовать модель однонаправленного распространения длинных гидродинамических волн в диспергирующей среде. Такая модель описывается уравнением Кортевега-де Вриза [10].

Если рассматривается одномерный случай, то для характеристики амплитуды волны в нем с точностью до численных коэффициентов подходит уравнение:

$$\frac{1}{v} \frac{\partial \psi}{\partial t} + \frac{\partial \psi(\xi, t)}{\partial \xi} + \beta \frac{\partial^3 \psi(\xi, t)}{\partial \xi^3} + \alpha \psi(\xi, t) \frac{\partial \psi(\xi, t)}{\partial \xi} = 0. \quad (1)$$

Для характеристики дисперсии волн используется третий член данного уравнения, с помощью четвертого члена описывается нелинейность поведения системы, а  $\alpha$ ,  $\beta$  – это числа, зависящие от глубины  $h$  русла реки в спокойном состоянии,  $v$  – скорость распространения селевой волн.

Для введенных параметров выполняются соотношения:

$$\beta \sim \frac{h^2}{6} - \frac{\sigma}{2\rho g}, \quad \alpha \sim \frac{1}{h},$$

где  $g$  – ускорение свободного падения;  $\rho$  – плотность воды/жидкой взвеси;  $\sigma$  – коэффициент поверхностного натяжения (обычно считают  $\sigma=0$ ), жидкость – невязкая, то есть потерь нет, считается  $-\infty < x < +\infty$ ,  $-\infty < t < +\infty$ ,  $0 \leq v < +\infty$ .

Если говорить о порядке малости членов в представленном приближенном уравнении, то дисперсионный и нелинейный члены имеют одинаковый порядок малости и меньше (с наименьшим в этом уравнении порядком малости) первых двух.

С учетом этой обозначенной малости дисперсионного и нелинейного члена первые два члена в выражении (1) доминируют и определяют в линейном случае базовое решение – бегущую волну (в направлении  $+x$ ) для любой формы импульса при фиксированной скорости  $v$ . Последнее условие позволяет записать приближенное соотношение, исходя из условия:

$$\frac{\partial \psi}{\partial t} + \frac{\partial \psi}{\partial E} v = 0, v = \sqrt{gh}.$$

В рассматриваемом приближении, по сути, речь идет о распространении возмущения в глубокой воде ( $h \gg u$ ). В этой идеологии под  $u(x, t)$  можно понимать локализованный выброс подземных вод в речное русло по механизму пьезопроцесса (при определенном распределении гидростатического давления внутри породы) наподобие гейзера. В бегущей системе координат ( $x = \xi - vt$ ) при нормализованном виде записи (1) в уравнение входит только три члена, и вид его будет:

$$\frac{\partial u(x, t)}{\partial t} + \gamma_1 u(x, t) \frac{\partial u(x, t)}{\partial x} + \gamma_2 \frac{\partial^3 u(x, t)}{\partial x^3} = 0,$$

где  $\gamma_1$  – численный параметр при нелинейном члене;  $\gamma_2$  – численный параметр при дисперсионном члене.

Приведем вид решения нормализованного уравнения при скорости распространения импульса  $v$ :

$$u(x, t) = \frac{v}{2} \operatorname{sech}^2 \left( \frac{\sqrt{v}}{2} (x - vt - x_0) \right), \quad (2)$$

где  $u(x, t)$  – функция, определяющая смещение единицы селевой массы по вертикали;  $v$  – скорость селевого импульса;  $\operatorname{sech}$  – это гиперболический секанс;  $x_0$  – величина, задающая положение импульса в момент времени  $t=0$ .

Формула (2) свидетельствует о пропорциональной связи между скоростью волнового пакета и амплитуды солитона ( $v \sim u$ ). Последнее обстоятельство имеет большое значение в случае, когда необходимо охарактеризовать поведение солитона. Профиль солитонной волны имеет вид колокола, для определения мощности селя служит величина максимальной амплитуды, причем эта величина является постоянной во время прохождения селя.

Конкретные расчеты проводились с помощью программы Mathematica. Результаты расчетов представлены на рис. 2, 3 в виде нормализованных зависимостей для безразмерных параметров распадающегося солитона, при этом задание конкретных числовых параметров, характеризующих реальную динамику развития селя, представляет из себя отдельную сложную задачу, поэтому в данной статье будет описана лишь общая тенденция.

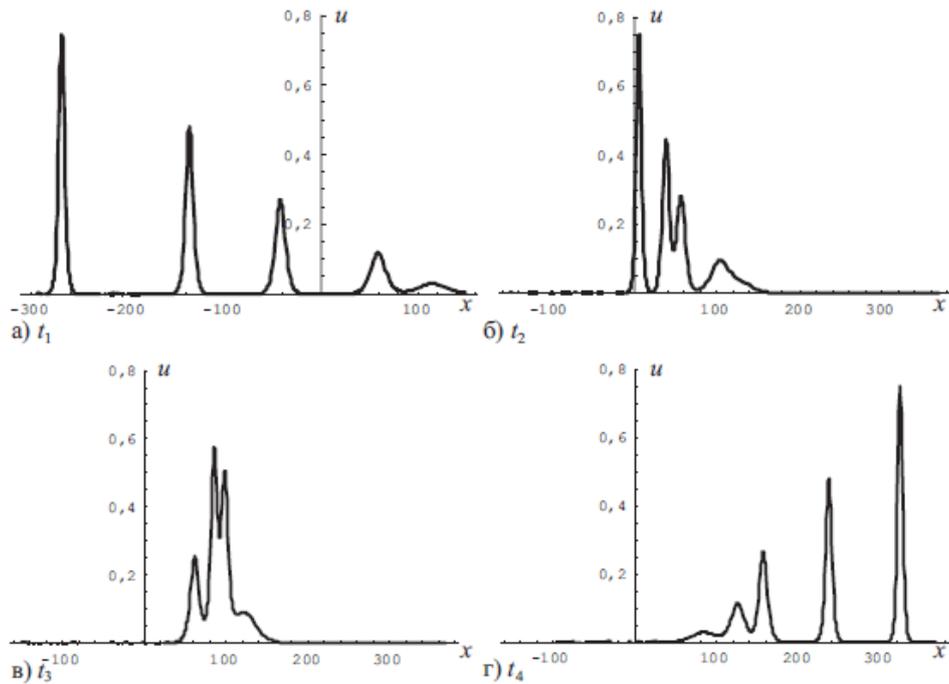


Рис. 2. Профиль распространяющейся солитонной в различные моменты времени

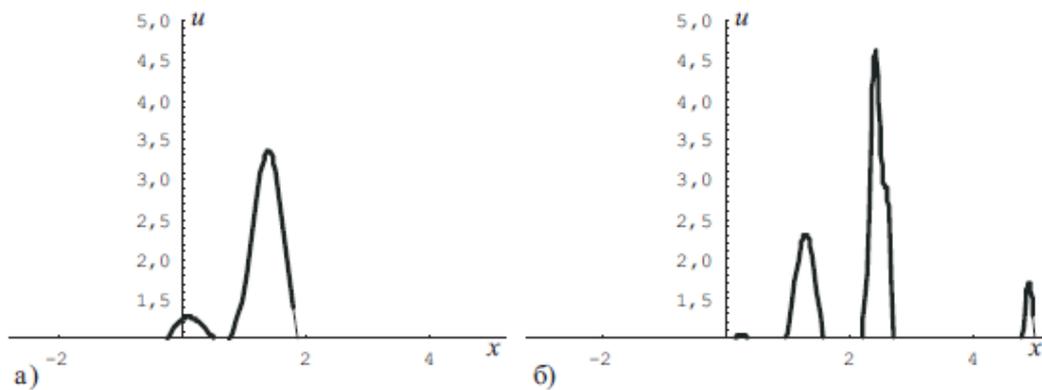


Рис. 3. Зависимость количества возникающих солитонов от значения нелинейного параметра, задающего величину первоначального солитонного импульса (начальный выброс селя):  
а) с возникновением 2 солитонов; б) с возникновением 3–4 солитонов

Но эти динамические эффекты рассматриваются в рамках других моделей с уравнениями, для которых стандартное уравнение Кортевега-де Вриза является одномерным приближением.

Окончательно складывается следующая картина развития селя.

Понятно, что выпадение ливней непосредственно ведет к увеличению мощности и ширины поверхностного стока, интенсивность потока лавинообразно возрастает, и такой поток может распространяться на большие расстояния.

Наблюдения за реально возникающими селявыми потоками свидетельствуют о том, что при возрастании стока из водоемов, уровень реки резко возрастает, причем часто на существенном расстоянии как от отдельных водоемов, так и от зон осадков. Опасным явлением служит то, что даже при выходе рек на равнину, их уровень при прохождении селя все равно продолжает расти достаточно резко. Именно такое опасное явление и возникло, например, в с. Барсуковской и г. Невинномысске в июне 2002 г. [11].

Такое поведение селевых потоков объясняется тем, что и далеко от места выпадения осадков происходит усиление солитонов за счет новых порций воды, поступающих из селевых ворон, поэтому профиль селевых потоков сохраняется, и, кроме того, происходит поступление воды из подземных источников. Данная модель может описывать многократное, а не только однократное воздействие селя, в соответствии с числом образовавшихся солитонов. Следовательно, видно, что такие характеристики селя, как его дальность и скорость распространения в значительной степени проистекают из его солитонной природы.

Итак, как уже было сказано, можно разделить селевой процесс на четыре этапа (рис. 4). На первом этапе происходит основной выброс селя, далее – распад на отдельные солитоны-сателлиты, на третьем этапе – самоорганизация сателлитов с их расположением по величине амплитуд, на четвертом этапе происходит опрокидывание или рассасывание солитонов.

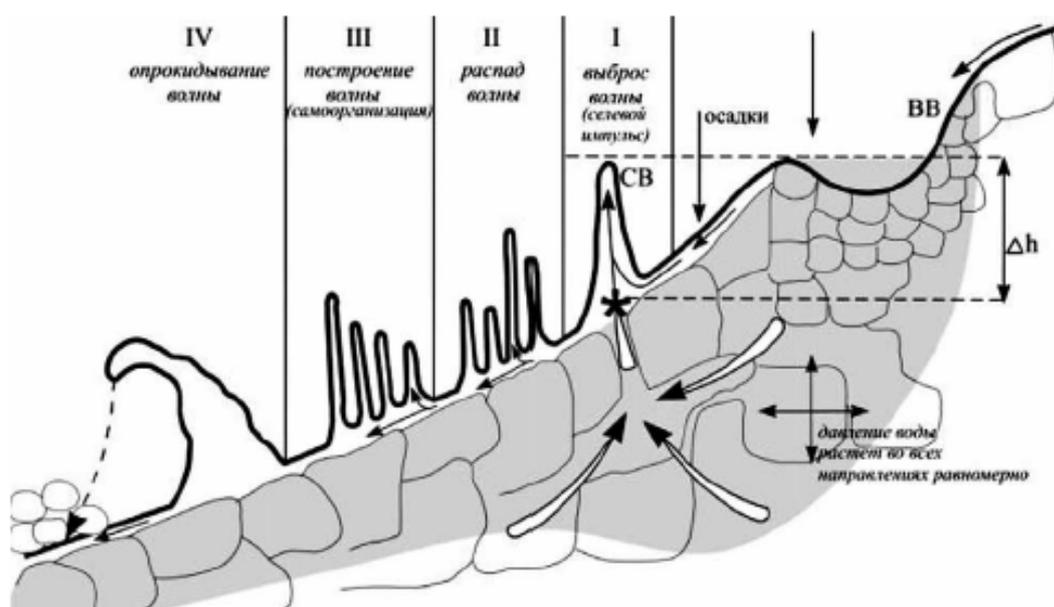


Рис. 4. Распространение селевой волны по этапам:  
 ВВ – водосборная воронка; СВ – селевая волна; \* – селевые ворота;  
 $\Delta h$  – гидростатический напор; вода обозначена серым цветом;  
 белыми стрелками обозначены подземные воды

Значительные сложности численного моделирования (математического и ситуационного) в рамках этого последнего подхода, когда даже граничные и начальные условия являются случайными функциями, связаны с большим объемом вычислений и требуют (в практическом аспекте учета быстро меняющихся природных условий) использования супер-ЭВМ с высокопроизводительными вычислениями.

Однако в случае моделирования, например, формирования талого стока при весенних паводках данный подход себя оправдал для гидрографов стока ряда рек: он дает хорошее совпадение наблюдаемых и рассчитанных базовых зависимостей, например, для объема и максимального расхода весеннего половодья.

В случае внезапного выброса подземных вод данный метод может быть также использован по аналогии с анализом возникновения редких явлений, особенно сильных весенних половодий, при этом осуществляя требуемое моделирование.

### Список источников

1. Красногорская Н.Н., Нафикова Э.В., Ферапонтов Ю.И. Оценка и прогнозирование экстремальных гидрологических ситуаций // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 1. С. 1–9.
2. Гарцман Г.И. Дождевые наводнения на реках юга Дальнего Востока: методы расчетов, прогнозов, оценок риска. Владивосток: Дальнаука, 2008. 222 с.
3. Варпаева О.А., Масилевич Н.А., Неверов А.В. Особенности оценки экологических рисков природного и техногенного характера // Труды БГТУ. Сер. 5: Экономика и управление. 2018. № 1 (208). С. 41–47.
4. Горбунов С.В., Макиев Ю.Д., Малышев В.П. Анализ технологий прогнозирования чрезвычайных ситуаций техногенного и природного характера // Стратегия гражданской защиты: проблемы и исследования. 2011. № 1. С. 43–53.
5. Прогноз чрезвычайной обстановки на территории Российской Федерации на 2016 год // МЧС России Всероссийский центр мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера центр «Антистихия». URL: <https://www.babr24.com/n2os/2016/1/20160103mcgsp.pdf> (дата обращения: 11.12.2021).
6. Быков А.А., Башкин В.Н. Об экстремальных природных явлениях и оценке природных и экологических рисков // Проблемы 132 анализа риска. 2018. Т. 15. № 3. С. 4–5.
7. Борщ С.В., Симонов Ю.А., Христофоров А.В. Система прогнозирования паводков и раннего оповещения о наводнениях на реках Черноморского побережья Кавказа и бассейна Кубани // Труды гидрометеорологического научно-исследовательского центра Российской Федерации. М., 2015. Спец. вып. 356.
8. Вандина Н.В. Методика прогноза возникновения паводковой ситуации на участке русла горно-равнинной реки, основанная на использовании уравнения водного баланса // Научный журнал КубГАУ. 2011. № 74 (10). С. 131.
9. Краткосрочное прогнозирование стока рек Черноморского побережья Кавказа / П.А. Белякова [и др.] // Труды Гидрометцентра России. 2013. № 349. С. 122–141.
10. Бенинг В.Е., Королев В.Ю., Шоргин С.Я. Математические основы теории риска: учеб. пособие. М.: Физматлит, 2011. 591 с.
11. Докус А.А., Шакирзанова Ж.Р. Прогнозирование и оценка гидрологических рисков в период весеннего половодья // Третьи Виноградовские чтения. Грани гидрологии: сб. статей Междунар. науч. конф. памяти выдающегося русского гидролога Юрия Борисовича Виноградова. СПб., 2018. С. 711–716.

### References

1. Krasnogorskaya N.N., Nafikova E.V., Ferapontov Yu.I. Ocenka i prognozirovanie ekstremal'nyh gidrologicheskikh situacij // Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya. 2012. № 1. S. 1–9.
2. Garcman G.I. Dozhdevye navodneniya na reках yuga Dal'nego Vostoka: metody raschetov, prognozov, ocenok riska. Vladivostok: Dal'nauka, 2008. 222 s.
3. Varapaeva O.A., Masilevich N.A., Neverov A.V. Osobennosti ocenki ekologicheskikh riskov prirodnogo i tekhnogenного haraktera // Trudy BGTU. Ser. 5: Ekonomika i upravlenie. 2018. № 1 (208). S. 41–47.
4. Gorbunov S.V., Makiev Yu.D., Malyshev V.P. Analiz tekhnologij prognozirovaniya chrezvychajnyh situacij tekhnogenного i prirodnogo haraktera // Strategiya grazhdanskoj zashchity: problemy i issledovaniya. 2011. № 1. S. 43–53.
5. Prognoz chrezvychajnoj obstanovki na territorii Rossijskoj Federacii na 2016 god // MCHS Rossii Vserossijskij centr monitoringa i prognozirovaniya chrezvychajnyh situacij prirodnogo i tekhnogenного haraktera centr «Antistihiya». URL: <https://www.babr24.com/n2os/2016/1/20160103mcgsp.pdf> (data obrashcheniya: 11.12.2021).
6. Bykov A.A., Bashkin V.N. Ob ekstremal'nyh prirodnyh yavleniyah i ocenke prirodnyh i ekologicheskikh riskov // Problemy 132 analiza riska. 2018. T. 15. № 3. S. 4–5.

7. Borshch S.V., Simonov Yu.A., Hristoforov A.V. Sistema prognozirovaniya pavodkov i rannego opoveshcheniya o navodneniyah na rekah Chernomorskogo poberezh'ya Kavkaza i bassejna Kubani // Trudy gidrometeorologicheskogo nauchno-issledovatel'skogo centra Rossijskoj Federacii. M., 2015. Spec. vyp. 356.

8. Vandina N.V. Metodika prognoza vozniknoveniya pavodkovej situacii na uchastke rusla gorno-ravninnoj reki, osnovannaya na ispol'zovanii uravneniya vodnogo balansa // Nauchnyj zhurnal KubGAU. 2011. № 74 (10). S. 131.

9. Kratkosrochnoe prognozirovanie stoka rek Chernomorskogo poberezh'ya Kavkaza / P.A. Belyakova [i dr.] // Trudy Gidrometcentra Rossii. 2013. № 349. S. 122–141.

10. Bening V.E., Korolev V.Yu., Shorgin S.YA. Matematicheskie osnovy teorii riska: ucheb. posobie. M.: Fizmatlit, 2011. 591 s.

11. Dokus A.A., Shakirzanova Zh.R. Prognozirovanie i ocenka gidrologicheskikh riskov v period vesennego polovod'ya // Tret'i Vinogradovskie chteniya. Grani gidrologii: sb. statej Mezhdunar. nauch. konf. pamyati vydayushchegosya russkogo gidrologa YUriya Borisovicha Vinogradova. SPb., 2018. S. 711–716.

**Информация о статье:**

Поступила в редакцию: 10.01.2022

Принята к публикации: 14.02.2022

**The information about article:**

Article was received by the editorial office: 10.01.2022

Accepted for publication: 14.02.2022

*Информация об авторах:*

**Ольга Анатольевна Пекарская**, доцент кафедры высшей математики и системного моделирования сложных процессов Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат экономических наук, e-mail: pekarskaya.olga@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0717-4284>

**Ирина Викторовна Рыбакова**, магистрант института безопасности жизнедеятельности Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: irochka\_monahova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6594-4182>

*Information about the authors:*

**Olga A. Pekarskaya**, associate professor of the department of higher mathematics and system modeling of complex processes of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, St. Petersburg, Moskovsky Ave., 149), candidate of economic sciences, e-mail: pekarskaya.olga@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0717-4284>

**Irina V. Rybakova**, graduate student of the institute of life safety of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, St. Petersburg, Moskovsky Ave., 149), e-mail: irochka\_monahova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6594-4182>

УДК 536.46

## **ВЛИЯНИЕ ВОДЯНОГО ПАРА НА ХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ДИФФУЗИОННОМ ПЛАМЕНИ**

✉ **Владимир Николаевич Виноградов.**

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

**Александр Александрович Луговой.**

**Санкт-Петербургский юридический институт (филиал) Университета прокуратуры  
Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия**

✉ [vla4934@yandex.ru](mailto:vla4934@yandex.ru)

*Аннотация.* Работа посвящена исследованию влияния воды на химические процессы в диффузионном пламени. Установлено, что водяной пар при недостаточном количестве для полного прекращения горения интенсивно вступает в химическое взаимодействие с углеродистыми соединениями – коксом и сажей.

При этом протекают два последующих процесса: высокотемпературный пиролиз углеводородов до кокса и сажи и последующая их газификация до CO и H<sub>2</sub>. В результате в очаг пожара поступает дополнительное количество взрывопожароопасных газов, и процесс горения усиливается. Этот фактор в настоящее время не учитывается при тушении пожаров, и вместо успешного тушения может происходить усиление процесса горения, что приводит к увеличению площади пожара.

Таким образом, для более детального изучения процесса взаимодействия воды (водяного пара) с сажей и коксом в пламени пожаров следует провести более глубокие натурные исследования с написанием специальных отчетов и введением дополнений в пособия и инструкции по тактике тушения.

*Ключевые слова:* горение, диффузионное пламя, водяной пар, тушение, водород, окись углерода, углерод, газификация, испарение

**Ссылка для цитирования:** Виноградов В.Н., Луговой А.А. Влияние водяного пара на химические процессы в диффузионном пламени // Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты). 2022. № 1 (41). С. 40–45.

## **THE EFFECT OF WATER VAPOR ON CHEMICAL PROCESSES IN A DIFFUSION FLAME**

✉ **Vladimir N. Vinogradov.**

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

**Saint-Petersburg, Russia**

**Alexander A. Lugovoy.**

**Saint-Petersburg law institute (branch) University of the prosecutor's office of the Russian  
Federation, Saint-Petersburg, Russia**

✉ [vla4934@yandex.ru](mailto:vla4934@yandex.ru)

*Abstract.* The work is devoted to the study of the influence of water on chemical processes in a diffusion flame. It has been established that water vapor, with insufficient quantity to completely stop fire, intensively enters into chemical interaction with carbonaceous compounds – coke and soot.

At the same time, two subsequent processes take place: high-temperature pyrolysis of hydrocarbons to coke and soot and their subsequent gasification to CO and H<sub>2</sub>. As a result, an additional amount of explosive and flammable gases enters the fire source, and the combustion process intensified fire. This factor is currently not taken into account when extinguishing fires, and instead of successful extinguishing, the fire process may intensify, which leads to an increase in the fire area.

Thus, for a more detailed study of the process of interaction of water (water vapor) with soot and coke in the flame of fires, more in-depth field studies should be conducted with the writing of special reports, and the introduction of additions to manuals and instructions on extinguishing tactics.

*Keywords:* fire, diffusive flame, water vapor, extinguishing, hydrogen, carbon monoxide, carbon, gasification, evaporation

**For citation:** Vinogradov V.N., Lugovoy A.A. The influence of water vapor on chemical processes in a diffusion flame // Prirodnye i tekhnogennye riski (fiziko-matematicheskie i prikladnye aspekty) = Natural and man-made risks (physico-mathematical and applied aspects). 2022. №. 1 (41). P. 40–45.

## Введение

Флегматизирующее действие воды и водяного пара известно сравнительно давно. Первые попытки использовать распыленную воду для тушения пламени горючих жидкостей, в частности нефти, относятся к 1901 г. В начале 1902 г. И.А. Вермишев на заседании Императорского технического общества докладывал о возможности применения «пульверизованной воды» для тушения пожаров в ямах [1].

Механизм гашения водой изучен довольно хорошо. Он описан в работах Г.Н. Худякова, В.И. Блинова, И.И. Петрова, В.Ч. Реутта и др. [2, 3].

Тонкораспыленная вода, введенная в зону горения, испаряется, температура факела снижается, и образовавшиеся водяные пары понижают концентрацию кислорода и газообразных продуктов в зоне окисления. Установлено, что оптимальный диаметр капель составляет 0,1–0,5 мм. Капли с указанной степенью дисперсности успевают полностью испариться в пламени и обеспечить высокий коэффициент использования воды и, соответственно, эффект гашения. Однако при небольшом количестве воды (водяного пара) в пламени химические процессы почти не изучены.

Как огнегасительное средство воду применяют при трех способах тушения – изоляции, разбавления и охлаждения. По способу изоляции вода тушит нерастворимые в ней жидкости с удельным весом более единицы, например сероуглерод. Для тушения нефтяных и газовых фонтанов и водорастворимых жидкостей в резервуарах воду применяют по способу разбавления и охлаждения, а для тушения твердых веществ, например древесины, – по способу охлаждения и изоляции.

Следует заметить, что в любом случае воздействие на пламя происходит по всем трем способам – только в большей или меньшей степени.

Тепло, которое должно быть отведено от пламени при его гашении, составляет примерно 45 % теплоты горения топлива.

Расход водяного пара или воды для охлаждения факела до температуры гашения можно рассчитать по формулам теплового баланса.

Опыты показывают, что лишь значительное содержание воды в топливе делает его негорючим. В связи с этим интересны работы В. Либлика и А. Аунапа. Они изучали влияние водяного пара на пределы воспламенения сланцевых газов. Сущность экспериментов заключалась в следующем. Подготовленную газозоодушную смесь пропускали через барботер, она насыщалась водяным паром и поступала во взрывной цилиндр. Авторы выяснили, что газозоодушные смеси не воспламеняются при содержании водяного пара не менее 39,5 % для бытового газа и не менее 23 % для генераторного. Критическое содержание негорючих компонентов в топливе, соответствующее сумме количеств водяного пара, азота и инертных газов, составляет для бытового газа 82 %, для генераторного – 84 % [4].

Блинов В.И., Е.С. Артеменко и Г.И. Шалин изучали влияние воды на горение нефти, рассматривали эмульсии «вода в нефти». Их опыты показали, что влага оказывает существенное влияние на горение нефти и нефтепродуктов. В опытах с эмульсиями авторы наблюдали сначала резкое повышение температуры горения, затем она оставалась постоянной и далее вновь повышалась. Светимость пламени эмульсий была много меньше по сравнению с чистой нефтью. В процессе работы были сняты спектры пламени

на кварцевом спектрографе Хильгера, отградуированного по спектру ртути. Выяснилось, что интенсивность полос ОН и СН в спектрах пламени нефтей и эмульсий почти не менялась, а интенсивность линий радикала  $C_2$  в спектрах эмульсий была значительно ниже, чем в пламени нефти.

Исследования авторов указывают на то, что вода в достаточном для охлаждения факела количестве тормозит процесс воспламенения и горения [5].

Но водяной пар способен и усилить процесс горения, если его недостаточно для охлаждения. Интенсификация процесса происходит за счет газификации твердых углеродистых частиц до СО и  $H_2$  по реакции  $C+H_2O \rightarrow H_2+CO$ . Это используют в практике для сжигания обводненных топлив и получения технологических газов из водно-топливных эмульсий и суспензий.

Однако следует отметить, что химия процесса влияния водяного пара на состояние процесса пламенного диффузионного горения изучена далеко недостаточно. Особенно это заметно в условиях катастрофических лесных пожаров, когда температура пожара достигает более 1 200 °С.

В большей степени не изучено влияние водяного пара (воды) на горение при недостаточном его количестве для тушения пожара. Именно этому вопросу посвящена данная работа.

### Методы исследования и результаты

Исследования проводились на специальной установке, которая позволяла провести экспериментальные исследования влияния различного количества водяного пара на температуру и химический состав в ламинарном диффузионном пламени.

В работе применялись специальные горелки, позволяющие подавать воду (водяной пар) в различные зоны пламени.

В ходе экспериментов проводился отбор проб газов из центральной части пламени (из зоны пиролиза) на различных высотах, с последующим анализом на хроматографах ХЛ-6 и ХТ-2МУ. Для измерения температуры использовали платина-платинородиевую термопару диаметром 0,005 см [6].

В качестве топлива использовали городской газ известного углеводородного состава.

Результаты, полученные путем эксперимента, приведены в таблице.

Таблица Температура и количество  $H_2$  и СО в пламени городского газа с разным количеством  $H_2O$

Высота отбора проб, мм	Расход $H_2O$ 0,33 г/мин			Расход $H_2O$ 2,1 г/мин		
	t °С	Об. % $H_2$	Об. % СО	t °С	Об. % $H_2$	Об. % СО
2	150	4,17	4,14	170	3,0	3,0
7	360	4,25	4,80	260	2,5	3,1
17	600	3,23	4,90	490	3,2	2,5
27	685	3,00	5,50	595	2,0	2,9
37	730	3,2	4,60	605	2,3	1,0

Таким образом, из полученных экспериментальных данных при малом количестве  $H_2O$  в пламени наблюдается значительное количество водорода и оксида углерода. Это может привести к усилению процесса горения, что особенно опасно в условиях пожара.

В работах А.Д. Кокурина с сотрудниками были изучены процессы конверсии углеводородов в условиях диффузионного пламени. Конверсии подвергали природный газ, жидкие углеводороды: бензол, толуол и Н-октан. В опытах с Н-октаном в интервале температур 600–950 °С выяснилось, что он преимущественно расщепляется по связям С–С с образованием предельных, значительного количества непредельных углеводородов

и водорода. При 950 °С выявлен следующий состав газа в пробах (в %):  $C_2H_4=54,9$ ;  $H_2=18,5$ ;  $C_3H_6=15,9$ ;  $C_2H_8=0,71$ ;  $C_4H_8=2,8$ ;  $C_2H_2=3,6$ ;  $CO=0,22$ ;  $CO_2=0,37$ . Образование  $CO$  и  $CO_2$  не происходило до 830 °С. Значительное количество  $CO$  и  $CO_2$  наблюдали лишь при 1 050 °С и выше. Эти исследования указывают на то, что при конверсии различных углеводородов водяным паром протекают два последовательных процесса – высокотемпературный пиролиз углеводородов до кокса и сажи и последующая их газификация до  $CO$  и  $H_2$  [6–8].

### Заключение

Взаимодействие водяного пара с углеродом, несмотря на важность этого процесса, недостаточно изучено. Последние исследования показали, что взаимодействие водяного пара с углеродом топлива, а также сажей и коксом в условиях диффузионного пламени происходит через хемосорбцию с образованием поверхностных комплексов. При взаимодействии водяного пара с углеродом под давлением и при температуре до 800 °С при разрушении водородно-углеродно-кислородных комплексов происходит десорбция с угле-родной поверхности в основном двуокиси углерода и водорода. При температуре выше 800 °С приобретает значительную скорость реакция  $C+CO_2 \rightarrow 2CO$ , что приводит к уменьшению количества  $CO_2$  в газовой фазе и обогащению газа десорбирующей с поверхности углерода окисью углерода. Таким образом, вода существенно влияет на термические процессы в пламени. Попадая в количестве, достаточном для охлаждения, она снижает температуру факела, что приводит к прекращению процессов глубокого пиролиза топлива, в результате начинают образовываться смолообразные продукты, с которыми водяной пар не реагирует. Он диффундирует в зону окисления и разбавляет горючие компоненты. Одновременно водород и  $CO$  перестают генерироваться реакциями пиролиза и газификации, их диффузия в зону горения прекращается, и наступает полное гашение факела.

При недостаточном количестве водяного пара для охлаждения пламени до прекращения процессов глубокого пиролиза топлива происходит его активное взаимодействие с углеродистыми соединениями в пламени (сажей и коксом), и в этом случае горение усиливается за счет увеличения количества горючих газов  $CO$  и  $H_2$ . При этом возрастает температура пламени и происходит ускорение скорости распространения пожара [7–10].

Этот важный фактор в настоящее время не учитывается при тушении пожаров, особенно это относится к лесным пожарам, которые часто принимают катастрофический характер.

Известно, что температура лесных пожаров может достигать значения более 1 000 °С, и небольшое количество воды, попадающее в очаг пожара в недостаточном количестве для охлаждения и изоляции пламени, может привести к обратному эффекту, то есть к усилению горения за счет газификации углерода – сажи и кокса.

Этот фактор абсолютно не учитывается при тушении, особенно при тушении с применением авиации. Во многих работах отмечается положительная сторона тушения при помощи специальной авиации, но и много говорится об ошибках.

Известно, что основными целям применения авиационных методов тушения являются:

1. Снижение интенсивности горения на кромке пожара, и создание для наземных сил условия для успешного тушения.

2. Приостановление распространение горения до подхода наземных сил пожаротушения.

Однако были абсурдные случаи, когда воздушные суда настойчиво производили сливы на горящие участки внутренней площади пожара, что с технологической точки зрения недопустимо. Да и в целом тушение с самолётов и вертолетов не всегда эффективно [11, 12].

Практикой тушения лесных пожаров с воздуха установлено, что огнетушащая эффективность сливаемой воды зависит от условий слива, прежде всего, от скорости полета и высоты слива.

На больших скоростях (250–270 км/ч и более) выливаемая жидкость разбивается до состояния аэрозолей, и большая ее часть испаряется, не достигнув поверхности. Это происходит и при сливах на высотах, превышающих 40–50 м от земли. При этом процесс испарения усиливается при низкой влажности.

Проводимые исследования показали, что при высоте слива 40 м на скорости 230 км/ч при 80 % влажности воздуха потери на испарение составляют до 10 %, а при влажности 60 % они возрастают до 50 %.

Проблема потерь существует и для вертолетов [11, 12].

Если проанализировать приведенные в статье исследования и сведения о тушении водой при помощи авиации, изложенные в работах [11, 12], то можно сделать вывод, что фактор химического взаимодействия  $H_2O$  с углеродом сажи и кокса в пламени пожаров с образованием взрывопожароопасных газов  $CO$  и  $H_2$  не учитывается ни в одном руководстве по тушению пожаров. Однако этот фактор имеет место, поскольку дополнительные взрывопожароопасные компоненты усиливают процесс горения на пожаре, они могут образовать взрывоопасную смесь, а  $CO$  является опасным угарным газом и часто присутствует в смоге, образовавшемся в ходе пожара. Именно эти факторы имеют место при некоторых сложных пожарах, особенно при катастрофических пожарах сибирской тайги.

Таким образом, для более детального изучения процесса взаимодействия воды (водяного пара) с сажой и коксом в пламени пожаров следует провести более глубокие натурные исследования с написанием специальных отчетов и введением дополнений в пособия и инструкции по тактике тушения.

### Список источников

1. Вермишев И.А. Огнегасительные свойства кипящей воды и получение ее на пожаре при пульверизации холодной воды: докл. в хим. отд. Имп. Рус. техн. о-ва 26 марта 1903 г. / под пред. проф. Д.П. Коновалова. СПб., типо-лит. Шредера, 1903.
2. Блинов В.И., Худяков Г.Н. Диффузионное горение жидкостей. М.: Изд-во АН СССР, 1961.
3. Петров И.И., Реутт В.Ч. Тушение пламени горючих жидкостей. М.: Изд-во Министерства коммунального хозяйства РСФСР, 1961.
4. Аунап А., Либлик В. Влияние водяного пара на пределы взрываемости сланцевых газов // Горючие сланцы. 1970. № 5.
5. Артеменко Е.С., Блинов В.И., Шалин Г.И. О влиянии воды на горение эмульсий воды в нефти: материалы II Всесоюз. науч.-техн. конф. по проблемам горения и тушения. М., 1973.
6. Виноградов В.Н. Исследование влияния некоторых ингибирующих добавок на термические процессы в ламинарном диффузионном пламени: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Л., 1975. 20 с.
7. Кокурин А.Д., Виноградов В.Н., Родыгига Л.Г. Ингибирование диффузионных пламен галогенуглеводородами и водяным паром // Вопросы лесной пирологии. Красноярск: Изд-во Ин-та леса и древесины СО АН СССР, 1974.
8. Кокурин А.Д., Виноградов В.Н. Исследование влияния водяного пара и некоторых галогенуглеводородов на диффузионное пламя // Журнал Прикладной химии АН СССР. 1973. № 2. Т. XLVI.
9. Кокурин А.Д., Виноградов В.Н. Строение ламинарного диффузионного пламени и химические процессы в его зонах // II Всесоюз. конф. по технологич. горению. Черноголовка: Изд-во ОИХФ АН СССР, 1978.
10. Виноградов В.Н., Кокурин А.Д. Регулирование химических процессов в диффузионном пламени // Общ. «Знание» РСФСР». Л., 1986.
11. Плюсы и минусы привлечения авиации при тушении лесных пожаров. URL: [ak.uktus.aero/interesnoe/primenenie-aviatsii-pri-tushenii-lesnyh-pozharov/](http://ak.uktus.aero/interesnoe/primenenie-aviatsii-pri-tushenii-lesnyh-pozharov/) (дата обращения: 05.12.2021).
12. Тушение лесных пожаров: эффективность репортажей и эффективность технологий // Авиапанорама. 2011. № 4.

### References

1. Vermishev I.A. Ognegasitel'nye svojstva kipyashchej vody i poluchenie ee na pozhare pri pul'verzicii holodnoj vody: Dokl. v Him. otd. Imp. Rus. tekhn. o-va 26 marta 1903 g. / pod pred. prof. D.P. Konovalova. SPb., tipo-lit. SHredera, 1903.

2. Blinov V.I., Hudyakov G.N. Diffuzionnoe gorenje zhidkostej. M.: Izd-vo AN SSSR, 1961.
3. Petrov I.I., Reutt V.Ch. Tushenie plameni goryuchih zhidkostej. M.: Izd-vo Ministerstva kommunal'nogo hozyajstvo RSFSR, 1961.
4. Aunap A., Liblik V. Vliyanie vodyanogo para na predely vzryvaemosti slancevyh gazov // Goryuchie slancy. 1970. № 5.
5. Artemenko E.S., Blinov V.I., Shalin G.I. O vliyanii vody na gorenje emul'sij vody v nefiti: materialy II Vsesoyuz. nauch.-tekhn. konf. po problemam gorenija i tusheniya. M., 1973.
6. Vinogradov V.N. Issledovanie vliyanija nekotoryh ingibiruyushchih dobavok na termicheskie processy v laminarnom diffuzionnom plameni: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk. L., 1975. 20 s.
7. Kokurin A.D., Vinogradov V.N., Rodygiga L.G. Ingibirovanie diffuzionnyh plamen galogenuglevodorodami i vodyanym parom // Voprosy lesnoj pirologii. Krasnoyarsk: Izd-vo In-ta lesa i drevesiny SO AN SSSR, 1974.
8. Kokurin A.D., Vinogradov V.N. Issledovanie vliyanija vodyanogo para i nekotoryh galogenuglevodorodov na diffuzionnoe plamya // ZHurnal Prikladnoj himii AN SSSR. 1973. № 2. T. HLVI.
9. Kokurin A.D., Vinogradov V.N. Stroenie laminarnogo diffuzionnogo plameni i himicheskie processy v ego zonah // II Vsesoyuz. konf. po tekhnologich. goreniju. Chernogolovka: Izd-vo OIHF AN SSSR, 1978.
10. Vinogradov V.N., Kokurin A.D. Regulirovanie himicheskikh processov v diffuzionnom plameni // Obshch. «Znanie» RSFSR». L., 1986.
11. Plyusy i minusy privlecheniya aviacii pri tushenii lesnyh pozharov. URL: [ak.uktus.aero/interesnoe/primenenie-aviatsii-pri-tushenii-lesnyh-pozharov/](http://ak.uktus.aero/interesnoe/primenenie-aviatsii-pri-tushenii-lesnyh-pozharov/) (data obrashcheniya: 05.12.2021).
12. Tushenie lesnyh pozharov: effektivnost' reportazhej i effektivnost' tekhnologij // Aviapanorama. 2011. № 4.

**Информация о статье:**

Поступила в редакцию: 10.01.2022

Принята к публикации: 14.02.2022

**The information about article:**

Article was received by the editorial office: 10.01.2022

Accepted for publication: 14.02.2022

*Информация об авторах:*

**Владимир Николаевич Виноградов**, инженер отдела планирования, организации и координации научных исследований ЦОНИИРД Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат технических наук, доцент, e-mail: [vla4934@yandex.ru](mailto:vla4934@yandex.ru), <https://orcid.org/0000-0001-9386-4673>

**Александр Александрович Луговой**, профессор кафедры общегуманитарных и социально-экономических дисциплин Санкт-Петербургского юридического института (филиала) Университета прокуратуры Российской Федерации (191104, Санкт-Петербург, Литейный пр., д. 44), доктор философских наук, профессор, заслуженный работник высшей школы Российской Федерации, e-mail: [filmsoc@mail.ru](mailto:filmsoc@mail.ru)

*Information about the authors:*

**Vladimir N. Vinogradov**, engineer of the department of planning, organization and coordination of scientific research of the central research institute of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, St. Petersburg, Moskovsky Ave., 149), candidate of technical sciences, associate professor, e-mail: [vla4934@yandex.ru](mailto:vla4934@yandex.ru), <https://orcid.org/0000-0001-9386-4673>

**Alexander A. Lugovoy**, professor of the department of general humanitarian and socio-economic disciplines of Saint-Petersburg law institute (branch) University of the prosecutor's office of the Russian Federation (191104, St. Petersburg, Liteyny pr., 44), doctor of philosophy, professor, honored worker of the higher school of the Russian Federation, e-mail: [filmsoc@mail.ru](mailto:filmsoc@mail.ru)

---

---

# ИНЖЕНЕРНОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ

---

---

УДК 614.846.6

## ПРИМЕНЕНИЕ АГРЕГАТНОГО МЕТОДА ПРИ ТЕХНИЧЕСКОМ ОБСЛУЖИВАНИИ И РЕМОНТЕ ПОЖАРНОЙ ТЕХНИКИ В ГАРНИЗОНЕ ПОЖАРНОЙ ОХРАНЫ

Владимир Дмитриевич Тимофеев;

Александр Владимирович Скрипка;

✉ Иван Викторович Старков.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России,

Санкт-Петербург, Россия

✉ [stari24.87@mail.ru](mailto:stari24.87@mail.ru)

*Аннотация.* Техническое обслуживание и ремонт пожарной и аварийно-спасательной техники является одной из важнейших задач Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий. Поддержание техники в работоспособном состоянии – это 90 % успеха при выполнении поставленных задач по тушению пожара и при проведении аварийно-спасательных работ. Принцип «Агрегатного ремонта» техники знаком уже давно и используется в настоящее время, но есть возможность использовать его при ремонте пожарной техники методом расставления приоритетов. Какая техника должна подвергаться обслуживанию в первую очередь, а какая – в последнюю? При использовании этого метода основная пожарная техника всегда будет находиться в работоспособном состоянии.

*Ключевые слова:* техническое обслуживание, ремонт, ремонтно-технический центр, агрегатный метод ремонта, индивидуальный метод ремонта

**Ссылка для цитирования:** Тимофеев В.Д., Скрипка А.В., Старков И.В. Применение агрегатного метода при техническом обслуживании и ремонте пожарной техники в гарнизоне пожарной охраны // Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты). 2022. № 1 (41). С. 46–55.

## IMPROVEMENT OF THE PRODUCTION PROGRAM FOR MAINTENANCE AND REPAIR OF FIRE EQUIPMENT IN THE GARRISON OF FIRE PROTECTION

Vladimir D. Timofeev; Alexander V. Skripka; ✉ Ivan V. Starkov.

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

Saint-Petersburg, Russia

✉ [stari24.87@mail.ru](mailto:stari24.87@mail.ru)

*Abstract.* Maintenance and repair of fire and rescue equipment is one of the most important tasks of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters. Maintaining the equipment in working order is 90 % of the success in the implementation of the tasks set for extinguishing the fire and in carrying out emergency rescue operations. The aggregate method of repairing equipment has been known for a long time and is used in our time, but it is possible to apply it to fire equipment by setting priorities. Which equipment should be serviced first and which last. With this method, the main fire equipment will always be in working order.

*Keywords:* maintenance, repair, repair and technical center, aggregate method of repair, individual method of repair

**For citation:** Timofeev V.D., Skripka A.V., Starkov I.V. Application of the aggregate method in the maintenance and repair of fire equipment in the garrison of fire protection // Prirodnye i tekhnogennye riski (fiziko-matematicheskie i prikladnye aspekty) = Natural and man-made risks (physico-mathematical and applied aspects). 2022. № 1 (41). P. 46–55.

### Введение

До 11 марта 2016 г. в Омской области существовал «Производственно-технический центр федеральной противопожарной службы по Омской области». Численность данной организации насчитывала более 300 человек. В состав центра входило три части: 25 – ремонтно-вспомогательная, 26 – транспортно-хозяйственная, 27 – часть связи, а также отдел хозяйственного обеспечения, рукавная база, база газодымозащитной службы (ГДЗС), швейная мастерская, столовая, два банно-прачечных комплекса, складские помещения. Организация занималась техническим обслуживанием всей техники гарнизона, находящейся на вооружении, а также хранением запасных частей и принадлежностей.

С 11 марта 2016 г. согласно приказу МЧС России от 30 декабря 2015 г. № 714 «О создании федеральных автономных учреждений путем изменения типа существующих федеральных государственных бюджетных учреждений, находящихся в ведении МЧС России» ФГБУ «ПТЦ ФПС по Омской области» стало ФАУ «Центр материально-технического обеспечения федеральной противопожарной службы по Омской области».

В таком формате организация просуществовала недолго и с 1 января 2020 г. в соответствии с приказом МЧС России от 29 октября 2019 г. № 623 «О введении в действие штатного расписания отдельных органов МЧС России» ФАУ «Центр материально-технического обеспечения федеральной противопожарной службы по Омской области» ликвидировано и преобразовано в Ремонтно-технический центр (РТЦ) Главного управления МЧС России по Омской области, в состав которого входят следующие подразделения: ремонтно-техническое отделение, контрольно-поверочный пункт и лаборатория измерительной техники [1].

Штатная численность после реорганизации составила 34 человека: руководитель ремонтно-технического подразделения; заместитель руководителя ремонтно-технического подразделения; 23 специалиста, выполняющих работы по техническому обслуживанию и ремонту; 7 человек административно-управленческого персонала; 2 вспомогательных работника (табл. 1).

Таблица 1. Штатная численность РТЦ

Наименование подразделения	Штатная численность в соответствии с утвержденным штатным расписанием, (ед.)				Списочная численность, (ед.)			
	Всего	в том числе			Всего	в том числе		
		Специалисты, выполняющие работы по техническому обслуживанию и ремонту	Административно-управленческий персонал	Вспомогательные работники		Специалисты, выполняющие работы по техническому обслуживанию и ремонту	Административно-управленческий персонал	Вспомогательные работники
РТЦ Главного управления МЧС России по Омской области	32	23	7	2	28	20	6	2

РТЦ выполняет следующие поставленные задачи по:

- текущему ремонту пожарной техники;
- среднему ремонту пожарной техники;
- техническому обслуживанию № 2 (ТО-2) пожарной техники;
- ремонту пожарно-технического вооружения (ПТВ) (баллоны дыхательных аппаратов со сжатым воздухом (ДАСВ);
- испытанию высотной техники;
- диагностированию (испытанию) иного ПТВ.

Кроме того, ремонтные структуры МЧС России выполняют отдельные виды работ, которые в данном субъекте больше никто не производит, например, это обслуживание и ремонт пожарных насосов, пожарных рукавов, средств защиты органов дыхания [2].

На личный состав РТЦ возложена задача по обслуживанию 468 единиц пожарной и 202 единицы вспомогательной техники.

Чтобы усовершенствовать технологический процесс по ремонту и обслуживанию данной техники при нехватке сотрудников, необходимо внедрить агрегатный ремонт с применением приоритетного метода.

### Объекты и методы исследований

По назначению и характеру выполняемых работ ремонт может быть: капитальный (КР), проводимый на предприятиях; средний (СР) и текущий (ТР), проводимые в отрядах технической службы или оперативных подразделениях [3].

В табл. 2 показано, какие виды работ были запланированы и выполнены в РТЦ в III квартале 2021 г.

Таблица 2. Запланированные и выполненные виды работ

№ п/п	Наименование работ	Запланировано	Выполнено
1	Текущий ремонт пожарной техники	1344,24 ч/ч (24 ед.)	2184,39 ч/ч (39 ед.)
2	Средний ремонт пожарной техники	390,4 ч/ч (0,5 ед.)	0 ч/ч (0 ед.)
3	ТО-2 пожарной техники	1035,89 ч/ч (6 ед.)	535,54 ч/ч (4 ед.)
4	Ремонт ПТВ (баллоны ДАСВ)	10 ч/ч (5 ед.)	10 ч/ч (5 ед.)
5	Испытание высотной техники	0 ч/ч (0 ед.)	0 ч/ч (0 ед.)
6	Диагностирование (испытание) иного ПТВ	0 ч/ч (0 ед.)	0ч/ч (0 ед.)
ИТОГО		2780,53 ч/ч (35,5 ед.)	2729,93 ч/ч (48 ед.)

Из табл. 2 видно, что личный состав РТЦ справляется с запланированным объемом работ не в полной мере. Процентное соотношение запланированных и выполненных работ выглядит следующим образом:

- текущий ремонт пожарной техники выполнен на 162 %;
- средний ремонт пожарной техники не выполнен;
- ТО-2 выполнено на 51 %;
- ремонт ПТВ (баллоны ДАСВ) выполнен на 100 %.

В связи с высоким износом пожарной техники понадобилось на 62 % больше времени на текущий ремонт. Поэтому задача по среднему ремонту не была выполнена. Также из табл. 2 видно, что ТО-2 выполнено всего на 51 %, а это недопустимо. Проведение профилактических ремонтных действий в соответствии с необходимыми потребностями техники даст возможность исключить необоснованные ремонтные операции и за счет этого снизить затраты на ремонт [4]. Проблема повышения долговечности пожарной техники напрямую связана с анализом причин ее отказов и выхода из строя [5]. Особенности эксплуатации пожарных автомобилей, возросшие требования к их боевой готовности и оперативной подвижности диктуют необходимость постоянного совершенствования системы их технического обслуживания и ремонта [6]. Нехватка высококвалифицированных кадров не позволяет развивать данную систему в полной мере в нужном направлении. Основная и специальная пожарная техника выработала свой основной ресурс, поэтому проблема ремонта и обслуживания пожарной техники стоит достаточно остро [7]. Для поддержания подразделений в постоянной готовности Правительство Российской Федерации реализует программы переоснащения подразделений техникой, поскольку износ парка аварийно-спасательной и пожарной техники в ряде регионов России достигает 70 % [8].

В рамках реализации программ переоснащения в период до 2027 г. реагирующие подразделения МЧС России получают свыше 2 500 единиц пожарно-спасательной техники, 2 000 единиц робототехнических комплексов, 38 000 единиц имущества для обеспечения ведения аварийно-спасательных работ, 120 единиц плавсредств и 37 единиц авиационной техники [9].

В табл. 3 указана техника Омского пожарно-спасательного гарнизона, которая выбрана акцидентально из отчета «Сведения о технике, находящейся вне боевого расчета на конец 2021 года», требующая ремонта узлов и агрегатов.

Таблица 3. Техника, находящаяся вне боевого расчета

№	Район	Часть	Техника	Тип	Состояние	Вне боевого расчета с:	Причина
1	2	3	4	5	6	7	8
1	КИРОВСКИЙ	4 ПСЧ	М143РО УРАЛ 43206	АЦ	В ремонте	03.11.2021	нет АКБ
2	КИРОВСКИЙ	31 ПСЧ	В824МН ЗИЛ- 130	АЦ	В ремонте	08.04.2021	после ДТП
3	КИРОВСКИЙ	24 ПСЧ	Н518ЕТ УРАЛ 5557	АЦ	В ремонте	24.07.2021	ДВС
4	КИРОВСКИЙ	24 ПСЧ	В505АА ЗИЛ- 130	АЦ	В ремонте	18.10.2021	ДВС
5	КИРОВСКИЙ	24 ПСЧ	М200ХВ КАМАЗ 6540	КП	В ремонте	07.07.2021	электрика
6	КИРОВСКИЙ	24 ПСЧ	0959СМ ЗИЛ- 131	ПНС	В ремонте	04.06.2021	ДВС

1	2	3	4	5	6	7	8
7	КИРОВСКИЙ	ОП 31 ПСЧ	E266CM ЗИЛ-131	АЦ	В ремонте	02.11.2021	компрес- сор
8	КИРОВСКИЙ	ДПК Омской области	АЦ-40 (131)	АЦ	В ремонте	26.05.2019	ДВС
9	ЦЕНТРАЛЬНЫЙ	2 ПСЧ	M038OC УРАЛ 43206	АЦ	В ремонте	19.10.2021	капиталь- ный ремонт
10	ЦЕНТРАЛЬНЫЙ	1 ПСЧ	A059BX МЕРСЕД ЕС	АЛ	В ремонте	01.10.2021	рессоры
11	ЦЕНТРАЛЬНЫЙ	28 ПСЧ	A353BX ЗИЛ-130	АЦ	В ремонте	28.10.2021	электро- проводка
12	СОВЕТСКИЙ	ОАО «Омск- кровля» КРЗ	B053TC ЗИЛ-130	АЦ	В ремонте	25.10.2021	коробка передач
13	СОВЕТСКИЙ	7 ПСЧ	M444XE УРАЛ 5557	АЛ	В ремонте	21.08.2021	подъем- ный механизм
14	СОВЕТСКИЙ	7 ПСЧ	M028OX УАЗ 39099	АОР	В ремонте	07.07.2021	ДВС
15	СОВЕТСКИЙ	7 ПСЧ	M665PA УАЗ 39099	АОР	В ремонте	02.11.2021	передний мост
16	СОВЕТСКИЙ	ОП 6 ПСЧ	B236МУ ЗИЛ-131 (137)	АЦ	На ТО-1	23.06.2021	консерва- ция
17	СОВЕТСКИЙ	ОАО «ОМСКИЙ КАУЧУК»	C545BE КАМАЗ	АП	В ремонте	21.05.2021	после ДТП
18	СОВЕТСКИЙ	ПЧ-15	M261XO КАМАЗ	АЦ	В ремонте	22.10.2021	течь АЦ
9	СОВЕТСКИЙ	6 ПСЧ	P613XO КАМАЗ 65115	АЛ	В ремонте	20.10.2021	электро- оборудо- вание
20	СОВЕТСКИЙ	6 ПСЧ	K696BT УРАЛ 43206	АЦ	В ремонте	17.08.2021	передний мост ОП 6
21	СОВЕТСКИЙ	6 ПСЧ	T518CH КАМАЗ 5387	АЦ	В ремонте	13.10.2021	раздаточ- ная коробка
22	СОВЕТСКИЙ	ПОЖ. ФЛОТ	Катер КС-110- 39РОМ 179	ПК	На ТО-1	27.10.2021	консерва- ция
23	ЛЕНИНСКИЙ	3 ПСЧ	A099BT ЗИЛ-131	АЦ	В ремонте	09.10.2021	ДВС
24	ЛЕНИНСКИЙ	8 ПСЧ	E035BT ЗИЛ-131	АЛ	В ремонте	25.08.2021	электро- оборудо- вание

1	2	3	4	5	6	7	8
25	ЛЕНИНСКИЙ	8 ПСЧ	К018МК ЗИЛ-4331	АЦ	В ремонте	13.10.2021	надстрой- ка
26	ЛЕНИНСКИЙ	30 ПСЧ	М002СК ЗИЛ-131	АЦ	В ремонте	28.10.2021	насос водяной
27	ЛЕНИНСКИЙ	30 ПСЧ	В783ВЕ УРАЛ 5557	АЦП	В ремонте	21.10.2021	тормозная система
28	ЛЕНИНСКИЙ	СПСЧ	Урал 5557 Т187НК	ПНС	В ремонте	01.10.2021	система охлажде- ния
29	ЛЕНИНСКИЙ	СПСЧ	АСМ ГАЗ 27057 Т472КМ	АОР	В ремонте	26.10.2021	СГУ
30	ЛЕНИНСКИЙ	СПСЧ	М732ВХ КАМАЗ 6540	КП	В ремонте	07.08.2021	деформа- ция стрелы
31	ОКтябрьский	10 ПСЧ	С732КР ВЕМА LIFT OY	КП	В ремонте	29.05.2021	гидравли- ка
32	ОКтябрьский	10 ПСЧ	О558СХ Урал- 43206	АЦ	В ремонте	29.10.2021	раздаточ- ная коробка
33	ОКтябрьский	ОП 5 ПСЧ	М757РО Урал- 43206	АЦ	В ремонте	04.05.2021	капиталь- ный ремонт
34	ОКтябрьский	ОП 5 ПСЧ	М797СМ ЗИЛ- 433442	АЦП	В ремонте	01.11.2021	течь карбюра- тора
35	ОКтябрьский	СУ ФПС № 51, СПСЧ-1	О728МС УРАЛ- 43206	АЦ	В ремонте	28.10.2021	топливная система
36	ОКтябрьский	9 ПСЧ	О005НТ ЗИЛ- 4331	АЦ	В ремонте	29.10.2021	топливная система
37	АЗОВСКИЙ	44 ПСЧ	АЦ-40 (130) Н184ХЕ	АЦ	В ремонте	06.11.2021	колесо
38	БОЛЬШЕРЕЧЕНСКИЙ	СП «ДПК ООО «Грин Бэг»	АЦ-30 (66)	АЦ	В ремонте	29.05.2019	течь АЦ
39	БОЛЬШЕРЕЧЕНСКИЙ	ДПК «с. Могиль- но-Посельс- кое»	АЦ-30 (53)	АЦ	В ремонте	08.09.2021	ДВС
40	БОЛЬШЕРЕЧЕНСКИЙ	ДПК «с. Старока- расук»	АЦ-40 (131)	АЦ	В ремонте	03.11.2021	ДВС
41	БОЛЬШЕРЕЧЕНСКИЙ	ДПК «с. Новоло- гиново»	АЦ-40 (131)	АЦ	В ремонте	03.11.2021	ДВС
42	БОЛЬШЕРЕЧЕНСКИЙ	ДПК «с. Курно- сово»	АЦ-30 (53)	АЦ	В ремонте	03.11.2021	ДВС

1	2	3	4	5	6	7	8
43	БОЛЬШЕУКОВСКИЙ	БУ УПС «Бело- гривка»	АЦ-40 (ЗИЛ-131) P293CM	АЦ	В ремонте	25.10.2021	ДВС
44	БОЛЬШЕУКОВСКИЙ	СП «ДПК с. Чебаклы»	АРС-14 (131)	ПТ	На ТО-1	06.11.2021	консер- вация
45	БОЛЬШЕУКОВСКИЙ	ДПК «с. Черне- цовка»	АЦ-40 (131)	АЦ	В ремонте	03.11.2021	колесо
46	ГОРЬКОВСКИЙ	49 ПСЧ	УАЗ M723PO	АОР	В ремонте	06.11.2021	система охлажде- ния
47	ГОРЬКОВСКИЙ	ДПК «с. Серебря- ное»	АЦ-40 (131) 127А	АЦ	В ремонте	28.08.2012	ДВС
48	ГОРЬКОВСКИЙ	ДПК «с. Рошино»	АЦ-30 (66)	АЦ	В ремонте	28.08.2021	течь АЦ
49	ЗНАМЕНСКИЙ	61 ПСЧ	УАЗ 469 K843PX	АОР	На ТО-1	25.05.2021	консер- вация
50	ЗНАМЕНСКИЙ	61 ПСЧ	АЦ-40 (131) E102EM	АЦ	В ремонте	18.10.2021	ДВС
51	ЗНАМЕНСКИЙ	61 ПСЧ	Прицеп МЗСА 817711	ПТ	На ТО-1	25.05.2021	консер- вация
52	ЗНАМЕНСКИЙ	ДПК «с. Бутаково»	АЦ-30 (66)	АЦ	В ремонте	28.05.2019	ДВС
53	ИСИЛЬКУЛЬСКИЙ	ДПК ФГУП «Боевое»	АЦ-30 (66)	АЦ	В ремонте	03.11.2021	колесо

АКБ – аккумуляторная батарея;  
 ДВС – двигатель внутреннего сгорания;  
 АЦ – автоцистерна;  
 ОП – опорная подушка;  
 СГУ – светосигнальные громкоговорящие установки.

Как видно из табл. 3, причина поломок разного рода и подход к их элиминации индивидуальный.

Ремонт пожарных автомобилей осуществляется разными методами:

1. Агрегатный. Неисправные механизмы заменяются на новые. Такой способ используется, когда устранить поломку невозможно или на это будет затрачено много сил и времени.

2. Индивидуальный. Применяется, если в наличии нет оборотного фонда. Сломанный механизм ремонтируют и снова устанавливают в транспортное средство.

Для быстрого приведения техники в работоспособное состояние и постановки в боевой расчет можно воспользоваться принципом «Агрегатного ремонта».

Например, как видно из табл. 3, часто выходящие из строя узлы и агрегаты – это двигатели внутреннего сгорания, коробки передач, пожарные насосы.

Рассмотрим на примере двигателя ЯМЗ-236НЕ23 (V6 Д) для автомобиля Урал 43206. Для его демонтажа и монтажа с коробкой передач в сборе требуется 10,15 н/ч, в то время как разобрать и собрать двигатель возможно за 41,92 н/ч. Тем самым за время ремонта одного двигателя, можно отремонтировать четыре пожарных автомобиля.

При отдельном ремонте коробки переключения передач на снятие и постановку ее на прежнее место необходимо 6,5 н/ч. Разобрать, продефектовать и собрать составляет 3,8 н/ч. Отсюда видно, что на ремонт коробки переключения передач потребуется 10,3 н/ч.

При ремонте двух автомобилей с такой причиной поломки потребуется 20,6 н/ч, тогда как по принципу блочного ремонта за это же время можно привести в работоспособное состояние три пожарных автомобиля.

Для успешного применения агрегатного метода ремонта необходимо шире использовать инструментальные методы технического диагностирования. Целесообразно при этом прогнозировать величину остаточного ресурса [10]. Главная задача отдела материально-технического обеспечения – это поддержание работоспособного состояния техники для тушения пожаров.

Вернемся к табл. 3. Из нее видно, что ремонта требует: ДВС – 14 автомобилей; раздаточная коробка – 2; течь АЦ – 3; электрооборудование – 4 и т.д. Техника, для восстановления которой потребуется минимальное время и количество ресурсов, будет первой в очереди на техническое обслуживание. Например, течь автоцистерны требует сварочных работ, которые возможно реализовать в первую очередь. Далее ремонт раздаточной коробки, электрооборудования и, как самый высокочеловеческий, ремонт двигателя внутреннего сгорания реализуется в последнюю очередь.

Теперь следует применить метод расставления приоритетов. Расставить приоритеты – это самое сложное [11]. Вернемся в очередной раз к табл. 3. Из нее видно, что техника в 24 пожарно-спасательной части по защите Кировского АО требует ремонта в первую очередь, независимо от того, какой характер поломки, так как в этом подразделении два основных автомобиля из трех имеющихся находятся в ремонте, тем самым оставляя район выезда без охраны и не имея резервной техники. Реализации данного ремонта в кратчайшие сроки поможет агрегатный метод.

В статье О.Е. Чепрунова на тему «Проблемы совершенствования производственно-технологической базы материально-технического обеспечения гарнизона Государственной противопожарной службы по обслуживанию и ремонту пожарной техники» [6] рассматриваются проблемы РТЦ Тверской области. Эти проблемы актуальны и для многих других гарнизонов пожарной охраны Российской Федерации. Применение аутсорсинга для техники иностранного происхождения приемлемо, но в связи с конструктивной особенностью не все виды обслуживания сторонняя организация выполнит в полном объеме и надлежащем качестве. Для выполнения качественных работ необходимо обучение сотрудников РТЦ новым технологиям и методам обслуживания, приобретение диагностического оборудования нового поколения. Тогда аутсорсинг не потребуется, и все работы будут проходить в ведомственной организации.

### **Результаты исследования**

В результате исследования был представлен метод агрегатного ремонта техники, находящейся в гарнизоне пожарной охраны по Омской области, с расставлением приоритетов. Применение этого метода позволяет сократить время нахождения техники в ремонте и сначала приводить в работоспособное состояние технику тех подразделений, которые нуждаются в ремонте в первую очередь. Время на выполнение операций по ремонту сокращается практически в два раза. Для выполнения такой работы необходима программа на электронном носителе, в которой будет осуществляться сортировка техники по очередности ремонта.

### **Заключение**

Таким образом, метод агрегатного ремонта с расставлением приоритетов, хоть и дорогой, но наиболее эффективный. Его выполнение напрямую зависит от службы материально-технического обеспечения, которая занимается закупкой запасных частей и принадлежностей. При появлении новых образцов техники в гарнизоне данный вид

ремонта будет также актуален. Ведь для ремонта индивидуальным способом не всегда можно добиться требуемого результата, так как новые образцы техники на сегодняшний день не изучены личным составом в полном объеме, а сторонняя организация не сможет выполнить все виды обслуживания, необходимые для данной техники. Нужны новые образцы диагностического оборудования, методические рекомендации, а также обучение личного состава и проведение практических занятий в присутствии представителя завода-изготовителя и при наличии полной материально-технической базы для обучения.

### Список источников

1. Историческая справка // Главное управление МЧС России по Омской области. URL: <https://55.mchs.gov.ru/glavnoe-upravlenie/sily-i-sredstva/fau-cmto-fps-po-omskoy-oblasti/istoricheskaya-spravka> (дата обращения: 15.12.2021).
2. Методические рекомендации по нормированию численности и формированию организационно-штатной структуры типовых подразделений федеральных органов исполнительной власти. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71754598> (дата обращения: 15.12.2021).
3. Артамонов В.С., Воднев С.А., Матвеев В.В. Анализ системы управления техническим обеспечением подразделений МЧС России // Проблемы управления рисками в техносфере. 2016. № 4 (40). С. 125–130.
4. Березнюк В.П. Совершенствование технического обслуживания пожарной техники при проведении процессов ТО и ремонта // Молодой ученый. 2020. № 49. С. 582–584.
5. Терехнев В.В., Ульянов Н.И., Грачев В.А. Пожарно-техническое вооружение. Устройство и применение. М.: Центр Пропаганды, 2007. С. 328.
6. Чепрунов О.Е. Проблемы совершенствования производственно-технологической базы материально-технического обеспечения гарнизона Государственной противопожарной службы по обслуживанию и ремонту пожарной техники // Наукосфера. 2021. № 1-1. С. 156–161.
7. Сычев С.А. Возможность использования передвижной мастерской для проведения технического обслуживания и ремонта пожарной техники // Надежность и долговечность машин и механизмов: сб. матер. VIII Всерос. науч.-практ. конф. Иваново, 2017. С. 240–243.
8. Киселев В.В. Развитие технических средств для проведения обслуживания и ремонта пожарной техники // Технические науки. 2016. № 57-3. С. 56–58.
9. Апарин А.А. Плюсы и минусы внедренных инновационных разработок пожарной техники и оборудования в подразделениях МЧС России // Молодой ученый. 2020. № 20. С. 85–87.
10. Воднев С.А., Максимов А.В., Матвеев А.В. Модель комплексной оценки процесса технического обеспечения аварийно-спасательных средств подразделений МЧС России // Проблемы управления рисками в техносфере. 2018. № 2 (46). С. 73–80.
11. Гидирим П. Расставить приоритеты – это самое сложное // Управление персоналом. 2013. № 9. С. 22–24.

### References

1. Istoricheskaya spravka // Glavnoe upravlenie MCHS Rossii po Omskoj oblasti. URL: <https://55.mchs.gov.ru/glavnoe-upravlenie/sily-i-sredstva/fau-cmto-fps-po-omskoy-oblasti/istoricheskaya-spravka> (data obrashcheniya: 15.12.2021).
2. Metodicheskie rekomendacii po normirovaniyu chislennosti i formirovaniyu organizacionno-shtatnoj struktury tipovyh podrazdelenij federal'nyh organov ispolnitel'noj vlasti. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71754598> (data obrashcheniya: 15.12.2021).
3. Artamonov V.S., Vodnev S.A., Matveev V.V. Analiz sistemy upravleniya tekhnicheskim obespecheniem podrazdelenij MCHS Rossii // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2016. № 4 (40). S. 125–130.

4. Bereznyuk V.P. Sovershenstvovanie tekhnicheskogo obsluzhivaniya pozharnoj tekhniki pri provedenii processov TO i remonta // Molodoj uchenyj. 2020. № 49. S. 582–584.
5. Terebnev V.V., Ul'yanov N.I., Grachev V.A. Pozharno-tekhnicheskoe vooruzhenie. Ustrojstvo i primenenie. M.: Centr Propagandy, 2007. S. 328.
6. Cheprunov O.E. Problemy sovershenstvovaniya proizvodstvenno-tekhnologicheskoy bazy material'no-tekhnicheskogo obespecheniya garnizona Gosudarstvennoj protivopozharnoj sluzhby po obsluzhivaniyu i remontu pozharnoj tekhniki // Naukosfera. 2021. № 1-1. S. 156–161.
7. Sychev S.A. Vozmozhnost' ispol'zovaniya peredvizhnoj masterskoj dlya provedeniya tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta pozharnoj tekhniki // Nadezhnost' i dolgovechnost' mashin i mekhanizmov: sb. mater. VIII Vseros. nauch.-prakt. konf. Ivanovo, 2017. S. 240–243.
8. Kiselev V.V. Razvitie tekhnicheskikh sredstv dlya provedeniya obsluzhivaniya i remonta pozharnoj tekhniki // Tekhnicheskie nauki. 2016. № 57-3. S. 56–58.
9. Aparin A.A. Plyusy i minusy vnedrennykh innovacionnykh razrabotok pozharnoj tekhniki i oborudovaniya v podrazdeleniyah MCHS Rossii // Molodoj uchenyj. 2020. № 20. S. 85–87.
10. Vodnev S.A., Maksimov A.V., Matveev A.V. Model' kompleksnoj ocenki processa tekhnicheskogo obespecheniya avarijno-spasatel'nykh sredstv podrazdelenij MCHS Rossii // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2018. № 2 (46). S. 73–80.
11. Gidirim P. Rasstavit' priority – eto samoe slozhnoe // Upravlenie personalom. 2013. № 9. S. 22–24.

**Информация о статье:**

Поступила в редакцию: 10.01.2022

Принята к публикации: 14.02.2022

**The information about article:**

Article was received by the editorial office: 10.01.2022

Accepted for publication: 14.02.2022

*Информация об авторах:*

**Владимир Дмитриевич Тимофеев**, старший преподаватель кафедры пожарной безопасности зданий и автоматизированных систем пожаротушения Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат технических наук, e-mail: timofeev-v-d@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7665-2959>

**Александр Владимирович Скрипка**, начальник кафедры горноспасательного дела и взрывобезопасности Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат технических наук, доцент, e-mail: skripka.a@igps.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8834-3133>

**Иван Викторович Старков**, слушатель магистратуры Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: stari24.87@mail.ru

*Information about the authors:*

**Vladimir D. Timofeev**, senior lecturer of the department of fire safety of buildings and automated fire extinguishing systems of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, St. Petersburg, Moskovsky Ave., 149), candidate of technical sciences, e-mail: timofeev-v-d@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7665-2959>

**Alexander V. Skripka**, head of the department of mining rescue and explosion safety of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, St. Petersburg, Moskovsky Ave., 149), candidate of technical sciences, associate professor, e-mail: skripka.a@igps.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8834-3133>

**Ivan V. Starkov**, graduate student of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, St. Petersburg, Moskovsky Ave., 149), e-mail: stari24.87@mail.ru

УДК 614.846.6

## **ПОЖАРНО-СПАСАТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА В ИСТОРИЧЕСКОЙ РЕТРОСПЕКТИВЕ. ПЕРВЫЕ СОЗДАТЕЛИ ПОЖАРНОГО НАСОСА (Ктезибий Александрийский, Герон Александрийский)**

✉ **Владимир Николаевич Виноградов.**

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

**Александр Александрович Луговой.**

**Санкт-Петербургский юридический институт (филиал) Университета прокуратуры  
Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия**

✉ [vla4934@yandex.ru](mailto:vla4934@yandex.ru)

*Аннотация.* Приведены краткие сведения об изобретениях и изобретателях древности Ктезибии Александрийском и Героне Александрийском. Описаны их изобретения, касающиеся пожарных насосов (пожарных труб). Приведены примеры отдельных, наиболее важных изобретений этих древнегреческих ученых.

Показана связь древних изобретений с современной пожарной техникой, с конструкцией современных пожарных насосов.

*Ключевые слова:* пожары, пожарная техника, пожарный насос, изобретатель, пожарная труба

**Ссылка для цитирования:** Виноградов В.Н., Луговой А.А. Пожарно-спасательная техника в исторической ретроспективе. Первые создатели пожарного насоса (Ктезибий Александрийский, Герон Александрийский) // Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты). 2022. № 1 (41). С. 56–62.

## **FIRE AND RESCUE EQUIPMENT IN HISTORICAL RETROSPECT. THE FIRST CREATORS OF THE FIRE PUMP (Ctesibius of Alexandria, Heron of Alexandria)**

✉ **Vladimir N. Vinogradov.**

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

**Alexander A. Lugovoy.**

**Saint-Petersburg law institute (branch) University of the prosecutor's office of the Russian  
Federation, Saint-Petersburg, Russia**

✉ [vla4934@yandex.ru](mailto:vla4934@yandex.ru)

*Abstract.* The paper provides brief information about the inventions and inventors of antiquity, Ctesibius of Alexandria and Heron of Alexandria. Their inventions concerning fire pumps (Fire pipes) are described. Examples of individual, most important inventions of these ancient Greek scientists are given.

The connection of ancient inventions with modern fire equipment, with the design of modern fire pumps is shown.

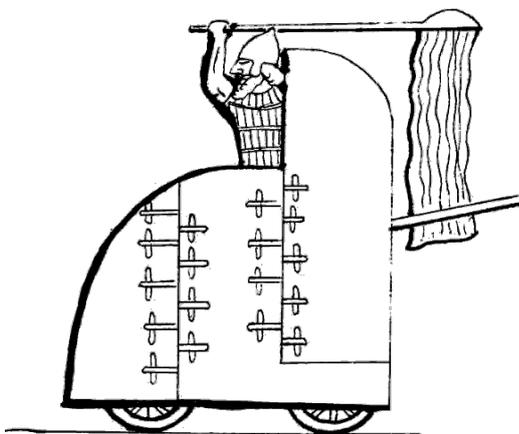
*Keywords:* fires, fire equipment, fire pump, inventor, fire pipe

**For citation:** Vinogradov V.N., Lugovoy A.A. Fire and rescue equipment in historical Retrospect. The first creators of the fire pump (Ktesibiy Alexandriyskiy, Geron Alexandriyskiy) // Prirodnye i tekhnogennye riski (fiziko-matematicheskie i prikladnye aspekty) = Natural and man-made risks (physico-mathematical and applied aspects). 2022. №. 1 (41). P. 56–62.

В древних государствах во II–I вв. до н.э., как и в настоящее время, пожары были для людей настоящим бедствием. В 1400 г. до н.э. был полностью уничтожен огнем город Кносс, расположенный на острове Крит. В 146 г. до н.э. римлянами был сожжен город-государство

в Северной Африке Карфаген, при этом пожаре в огне погибло более 50 000 человек. В III в. до н.э. – IV в. н.э. погибла в огне одна из крупнейших библиотек древности – Александрийская библиотека, существовавшая в городе Александрии. В результате военных действий в библиотеке случился пожар, и большая часть фонда сгорела. Десятки тысяч рукописей, написанных на греческом, египетском и еврейском языках, погибли [1].

В то время тушение таких сложных пожаров проходило довольно примитивными орудиями. Самый древний и достоверный документ по применению пожарной техники на пожаре представляет собой каменную плиту, которая хранится в Лондонском национальном музее. На этом камне-памятнике, изготовленном 2 800 лет назад, рассказывается о штурме города Нимруд (Вавилон). Со стен города, в деревянные боевые машины атакующих защитники выпускали тучи горящих стрел и забрасывали их факелами. Но, как гласит надпись на этом камне, нападающие тушили их водой из «ёмкостей с длинными ручками». Это является первым упоминанием о пожарной технике вообще [1, 2].



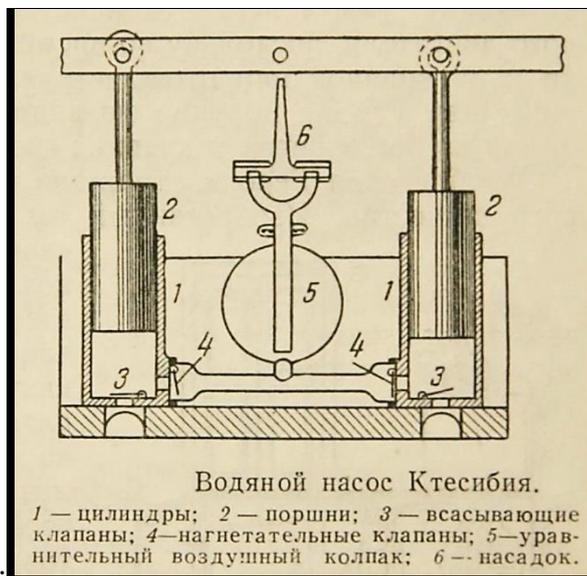
**Воин тушит огонь ковшом  
(древняя фреска)**

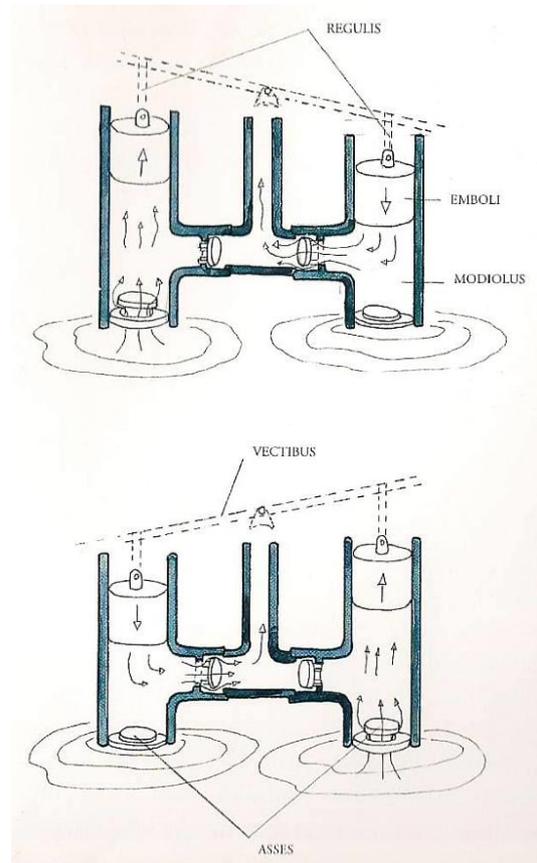
По мере совершенствования огнегасительной техники в III–I вв. до н.э. стали появляться пожарные насосы. Первыми изобретателями пожарного насоса стали ученые древности из города Александрии Ктезибий (Ктесибий) (Ktēsibios) (около II–I вв. до н.э.) и его ученик – Герон Александрийский (вторая половина I в. н.э.).

Первым, кто сконструировал пожарный насос, был изобретатель и ученый Ктезибий Александрийский.

Примерно были определены годы его жизни – между 285 и 222 гг. до н.э. Его ученые трактаты сгорели во время катастрофического пожара в Александрийской библиотеке, и о его изобретениях можно узнать только из работ его учеников и последователей.

О его семье известно только то, что его отец был парикмахером, и Ктезибий унаследовал от отца эту специальность. В ранней молодости он проявил изобретательность в парикмахерском деле и изобрел зеркало, положение которого регулировалось, и в результате руки были свободными для работы.





### Римский насос конструкции Ктесибия, найден около Мадрида, Испания<sup>1</sup>

Наиболее важным для пожаротушения стал изобретенный Ктесибием двухцилиндровый пожарный насос, который называли «Пожарный насос из Александрии». Этот насос имел всасывающие и нагнетательные клапаны, рычаг балансир для ручного привода и другие детали пожарных насосов. О строении насоса известно из трудов Витрувия, Герона и других древнегреческих ученых, где описана суть этого изобретения. В основе конструкции такого водяного насоса лежит устройство «цилиндр – поршень» и применение впускных клапанов. Конструкция насоса была столь удачной, что и до настоящего времени она изменилась незначительно [1–4].

Древнегреческий ученый Витрувий описывал насос Ктесибия таким образом:

«Теперь необходимо объяснить машину Ктесибия, которая поднимает воду на высоту. Она сделана из меди, и в основании у нее два ведра друг около друга, оснащенные трубами в форме вилки, которые встречаются в резервуаре в середине. В резервуаре клапаны, хорошо подогнанные к диаметрам труб, которые, закрывая отверстия, предотвращают возвращение жидкости, поданной в емкость давлением воздуха. Ведра снабжены клапанами по отверстиям в их основаниях. Поршни круглые и гладкие, хорошо смазанные, прикреплены к ведрам и двигаются с помощью рычагов, установленных сверху» [5].

Кроме пожарного насоса Ктесибий является автором и других важных изобретений. Он изобрел гидравлический орган, водяные часы (клепсидры), для военных целей Ктесибием были придуманы камнеметатели и самострелы, действие которых было основано на силе сжатого воздуха и пружин из бронзы.

По мнению некоторых историков, Ктесибий заведовал Александрийским музеем («Музеем Музы») в эпоху Птолемея II. Туда входила и Александрийская библиотека. Этот музей играл в то время роль научного центра. Там собирались математики, философы,

<sup>1</sup> История изобретения и создания первых пожарных насосов. URL: <https://fireman.club/statyi-polzovateley/istoriya-sozdaniya-i-izobreniya-pervyih-pozharnyih-nasosov/> (дата обращения: 07.02.2022).

филологи и инженеры для научных диспутов и бесед, в стенах библиотеки работали виднейшие деятели науки и культуры того периода [3].

Не менее знаменит в изобретении пожарной техники ученик Ктезибия – Герон Александрийский.



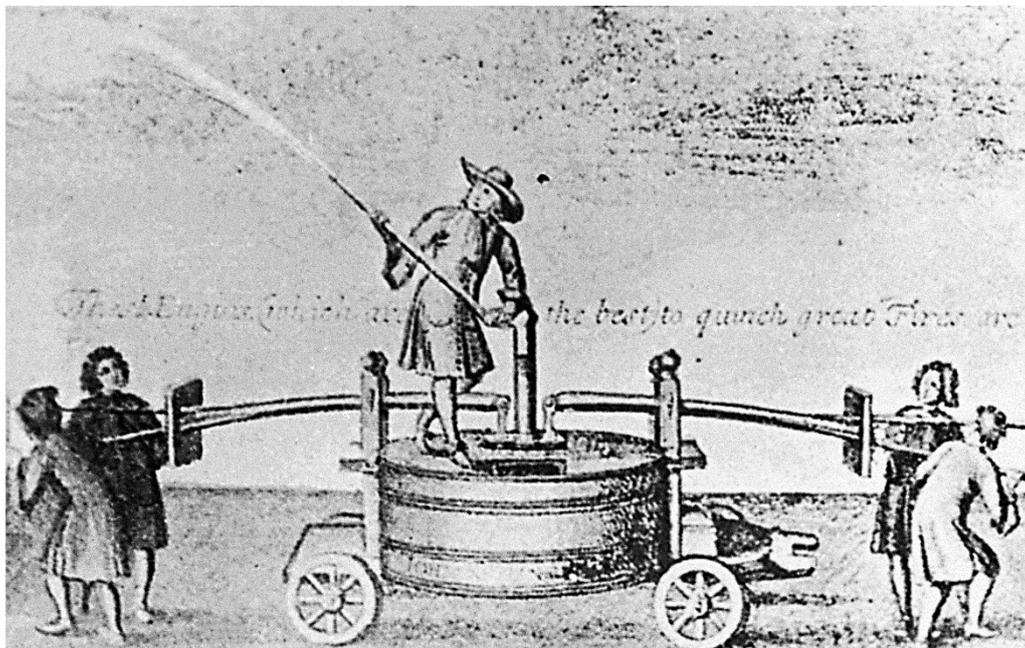
Сведений о жизни Герона Александрийского чрезвычайно мало. Известно, что он жил в Александрии во второй половине I в. н.э и являлся гениальным инженером-изобретателем. Некоторые его изобретения используются с небольшими изменениями и в настоящее время.

Важным для пожарной охраны является усовершенствование Героном пожарного насоса Ктезибия. Суть усовершенствования в том, что Герон изобрел поворотное устройство для трубы (шейки) насоса, что было очень важным для тушения пожаров, поскольку струю воды теперь стало можно направлять в разных направлениях. По мнению многих историков, Герон изобрел и пожарный ствол.

Труба с поворотным устройством в конструкции пожарного насоса дала название всему устройству, и пожарный насос стали называть «пожарная труба» (заливная труба).

Заливная труба состояла из короба для воды, ручного насоса и трубы (пожарного ствола) для подачи воды, которая крепилась в верхней части насоса. Вода для прокачки через насос заливалась в ящик (короб).

Насос при качании коромысла забирал воду непосредственно из короба и подавал ее в закрепленную на насосе трубу с поворотным устройством (отсюда и название устройства – «пожарная труба»), которая подавала струю воды в очаг пожара.

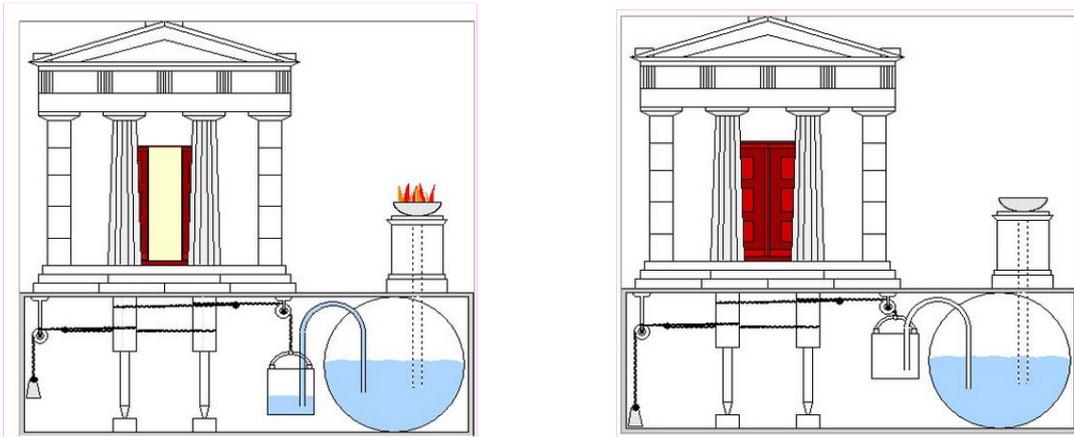


Заливная пожарная труба с поворотным устройством Герона

В дальнейшем пожарными трубами стали называть ручные и паровые пожарные насосы с заборными (всасывающими) и выкидными рукавами и с брандспойтами.

Герон Александрийский сделал ещё много изобретений, касающихся дальнейшего развития пожарной техники и противопожарной защиты.

Им были изобретены автоматически открывающиеся двери. Такие двери, работающие на иных принципах, существуют и в настоящее время для эвакуации людей при чрезвычайных ситуациях. В изобретении было использовано свойство воздуха расширяться при нагревании. При нагревании в герметичном устройстве теплый воздух выходил из него по специальной трубе и поступал в сосуд, наполненный водой. Горячий воздух начинал вытеснять воду из сосуда. Вода через изогнутую трубку наполняла ведро, привязанное к системе открывания дверей, ведро, наполненное водой, тянуло веревку, и двери открывались.



**Автоматические двери Герона**

Следует отметить и гениальное изобретение Герона, связанное с реактивным движением. Это был первый работающий паровой двигатель под названием «Ветряной шар». Конструкция устройства предельно проста. Котёл с водой помещали над источником тепла, например, над горящим древесным углём. При закипании воды в двух трубах, в центре которых вращался металлический шар, поднимался пар. Струи пара с силой выходили из двух отверстий в шаре в противоположные стороны, заставляя его вращаться с большой скоростью. Именно такой принцип лежит и в основе современного реактивного движения.



**Реактивный паровой двигатель Герона «Ветряной шар»**

Герон был не только гениальным изобретателем своего времени, но и известным ученым в области математики, инженерии и технологии. В его трудах, оставшихся после пожара в Александрийской библиотеке, содержатся работы по исследованию концепции автоматов, боевых машин, приводятся формулы для вычисления площади и объема, а также о природе света.

Самая известная его работа, сохранившаяся после пожара – это двухтомное сочинение под названием «Пневматика» – одно из первых в мире исследований пара и гидравлической энергии [2, 5–9].

В современных трудах некоторых историков пожарного дела изобретение пожарного насоса приписывают только Герону. Но более глубокие исследования показывают, что Герон лишь усовершенствовал насос, изобретенный Ктезибием. Это описано в работе «Ручные пожарные трубы, рукава и принадлежности» И.М. Щербакова [10].

Факты об исследованиях и науке древних ученых поражают тем, насколько современны были философы того времени в своем понимании мира, и как точно они определяли путь развития человечества. Это в полной мере касается и развития пожарной техники.

### Список источников

1. Зарождение мер противопожарной защиты. URL: [https://studopedia.ru/15\\_54878\\_zarozhdenie-mer-protivopozharnoy-zashchiti.html](https://studopedia.ru/15_54878_zarozhdenie-mer-protivopozharnoy-zashchiti.html) (дата обращения: 02.02.2022).
2. Щаблов Н.Н., Виноградов В.Н. Укрошение огня. СПб., 2002.
3. Забытые гении древности: Ктезибий Александрийский. URL: <https://calculator888.ru/blog/biografiya/kteziby.html> (дата обращения: 04.02.2022).
4. Щаблов Н.Н., Виноградов В.Н. Зарождение пожарной охраны // Психолого-педагогические проблемы безопасности человека и общества. 2012. № 3 (16). С. 69–78.
5. История изобретения и создания первых пожарных насосов. URL: <https://fireman.club/statyi-polzovateley/istoriya-sozdaniya-i-izobreneniya-pervyih-pozharnyih-nasosov/> (дата обращения: 07.02.2022).
6. Герон Александрийский – непризнанный гений своего времени. URL: <https://calculator888.ru/blog/biografiya/geron.html> (дата обращения: 07.02.2022).
7. Герон Александрийский. URL: <https://notevilbird.livejournal.com/6965.html> (дата обращения: 07.02.2022).
8. Инженер древности Герон Александрийский. URL: <https://oko-planet.su/politik/politiklist/393759-inzhener-drevnosti-geron-aleksandriyskiy.html> (дата обращения: 07.02.2022).
9. Одна из величайших забытых паровых машин в истории. URL: <https://shnyagi.net/453981-Odna-iz-velichajshikh-zabytykh-parovykh-mashin-v-istorii.html> (дата обращения: 08.02.2022).
10. Щербаков И.М. Ручные пожарные трубы, рукава и принадлежности. Новониколаевск: Изд-во Новониколаевского Добровольного Пожарного Общества, 1924.

### References

1. Zarozhdenie mer protivopozharnoj zashchity. URL: [https://studopedia.ru/15\\_54878\\_zarozhdenie-mer-protivopozharnoy-zashchiti.html](https://studopedia.ru/15_54878_zarozhdenie-mer-protivopozharnoy-zashchiti.html) (data obrashcheniya: 02.02.2022).
2. Shchablov N.N., Vinogradov V.N. Ukroshchenie ognya. SPb., 2002.
3. Zabytye genii drevnosti: Ktezibij Aleksandrijskij. URL: <https://calculator888.ru/blog/biografiya/kteziby.html> (data obrashcheniya: 04.02.2022).
4. Shchablov N.N., Vinogradov V.N. Zarozhdenie pozharnoj ohrany // Psihologo-pedagogicheskie problemy bezopasnosti cheloveka i obshchestva. 2012. № 3 (16). P. 69–78.
5. Istoriya izobreneniya i sozdaniya pervykh pozharnykh nasosov. URL: <https://fireman.club/statyi-polzovateley/istoriya-sozdaniya-i-izobreneniya-pervyih-pozharnykh-nasosov/> (data obrashcheniya: 07.02.2022).

6. Geron Aleksandrijskij – nepriznannyj genij svoego vremeni. URL: <https://calculator888.ru/blog/biografiya/geron.html> (data obrashcheniya: 07.02.2022).
7. Geron Aleksandrijskij. URL: <https://notevilbird.livejournal.com/6965.html> (data obrashcheniya: 07.02.2022).
8. Inzhener drevnosti Geron Aleksandrijskij. URL: <https://oko-planet.su/politik/politiklist/393759-inzhener-drevnosti-geron-aleksandriyskiy.html> (data obrashcheniya: 07.02.2022).
9. Odnа iz velichajshih zabytyh parovyh mashin v istorii. URL: <https://shnyagi.net/453981-Odnа-iz-velichajshikh-zabytykh-parovykh-mashin-v-istorii.html> (data obrashcheniya: 08.02.2022).
10. Scherbakov I.M. Ruchnye pozharnye trubы, rukava i prinadlezhnosti. Novonikolaevsk: Izd-vo Novonikolaevskogo Dobrovol'nogo Pozharnogo Obshchestva, 1924.

**Информация о статье:**

Поступила в редакцию: 10.01.2022

Принята к публикации: 14.02.2022

**The information about article:**

Article was received by the editorial office: 10.01.2022

Accepted for publication: 14.02.2022

*Информация об авторах:*

**Владимир Николаевич Виноградов**, инженер отдела планирования, организации и координации научных исследований ЦОНИиРД Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат технических наук, доцент, e-mail: [vla4934@yandex.ru](mailto:vla4934@yandex.ru), <https://orcid.org/0000-0001-9386-4673>

**Александр Александрович Луговой**, профессор кафедры общегуманитарных и социально-экономических дисциплин Санкт-Петербургского юридического института (филиала) Университета прокуратуры Российской Федерации (191104, Санкт-Петербург, Литейный пр., д. 44), доктор философских наук, профессор, заслуженный работник высшей школы Российской Федерации, e-mail: [filmsoc@mail.ru](mailto:filmsoc@mail.ru)

*Information about the authors:*

**Vladimir N. Vinogradov**, engineer of the department of planning, organization and coordination of scientific research of the central research institute of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, St. Petersburg, Moskovsky Ave., 149), candidate of technical sciences, associate professor, e-mail: [vla4934@yandex.ru](mailto:vla4934@yandex.ru), <https://orcid.org/0000-0001-9386-4673>

**Alexander A. Lugovoy**, professor of the department of general humanitarian and socio-economic disciplines of Saint-Petersburg law institute (branch) University of the prosecutor's office of the Russian Federation (191104, St. Petersburg, Liteyny pr., 44), doctor of philosophy, professor, honored worker of the higher school of the Russian Federation, e-mail: [filmsoc@mail.ru](mailto:filmsoc@mail.ru)

УДК 62-182.73

## ПРИМЕНЕНИЕ ПЕРЕДВИЖНОЙ АВТОРЕМОНТНОЙ МАСТЕРСКОЙ В ОТДАЛЕННЫХ РАЙОНАХ ОМСКОЙ ОБЛАСТИ

**Владимир Дмитриевич Тимофеев;**

**Александр Владимирович Скрипка;**

✉ **Иван Викторович Старков.**

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

**Санкт-Петербург, Россия**

✉ [stari24.87@mail.ru](mailto:stari24.87@mail.ru)

*Аннотация.* Проведение качественного технического обслуживания пожарной техники, находящейся в отдаленных районах от ремонтно-технического центра, зачастую является невыполнимой задачей. На постах технического обслуживания подразделений пожарной охраны не всегда находится нужный инструмент для выполнения поставленных задач. Решить эту актуальную проблему можно путем использования передвижных мастерских технического обслуживания и ремонта. Первые разработки были представлены уже в 2013 г. заводом ООО «Мытищинский приборостроительный завод». Одна из разработок под названием «мастерская техобслуживания и ремонта» будет рассмотрена в данной статье. Представленный образец имеет большой перечень оборудования для различных видов работ, но нет предела совершенству. Предлагаем дополнить комплектующие маслораздаточным оборудованием и каркасной палаткой для работы в ненастье. Вышеперечисленное оборудование облегчит труд специалистам при проведении технического обслуживания.

*Ключевые слова:* мастерская технического обслуживания, ремонт, маслораздаточное оборудование

**Ссылка для цитирования:** Тимофеев В.Д., Скрипка А.В., Старков И.В. Применение передвижной авторемонтной мастерской в отдаленных районах Омской области // Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты). 2022. № 1 (41). С. 63–69.

## APPLICATION OF A MOBILE AUTO REPAIR SHOP IN REMOTE AREAS OF THE OMSK REGION

**Vladimir D. Timofeev; Alexander V. Skripka; ✉ Ivan V. Starkov.**

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

**Saint-Petersburg, Russia**

✉ [stari24.87@mail.ru](mailto:stari24.87@mail.ru)

*Abstract.* Carrying out high-quality maintenance of fire equipment located in remote areas from the repair and technical center is often an impossible task. At the maintenance posts of fire protection units, there is not always the right tool to perform the tasks assigned. This urgent problem can be solved by using mobile maintenance and repair workshops. The first developments were presented already in 2013 by the plant of «Mytishchi Instrument-Making Plant». One of the developments called «maintenance and repair workshop» will be discussed in this article. This sample has a large list of equipment for various types of work, but there is no limit to perfection. We offer to supplement the components with oil dispensing equipment and a frame tent for working in bad weather. The above equipment will facilitate the work of specialists during maintenance.

*Keywords:* workshop of maintenance, repair, oil dispensing equipment

**For citation:** Timofeev V.D., Skripka A.V., Starkov I.V. Application of a mobile auto repair shop in remote areas of the Omsk region // Prirodnye i tekhnogennye riski (fiziko-matematicheskie i prikladnye aspekty) = Natural and man-made risks (physico-mathematical and applied aspects). 2022. №. 1 (41). P. 63–69.

## Введение

В Омской области создан один территориальный и 33 местных пожарно-спасательных гарнизона, в состав которых входит 1 627 подразделений пожарной охраны численностью 15 672 единицы личного состава, из них: 73 подразделения МЧС России (57 пожарно-спасательных подразделений федеральной противопожарной службы (ФПС), на вооружении которых находится 276 единиц пожарной и 188 единиц вспомогательной техники) численностью 3 607 единиц личного состава (1 809 сотрудников и 1 798 работников); 130 подразделений противопожарной службы Омской области (120 постов по охране сельских населённых пунктов) численностью 700 единиц личного состава, на вооружении которых находится 121 единица пожарной и 10 единиц вспомогательной техники; 37 подразделений ведомственной пожарной охраны (33 подразделения с выездной пожарной техникой) численностью 802 единицы личного состава, на вооружении которых находится 71 единица пожарной и 4 единицы вспомогательной техники; 199 добровольных пожарных команд и 1 188 добровольных пожарных дружин, входящих в состав 51 общественного объединения пожарной охраны, численностью 10 563 единицы личного состава, на вооружении которых находится 209 единиц пожарной техники [1].

Омская область по площади занимает 141 140 кв. км. Расстояние от ремонтно-технического центра до одного из отдаленных районов области, на примере Тарского, составляет 305 км. В Тарском районе имеется 1 городское, 21 сельское поселение и 77 населенных пунктов. Общая площадь земельных ресурсов – 1 566 тыс. га, из них 157,5 тыс. га – сельскохозяйственные угодья, 1 043 тыс. га (66,4 % от общей площади района) занимает лесной фонд. Основными отраслями экономики района являются: сельское хозяйство, лесная и деревообрабатывающая промышленность [2]. Так как город был основан еще в 1594 г., большая часть архитектуры города – это деревянные дома, которые чаще всего подвергаются горению. В результате этого видно, какая нагрузка ложится на подразделения пожарной охраны 12 пожарно-спасательного отряда ФПС Государственной противопожарной службы Главного управления МЧС России по Омской области в г. Тара (12 отряд).

## Объекты и методы исследований

В настоящее время на вооружении 12 отряда находится 34 единицы основной и специальной пожарной техники. Отдел техники ежегодно планирует и составляет графики номерных технических обслуживаний. Техническое обслуживание (ТО) – это комплекс профилактических мероприятий, которые проводятся с целью поддержания пожарных автомобилей в боевой готовности [3]. Номерные виды технического обслуживания (ТО-1, ТО-2 и т.д.) необходимы для обеспечения безотказной работы техники, снижения интенсивности изнашивания деталей, выявления и предупреждения отказов и неисправностей [4]. Пожарные автомобили как и автомобили любой другой области применения требуют своевременного технического обслуживания и ремонта. Они должны всегда быть готовы к применению по назначению, поскольку от этого зависит безопасность граждан и общества. Проведение ремонтных работ пожарной техники повышенной сложности и трудоемкости производится в производственно-технических центрах, оснащенных всем необходимым оборудованием, тем не менее, часть ремонтных работ может выполняться в пожарно-спасательных частях. Одним из основных видов оборудования, необходимого для проведения ТО и ремонта пожарных автомобилей, является разнообразное подъемное оборудование [5].

Проведение ТО-2 и сложных текущих ремонтов затрудняется большим расстоянием от ремонтно-технического центра. Для того чтобы автомобиль был доставлен на ремонт

(рассмотрим на примере двигателя ЯМЗ-236НЕ23 (V6 Д, для автомобиля Урал 43206), потребуется в среднем 80 л дизельного топлива в одну сторону. Цена за один литр на АЗС «Газпромнефть» составляет в среднем 54 руб. Таким образом, на путь следования к месту проведения ТО и обратно на один автомобиль затрачивается 8 640 руб. Для обслуживания всей техники 12 отряда потребуется в среднем 300 000 руб. Даже в тех случаях, когда ТО проводится постоянно, невозможно быть уверенным в отсутствии необходимости ремонта [6]. Поэтому, кроме запланированных номерных обслуживаний техники, возможны еще непредвиденные, связанные с выходом из строя узлов и агрегатов, и сумма затрат на горюче-смазочные материалы вырастет в несколько раз. Эксплуатация многоцелевых пожарных средств сопряжена с тяжелыми условиями работы. При больших перегрузках, температурах и оборотах детали машин подвержены быстрому износу и, как следствие, выходу из строя всего механизма. Поэтому для обеспечения требуемой надежности и долговечности необходимо своевременное и качественное ТО пожарной техники [7].

Для решения данной проблемы в отдаленных районах Омской области необходимо внедрить в ремонтно-технический центр передвижную мастерскую (рис. 1). С ее помощью вопрос с экономией на транспортировку техники будет решен в положительную сторону. Мастерская ТО и ремонта (МТОИР) [8] была разработана еще в 2011–2013 гг. для тылового обеспечения. Данная мастерская позволяет выполнять большой объем работ: проведение ТО и текущего ремонта (автомобилей, пожарных автоцистерн, автолестниц, коленчатых автоподъемников, пожарных насосов, мотопомп, бензопил, бензорезов); выполнение грузоподъемных работ при проведении ТО и текущий ремонт пожарной техники, пожарного и аварийно-спасательного оборудования; размещение и перевозка запасных частей и материалов, емкостей для топлива, масел и специальных жидкостей, а так же подъемно-транспортных, сварочных работ и т.д.



Рис. 1. Мастерская ТО и ремонта

Кузов разделен на два отсека – рабочий и бытовой. В бытовом отсеке располагается личный состав в количестве трех человек. Имеются спальные места, стол для приема пищи, шкафы для хранения личных вещей (рис. 2).



Рис. 2. Бытовой отсек

В рабочем отсеке размещается специальное оборудование, а также ключи, запасные инструменты и принадлежности (рис. 3). Для подъема груза массой не более 750 кг в рабочий отсек и его перемещения имеется кран-укосина. Между кабиной водителя и кузовом установлен кран-манипулятор, который позволяет осуществлять подъем грузов до 5 т.



Рис. 3. Рабочий отсек

Для выполнения диагностики некоторых узлов и агрегатов пожарных автомобилей, а также для выполнения ремонтных работ и работ по ТО автомобильной техники требуется специализированное оборудование, инструмент и приспособления [9]. Как видно на данном образце техники можно выполнять различные виды поставленных задач.

Выпускаемые промышленностью передвижные мастерские позволяют выполнять текущие ремонты машин, а также сопутствующие ремонту работы по ТО [10], а поскольку пожарная техника имеет свои особенности, то для ее ТО подобрать имеющуюся мастерскую не представляется возможным [11]. Данный образец передвижной мастерской можно дорабатывать для регионов и по типу выполняемых работ. Либо оставить его универсальным. Так как при проведении плановых ТО замена смазочных материалов является одним из важных процессов, необходимо вооружить данный автомобиль маслораздаточным оборудованием. Маслораздаточное оборудование – это устройства, которые используются для раздачи высококачественного масла. В составе агрегата резервуар с маслом, насос, который нагнетает масло, и раздаточный пистолет, позволяющий подавать масло потребителю.

Маслораздаточные установки, которые монтируются на производстве, могут быть стационарными, передвижными и переносными. По типу привода установки могут быть с приводом от электродвигателя или с приводом от механического двигателя [12]. С данным оборудованием производительность по замене масла будет увеличена, и вопрос о переливе или недоливе уровня будет исключен, так как на раздаточном пистолете установлен циферблат, который показывает расход масла в резервуарной емкости (рис. 4).



Рис. 4. Пистолет маслораздаточный со счетчиком

Также можно дополнить данную мастерскую каркасной палаткой. При непогоде она будет служить хорошей защитой от дождя и снега. Рабочее место будет всегда сухим, а световая мачта, которая будет работать от переносного генератора, позволит выполнять ремонт в ночное время суток.

### Результаты исследования

В результате исследования было определено, что специальные автомобили по ремонту пожарной техники необходимы в больших областях. Так как для проведения ТО и ремонта нецелесообразно отправлять технику за 300 км, если при имеющемся оборудовании на передвижной мастерской можно выполнить все необходимые работы в полном объеме. По мере выполнения поставленных задач данную технику можно дорабатывать и укомплектовывать новыми образцами специального оборудования. При укомплектовании подразделений новыми образцами техники данный автомобиль не утратит своей значимости.

### Заключение

Таким образом, МТОИР позволит сэкономить денежные средства при проведении ТО и ремонта пожарной техники в отдаленных районах области. Наличие надлежащего оборудования и опытных специалистов, работающих в данной мастерской, позволит качественно производить работы для поддержания техники в рабочем состоянии. Данный автомобиль сможет разворачивать усеченный ремонтно-технический центр в полевых условиях.

### Список источников

1. Группировка ФПС Омской области. URL: <https://55.mchs.gov.ru/glavnoe-upravlenie/sily-i-sredstva/gruppirovka-fps-omskoy-oblasti> (дата обращения: 10.11.2021).
2. Михалевская И.В. Стратегия социально-экономического развития Тарского муниципального района Омской области в начале XXI века // Вагановские чтения: материалы VIII Регион. науч.-практ. конф., посвящ. 85-летию со дня основания Тарского бюро краеведения. Тара: ООО «Амфора», 2016. С. 283–287.
3. Бурнашов А.С., Покровский А.А. Пожарная и аварийная безопасность: сб. материалов XIII Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. Году культуры безопасности. Иваново, 2018. С. 316–318.

4. Шевцов В.А., Зарубин В.П. Пожарная и аварийная безопасность: сб. материалов XIII Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. Году культуры безопасности. Иваново, 2018. С. 566–568.
5. Манин А.А., Киселев В.В. Пожарная и аварийная безопасность: сб. материалов XIII Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. Году культуры безопасности. Иваново, 2018. С. 411–413.
6. Дубов В.Ю., Назарова О.Н. К вопросу совершенствования пунктов технического обслуживания постов пожарной техники // Инновации. Наука. Образование. 2021. № 34. С. 317–324.
7. Ключевые проблемы и передовые разработки в современной науке / В.П. Зарубин [и др.]: сб. науч. тр. по матер. I Междунар. науч.-практ. конф. Смоленск: ООО «НОВАЛЕНСО», 2017. С. 129–131.
8. Мытищинский приборостроительный завод. Мастерская технического обслуживания и ремонта. URL: <https://www.mpz.ru/pdf/new/Аварийная%20техническая%20служба%20АТС%20%20Мастерская%20технического%20обслуживания%20и%20ремонта%20МТОИР.pdf> (дата обращения: 10.11.2021).
9. Модернизация передвижной мастерской для обслуживания пожарной техники / В.П. Зарубин [и др.] // Пожарная и аварийная безопасность. 2018. № 2 (9). С. 47–57.
10. Разработка передвижной мастерской для проведения технического обслуживания пожарных автомобилей / В.П. Зарубин [и др.] // Техносферная безопасность. 2017. № 4 (17). С. 3–7.
11. Сычев С.А., Зарубин В.П., Легкова И.А. Увеличение возможностей передвижной мастерской для технического обслуживания пожарной техники // Надежность и долговечность машин и механизмов: материалы VIII Всерос. науч.-практ. конф. Иваново: Ивановская пож.-спас. акад. ГПС МЧС России, 2017. С. 237–239.
12. Маслораздаточное и смазочное оборудование. URL: <https://uleypchel.com.ua/maslorazdatochnoe-i-smazochnoe-oborudovanie> (дата обращения: 10.11.2021).

## References

1. Gruppirovka FPS Omskoj oblasti. URL: <https://55.mchs.gov.ru/glavnoe-upravlenie/sily-i-sredstva/gruppirovka-fps-omskoy-oblasti> (data obrashcheniya: 10.11.2021).
2. Mihalevskaya I.V. Strategiya social'no-ekonomicheskogo razvitiya Tarskogo municipal'nogo rajona Omskoj oblasti v nachale HKHI veka // Vaganovskie chteniya: materialy VIII Region. nauch.-prakt. konf., posvyashch. 85-letiyu so dnya osnovaniya Tarskogo byuro kraevedeniya. Tara: ООО «Amfora», 2016. S. 283–287.
3. Burnashov A.S., Pokrovskij A.A. Pozharnaya i avariynaya bezopasnost': sb. materialov XIII Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., posvyashch. Godu kul'tury bezopasnosti. Ivanovo, 2018. S. 316–318.
4. Shevcov V.A., Zarubin V.P. Pozharnaya i avariynaya bezopasnost': sb. materialov XIII Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., posvyashch. Godu kul'tury bezopasnosti. Ivanovo, 2018. S. 566–568.
5. Manin A.A., Kiselev V.V. Pozharnaya i avariynaya bezopasnost': sb. materialov XIII Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., posvyashch. Godu kul'tury bezopasnosti. Ivanovo, 2018. S. 411–413.
6. Dubov V.YU., Nazarova O.N. K voprosu sovershenstvovaniya punktov tekhnicheskogo obsluzhivaniya postov pozharnoj tekhniki // Innovacii. Nauka. Obrazovanie. 2021. № 34. S. 317–324.
7. Klyuchevye problemy i peredovye razrabotki v sovremennoj nauke / V.P. Zarubin [i dr.]: sb. nauch. tr. po mater. I Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. Smolensk: ООО «NOVALENCO», 2017. S. 129–131.

8. Mytishchinskij priborostroitel'nyj zavod. Masterskaya tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta. URL: <https://www.mpz.ru/pdf/new/Avarijnaya%20tekhnicheskaya%20sluzhba%20ATS%20%20Masterskaya%20tekhnicheskogo%20obsluzhivaniya%20i%20remonta%20MTOIR.pdf> (data obrashcheniya: 10.11.2021).

9. Modernizaciya peredvizhnoj masterskoj dlya obsluzhivaniya pozharnoj tekhniki / V.P. Zarubin [i dr.] // Pozharnaya i avarijnaya bezopasnost'. 2018. № 2 (9). S. 47–57.

10. Razrabotka peredvizhnoj masterskoj dlya provedeniya tekhnicheskogo obsluzhivaniya pozharных avtomobilej / V.P. Zarubin [i dr.] // Tekhnosfernaya bezopasnost'. 2017. № 4 (17). S. 3–7.

11. Sychev S.A., Zarubin V.P., Legkova I.A. Uvelichenie vozmozhnostej peredvizhnoj masterskoj dlya tekhnicheskogo obsluzhivaniya pozharnoj tekhniki // Nadezhnost' i dolgovechnost' mashin i mekhanizmov: materialy VIII Vseros. nauch.-prakt. konf. Ivanovo: Ivanovskaya pozh.-spas. akad. GPS MCHS Rossii, 2017. S. 237–239.

12. Maslorazdatochnoe i smazochnoe oborudovanie. URL: <https://uleypchel.com.ua/maslorazdatochnoe-i-smazochnoe-oborudovanie> (data obrashcheniya: 10.11.2021).

#### **Информация о статье:**

Поступила в редакцию: 10.01.2022

Принята к публикации: 14.02.2022

#### **The information about article:**

Article was received by the editorial office: 10.01.2022

Accepted for publication: 14.02.2022

#### *Информация об авторах:*

**Владимир Дмитриевич Тимофеев**, старший преподаватель кафедры пожарной безопасности зданий и автоматизированных систем пожаротушения Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат технических наук, e-mail: [timofeev-v-d@yandex.ru](mailto:timofeev-v-d@yandex.ru), <https://orcid.org/0000-0002-7665-2959>

**Александр Владимирович Скрипка**, заведующий кафедрой горноспасательного дела и взрывобезопасности Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат технических наук, доцент, e-mail: [skripka.a@igps.ru](mailto:skripka.a@igps.ru), <https://orcid.org/0000-0002-8834-3133>

**Иван Викторович Старков**, слушатель магистратуры Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: [stari24.87@mail.ru](mailto:stari24.87@mail.ru)

#### *Information about the authors:*

**Vladimir D. Timofeev**, senior lecturer of the department of fire safety of buildings and automated fire extinguishing systems of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, St. Petersburg, Moskovsky Ave., 149), Candidate of Technical Sciences, e-mail: [timofeev-v-d@yandex.ru](mailto:timofeev-v-d@yandex.ru), <https://orcid.org/0000-0002-7665-2959>

**Alexander V. Skripka**, head of the department of mining rescue and explosion safety of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, St. Petersburg, Moskovsky Ave., 149), Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, e-mail: [skripka.a@igps.ru](mailto:skripka.a@igps.ru), <https://orcid.org/0000-0002-8834-3133>

**Ivan V. Starkov**, graduate student of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, St. Petersburg, Moskovsky Ave., 149), e-mail: [stari24.87@mail.ru](mailto:stari24.87@mail.ru)

УДК 004.41

## СОЗДАНИЕ УЧЕБНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ЭЛЕМЕНТАМИ МУЛЬТИМЕДИА

✉ Александр Юрьевич Лабинский.

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

✉ [labynsci@yandex.ru](mailto:labynsci@yandex.ru)

*Аннотация.* Рассмотрены возможности технологии Macromedia Flash. Основное внимание уделено особенностям мультимедиа технологии Macromedia Flash.

Учебные курсы, созданные с помощью технологии Macromedia Flash, могут использоваться, в том числе и в целях дистанционного обучения.

*Ключевые слова:* информационные технологии, мультимедиа технологии, технология Macromedia Flash, электронные учебные курсы

**Ссылка для цитирования:** Лабинский А.Ю. Создание учебных материалов с элементами мультимедиа // Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты). 2022. № 1 (41). С. 70–77.

## DEVELOPMENT OF EDUCATIONAL EQUIPMENT WITH MULTIMEDIA ELEMENTS

✉ Alexander Yu. Labinskiy.

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

Saint-Petersburg, Russia

✉ [labynsci@yandex.ru](mailto:labynsci@yandex.ru)

*Abstract.* This article presents the possibility use the Macromedia Flash technology in education process. The centre of attention use Macromedia Flash technology for creation the electronic education courses. Electronic education courses presents the possibility use methodical materials with the purpose distance education.

*Keywords:* information technology, multimedia technology, Macromedia Flash technology, electronic education courses

**For citation:** Labinskiy A.Yu. Development of educational equipment with multimedia elements // Prirodnye i tekhnogennye riski (fiziko-matematicheskie i prikladnye aspekty) = Natural and man-made risks (physico-mathematical and applied aspects). 2022. № 1 (41). P. 70–77.

### Введение

Информационные технологии играют существенную роль при решении задачи повышения эффективности учебного процесса [1]. Одним из перспективных направлений информатизации учебного процесса является использование технологии мультимедиа, которая использует информацию текстового, акустического, графического и анимационного характера, что позволяет соединять в одном продукте мультимедийную учебную информацию различных типов: звуковое сопровождение, текст (включая гипертекст), цветные изображения, анимацию и видео [2–5].

Примером мультимедиа технологии является технология Macromedia Flash, которая обладает рядом преимуществ [6–10]:

– использует векторную графику, которая позволяет создавать малый по объему файл с векторным изображением и производить без искажений масштабирование и трансформацию изображения;

– обеспечивает высокое качество изображения;

© Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2022

- позволяет использовать потоковое видео;
- использует встроенный язык Action Script, позволяющий создавать сценарии воспроизведения Flash-ролика.

Мультимедиа технологии позволяют повысить эффективность обучения, так как помогают осуществлять моделирование явлений и процессов, изучаемых на всех этапах обучения [2, 5]. Рассмотрим технологию Macromedia Flash более подробно.

### Технология Macromedia Flash

Применение технологии Flash, разработанной компанией Macromedia, позволяет быстро и эффективно создавать мультимедиа документы (ролики) и мультимедиа приложения, содержащие анимацию, аудио- и видеофрагменты, способные реагировать на действия пользователя и оптимизированные для размещения в сети Интернет. Использование технологии Flash позволяет решить задачу создания интерактивных обучающих программ и презентаций. Такие документы и приложения можно размещать в сети Интернет и просматривать при помощи браузера, использующего проигрыватель Flash Player, поддерживаемый операционными системами Macintosh и Windows.

В технологии Flash файлы документов – это файлы с расширением \*.FLA. Файлы роликов с расширением \*.SWF можно просматривать в браузере при помощи проигрывателя Flash Player. Документы можно создавать на основе шаблонов: шаблоны для мобильных устройств, галереи фотослайдов, презентации, презентации слайдов и видео. Для предварительного просмотра Flash-ролика (файлы \*.SWF) автором была создана программа FlashView, разработанная на основе элементов ActiveX Control (рис. 1).



Рис. 1. Программа FlashView

Для просмотра файлов интернет, включая графические файлы, файлы HTML-документов и файлы Flash-роликов, автором была создана программа InterView (рис. 2).

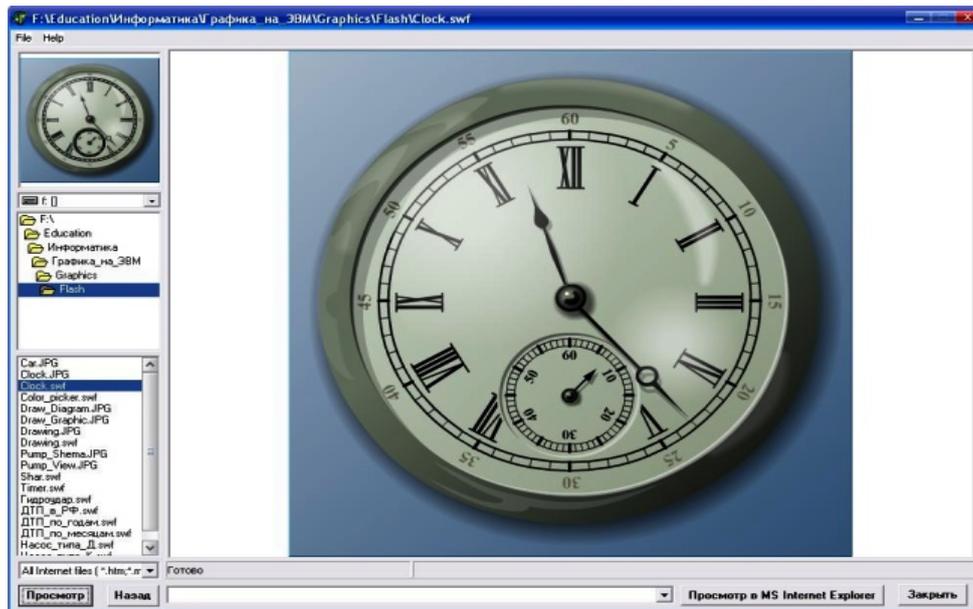


Рис. 2. Программа InterView

Программа InterView позволяет просматривать файловую систему, выбирать файл и осуществлять просмотр выбранного изображения в отдельном окне.

**Создание графических объектов.** Технология Flash включает в себя полный набор инструментов для создания и редактирования векторной графики. Файлы, содержащие векторную графику, в отличие от растровой графики, имеют небольшие размеры. Технология Flash включает в себя такие инструменты как: Pencil (Карандаш), Brush (Кисть), Rectangle (Прямоугольник), Oval (Овал), Polystar (Многоугольник), Selection (Выделение), Zoom (Масштабирование), Free Transform (Трансформация) и многие другие.

Пример построения объемного изображения представлен на рис. 3.



Рис. 3. Объемное изображение насоса с разрезом

**Работа с текстом.** С помощью инструмента Text (текст) можно создавать поля редактируемого текста, менять различные свойства текста (шрифт, размер, цвет, отступ и ориентацию). Редактируемые поля текста можно разбивать на фигуры и редактировать их при помощи любых инструментов выбора или в любых режимах работы инструмента Pen. С помощью элементов языка сценариев ActionScript можно создавать динамические поля текста, обновляемого из текстового файла, размещенного на сервере, или из какого-либо другого источника. Этот тип текста подходит для реализации оперативного обновления содержания ролика (файлы \*.SWF).

Для оформления любого текста (статического, редактируемого и динамического) можно использовать каскадные таблицы стилей CSS (Cascading Style Sheets), которые содержат наборы правил форматирования для текстов HTML и XML. Такой подход позволяет более активно управлять отображением текста на Web-странице.

**Импорт объектов графики.** В документ Flash можно импортировать изображения других форматов и использовать их в Flash-ролике. Можно использовать стандартную растровую графику форматов \*.PDF, \*.EPS и Adobe Illustrator. Кроме того, технология Flash позволяет преобразовывать растровую графику в векторную при помощи функции Trace Bitmap и использовать растровые изображения для заливки векторных объектов.

Технология Flash позволяет импортировать файлы следующих форматов:

- файлы Adobe Illustrator \*.eps, \*.pdf;
- файлы AutoCAD \*.dxf;
- файлы Bitmap \*.bmp и Windows Metafile \*.wmf и \*.emf;
- файлы GIF \*.gif, JPEG \*.jpg и PNG \*.png.

**Создание покадровой анимации.** Помимо автоматической анимации формы или движения технология Flash позволяет создавать покадровую анимацию. Для этого используются ключевые кадры временной шкалы, которые определяют изменения в изображении. При последовательном воспроизведении ключевых кадров создается иллюзия изменения или движения изображения. При воспроизведении Flash-ролика эти кадры будут проигрываться в заданной последовательности с определенной скоростью, задаваемой величиной установленной частоты кадров. Каждый создаваемый кадр может быть преобразован в ключевой. Применив автоматическую анимацию, можно преобразовать кадры диапазона анимации в ключевые кадры.

**Создание анимации движения и формы.** Для создания анимации движения (Motion Tween) нужно определить позицию и характеристики изображения в начальном и конечном кадрах анимации, а все промежуточные кадры создадутся автоматически. Такая анимация позволяет быстро анимировать объекты, симулировать исчезновение и постепенно изменять цвет, прозрачность, размеры и любые другие характеристики символа, текстового поля или группы объектов. Создав анимацию движения, можно её редактировать и усложнять, добавлять и убирать кадры анимации, корректировать эффекты, ускорять или замедлять движение. Анимация движения позволяет создавать эффекты плавного движения и трансформации символов. Технология Flash позволяет создавать анимацию изменения размеров и вращения объектов.

Анимация формы предназначена для анимации редактируемых фигур, которые можно создавать при помощи любых инструментов рисования. Изменив очертания фигуры (например, превратив круг в квадрат), можно использовать автоматическую анимацию формы, создавая иллюзию постепенного изменения фигуры с течением времени. При анимации формы можно редактировать объект в ключевых кадрах анимации, добавлять и удалять ключевые кадры. Кроме того, можно комбинировать анимацию движения с анимацией формы, создавая анимацию изменения формы движущейся фигуры.

Пример анимации движения (просмотр насоса с разных сторон) за счет вращения объекта (насоса) представлен на рис. 4.



Рис. 4. Просмотр объемного изображения насоса с разных сторон

Пример анимации движения (просмотр построения диаграммы и графика в динамике) представлен на рис. 5.

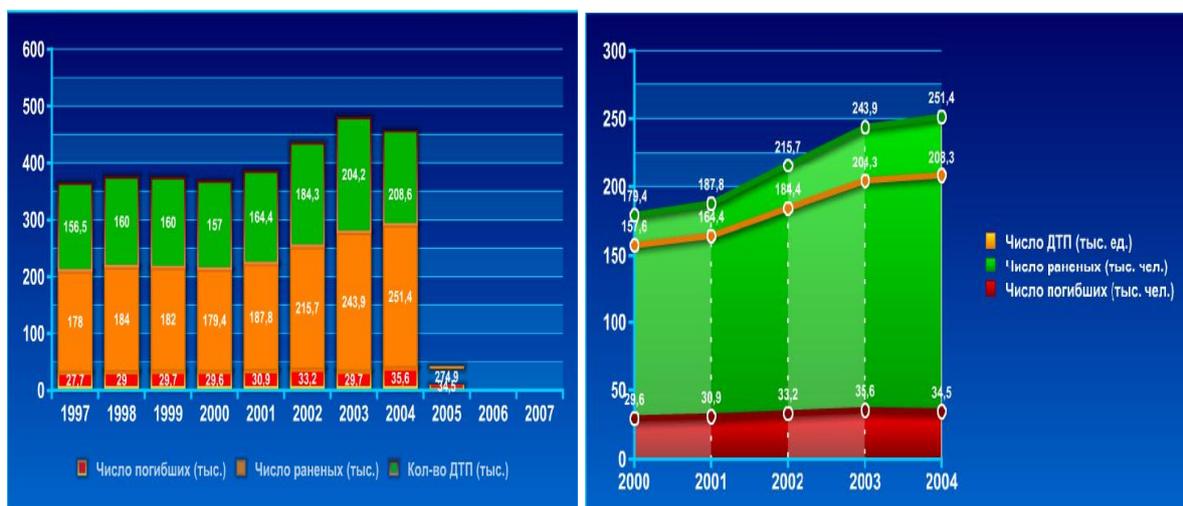


Рис. 5. Просмотр построения диаграммы и графика в динамике

**Использование звука и видеофайлов.** Технология Flash позволяет импортировать звуковые файлы различных форматов, включая MP3, WAV, AIF и AU. С помощью языка сценариев ActionScript можно управлять звуками. Звуковые файлы можно встраивать непосредственно в публикуемый ролик (файл \*.SWF) или загружать в общую библиотеку, что позволяет использовать одни и те же звуки в нескольких Flash-роликах.

Технология Flash позволяет импортировать видеоклипы с помощью мастера импорта видеоклипов, сжимать видеофайлы и обрезать их. С помощью языка сценариев ActionScript можно запускать и останавливать воспроизведение видеофайла и всего Flash-ролика. Технология Flash позволяет использовать потоковые технологии, загружать и управлять потоковыми мультимедийными файлами форматов FLV и MP3.

**Стандартные эффекты.** Технология Flash позволяет использовать стандартные эффекты, с помощью которых можно анимировать изменение фигуры (эффект взрыва), имитировать размытость, эффект изменения размеров или тень объекта, создавать каскад копий объекта, которые при этом изменяют размер, цвет, прозрачность и т.п. Эффект перехода позволяет анимировать изменение прозрачности объекта и постепенное стирание частей объекта.

**Язык сценариев ActionScript.** Язык сценариев ActionScript позволяет управлять элементами Flash и создавать Flash-ролики, взаимодействующие с пользователями при помощи интерактивных кнопок и изображений. Можно создавать модели поведения Flash-ролика, которые представляют собой предварительно разработанные фрагменты кода (сценарии) языка ActionScript.

Модель поведения Load Graphic (загрузить изображение) позволяет загружать изображения в формате \*.jpg в выполняющийся (интерфейсный) Flash-ролик. Это приложение небольших размеров, содержащее области для загрузки различных графических изображений.

Модель поведения Load External Movieclip (загрузить внешний ролик) позволяет загружать внешние файлы \*.swf в активный Flash-ролик.

Модели поведения Start Dragging Movieclip и Stop Dragging Movieclip позволяют пользователям перетаскивать объекты по экрану с помощью указателя мышь.

Модель поведения Go To Web Page (перейти к Web-странице) позволяет с помощью интерактивных кнопок осуществлять переход на другие Web-страницы.

В технологии Flash используются четыре типа данных:

- String (строка) – строковый тип, текст;
- Number (число) – числовой тип, числа;
- Boolean (логический тип) – имеет два значения: True (истина) или False (ложь);
- Object (объект) – устройство хранения любого типа данных.

В технологии Flash объекты описываются с помощью свойств и методов. Пример свойств объекта house (дом): house.color = “green”; house.windows = 12; house.doors = “2”;

На языке сценариев ActionScript методы воспроизведения, записи и остановки ролика могут быть записаны так: play(); record(); stop();

Переход на шестой кадр с остановкой: gotoAndStop(6);

Такой же переход на DVD-проигрывателе: myDVD.gotoAndStop(6);

Обработчики событий управляют действиями Flash при возникновении событий.

В технологии Flash существуют три типа событий: события манипулятора «мышь», события кадра и события клипа. Обработчики событий клипа предназначены для запуска сценариев. Это следующие события:

- onClipEvent(load) – загрузка клипа.
- onClipEvent(unload) – выгрузка клипа.
- onClipEvent(mouseMove) – перемещение указателя «мышь».
- onClipEvent(mouseDown) – нажатие на левую кнопку мыши.
- onClipEvent(mouseUp) – отпускание левой кнопки мыши.
- onClipEvent(keyDown) – нажатие на клавишу клавиатуры.
- onClipEvent(keyUp) – отпускание клавиши клавиатуры.

**Публикация ролика.** При публикации Flash-ролика можно использовать различные настройки публикации – от версии встроенного в браузер проигрывателя Flash Player до настроек сжатия встраиваемых в ролик изображений JPEG. Наиболее часто Flash-ролик отображается в сети Интернет с использованием документа HTML в качестве контейнера.

Публикуя Flash-документ, можно создавать не только ролики, но и файлы формата GIF, JPEG или PNG с изображением выбранного кадра Flash-ролика.

Форма для отображения слайдов позволяет создавать Flash-документы, представляющие собой последовательность экранов с различным содержанием (презентация слайдов).

Примеры использования языка сценариев ActionScript для обработки поведения объектов представлены на рис. 6, 7.

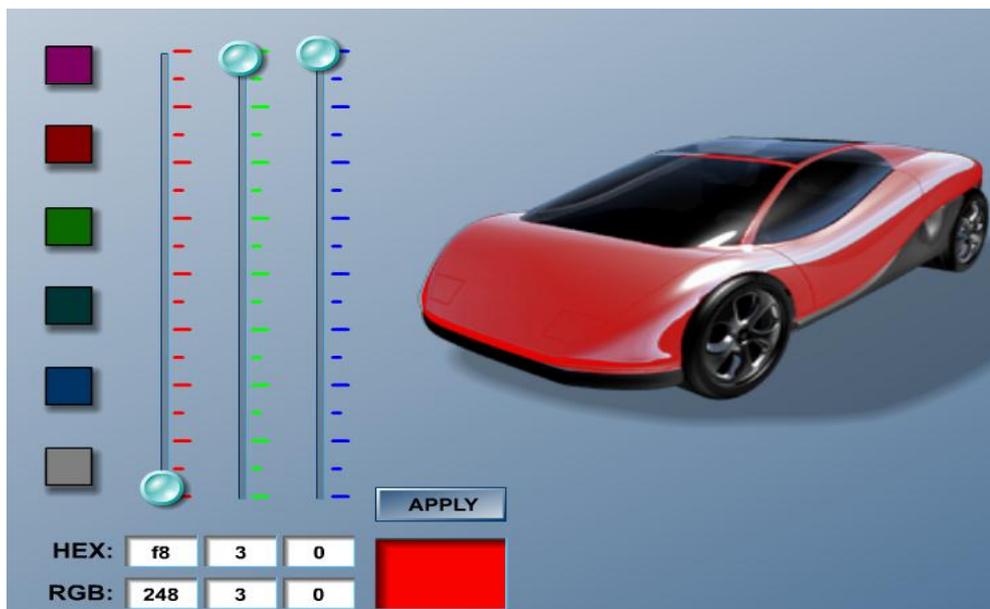


Рис. 6. Интерактивное закрашивание объекта выбранным цветом

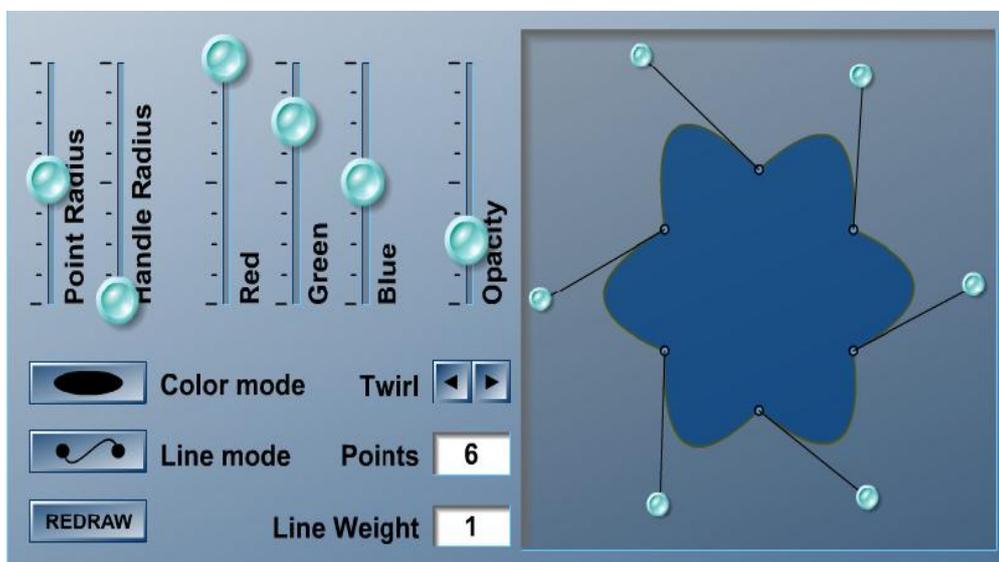


Рис. 7. Интерактивное управление свойствами объекта (цвет, прозрачность, толщина линий и конфигурация)

Контур объекта представляет собой кривые Безье, которые представляют собой контурный объект, состоящий из контрольных точек (узлов) на концах отрезков, касательных к участкам кривой, которые примыкают к выбранному узлу.

### Выводы

Разработанные автором программы для ЭВМ позволяют просматривать выбранные пользователем файлы Flash-роликов (файлы \*.SWF). Учебные материалы в виде программ для ЭВМ, созданные с использованием технологии Macromedia Flash, повышают эффективность учебного процесса за счет использования информации текстового, акустического, графического и анимационного характера в одной программе.

Научная новизна исследования, отражающая личный вклад автора, заключается в создании автором двух программ для ЭВМ, позволяющих осуществлять просмотр Flash-роликов.

### Список источников

1. Лабинский А.Ю. Возможности использования информационных технологий в учебном процессе // Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты). 2020. № 4. С. 37–44.
2. Flash-технологии. М.: РИВШ, 2013.
3. Ульрих К. Macromedia Flash для Windows. М.: ДМК Пресс, 2017.
4. Киселев С.В. Flash–технологии. М.: Academia, 2014.
5. Adobe Flash. Официальный курс. М.: Эксмо, 2015.
6. Bleyk B. Flash for Construction. Hermes, 2018.
7. Salin D. Flash Beginner Teachers Book. Coriolis, 2019.
8. Hogg C. Adobe Flash. Sams Publishing, 2017.
9. Paknell S. Macromedia Flash. London, 2016.
10. Борковский А.Б., Боровикова Л.И. Словарь по программированию. М.: «Русский язык», 2014.

### References

1. Labinskij A.Yu. Vozmozhnosti ispol'zovaniya informacionnyh tekhnologij v uchebном processe // Prirodnye i tekhnogennye riski (fiziko-matematicheskie i prikladnye aspekty). 2020. № 4. S. 37–44.
2. Flash-tekhnologii. M.: RIVSH, 2013.
3. Ul'rih K. Macromedia Flash dlya Windows. M.: DMK Press, 2017.
4. Kiselev S.V. Flash–tekhnologii. M.: Academia, 2014.
5. Adobe Flash. Oficial'nyj kurs. M.: Eksmo, 2015.
6. Bleyk B. Flash for Construction. Hermes, 2018.
7. Salin D. Flash Beginner Teachers Book. Coriolis, 2019.
8. Hogg C. Adobe Flash. Sams Publishing, 2017.
9. Paknell S. Macromedia Flash. London, 2016.
10. Borkovskij A.B., Borovikova L.I. Slovar' po programmirovaniyu. M.: «Russkij yazyk», 2014.

### Информация о статье:

Поступила в редакцию: 10.01.2022

Принята к публикации: 14.02.2022

### The information about article:

Article was received by the editorial office: 10.01.2022

Accepted for publication: 14.02.2022

### Информация об авторах:

**Александр Юрьевич Лабинский**, 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: labynsci@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-2735-4189>

### Information about the authors:

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

---

---

## ИНФОРМАЦИОННАЯ СПРАВКА

---

---

Старейшее учебное заведение пожарно-технического профиля России образовано 18 октября 1906 г., когда на основании решения Городской Думы Санкт-Петербурга были открыты Курсы пожарных техников. Наряду с подготовкой пожарных специалистов, учебному заведению вменялось в обязанность заниматься обобщением и систематизацией пожарно-технических знаний, оформлением их в отдельные учебные дисциплины. Именно здесь были созданы первые отечественные учебники, по которым обучались все пожарные специалисты страны.

Учебным заведением за вековую историю подготовлено более 40 тыс. специалистов, которых всегда отличали не только высокие профессиональные знания, но и беспредельная преданность профессии пожарного и верность присяге. Свидетельство тому – целый ряд сотрудников и выпускников вуза, награжденных высшими наградами страны, среди них: кавалеры Георгиевских крестов, четыре Героя Советского Союза и Герой России. Далеко не случаен тот факт, что среди руководящего состава пожарной охраны страны всегда было много выпускников учебного заведения.

Сегодня 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» – современный научно-образовательный комплекс, интегрированный в российское и мировое научно-образовательное пространство. Университет по разным формам обучения – очной, заочной и заочной с применением дистанционных технологий – осуществляет обучение по 25 программам среднего, высшего образования, а также подготовку специалистов высшей квалификации: докторантов, адъюнктов, аспирантов, а также осуществляет переподготовку и повышение квалификации специалистов более 30 категорий сотрудников МЧС России.

Начальник университета – генерал-лейтенант внутренней службы, кандидат технических наук, доцент Гавкалюк Богдан Васильевич.

Основным направлением деятельности университета является подготовка специалистов в рамках специальности «Пожарная безопасность». Вместе с тем, организована подготовка и по другим специальностям, востребованным в системе МЧС России.

Это специалисты в области системного анализа и управления, законодательного обеспечения и правового регулирования деятельности МЧС России, психологии риска и чрезвычайных ситуаций, экономической безопасности в подразделениях МЧС России, пожарно-технической экспертизы и дознания. По инновационным программам подготовки осуществляется обучение специалистов по специализациям «Руководство проведением спасательных операций особого риска» и «Проведение чрезвычайных гуманитарных операций» со знанием иностранных языков, а также подготовка специалистов для военизированных горноспасательных частей по специальности «Горное дело».

Широта научных интересов, высокий профессионализм, большой опыт научно-педагогической деятельности, владение современными методами научных исследований позволяют коллективу университета преумножать научный и научно-педагогический потенциал вуза, обеспечивать непрерывность и преемственность образовательного процесса. Сегодня в университете свои знания и огромный опыт передают: 7 заслуженных деятелей науки Российской Федерации, 11 заслуженных работников высшей школы Российской Федерации, 3 заслуженных юриста Российской Федерации, заслуженные изобретатели Российской Федерации и СССР. Подготовку специалистов высокой квалификации в настоящее время осуществляют 56 докторов наук, 277 кандидатов наук, 58 профессоров, 158 доцентов, 12 академиков отраслевых академий, 8 членов-корреспондентов отраслевых академий, 5 старших научных сотрудников, 6 почетных работников высшего

профессионального образования Российской Федерации, 1 почетный работник науки и техники Российской Федерации, 2 почетных радиста Российской Федерации.

В составе университета:

- 32 кафедры;
- Институт безопасности жизнедеятельности;
- Институт заочного и дистанционного обучения;
- Институт нравственно-патриотического и эстетического развития;
- Институт профессиональной подготовки;
- Институт развития;
- Научно-исследовательский институт перспективных исследований и инновационных технологий в области безопасности жизнедеятельности;
- Дальневосточная пожарно-спасательная академия – филиал университета (ДВПСА);
- пять факультетов: факультет инженерно-технический, факультет экономики и права, факультет подготовки кадров высшей квалификации; факультет пожарной безопасности (подразделение ДВПСА); факультет дополнительного профессионального образования (подразделение ДВПСА).

Институт безопасности жизнедеятельности осуществляет образовательную деятельность по программам высшего образования по договорам об оказании платных образовательных услуг.

Приоритетным направлением в работе Института заочного и дистанционного обучения является подготовка кадров начальствующего состава для замещения соответствующих должностей в подразделениях МЧС России.

Институт развития реализует дополнительные профессиональные программы по повышению квалификации и профессиональной переподготовке в рамках выполнения государственного заказа МЧС России для совершенствования и развития системы кадрового обеспечения, а также на договорной основе.

Научно-исследовательский институт перспективных исследований и инновационных технологий в области безопасности жизнедеятельности осуществляет реализацию государственной научно-технической политики, изучение и решение научно-технических проблем, информационного и методического обеспечения в области пожарной безопасности. Основные направления деятельности НИИ: организационное и научно-методическое руководство судебными экспертными учреждениями федеральной противопожарной службы МЧС России; сертификация продукции в области пожарной безопасности; проведение испытаний и разработка научно-технической продукции в области пожарной безопасности; проведение расчетов пожарного риска и расчетов динамики пожара с использованием компьютерных программ.

Факультет инженерно-технический осуществляет подготовку специалистов по специальностям: «Пожарная безопасность» (специализации: «Пожаротушение», «Государственный пожарный надзор», «Руководство проведением спасательных операций особого риска», «Проведение чрезвычайных гуманитарных операций»), «Судебная экспертиза», по направлениям подготовки: «Системный анализ и управление», «Техносферная безопасность».

Факультет экономики и права осуществляет подготовку специалистов по специальностям: «Правовое обеспечение национальной безопасности», «Пожарная безопасность» (специализация «Пожарная безопасность объектов минерально-сырьевого комплекса»), «Судебная экспертиза», «Горное дело» и по направлениям подготовки «Техносферная безопасность» и «Системный анализ и управление».

Факультет подготовки кадров высшей квалификации осуществляет подготовку докторантов, адъюнктов, аспирантов по очной и заочной формам обучения.

Университет имеет представительства в городах: Выборг (Ленинградская область), Вытегра, Горячий Ключ (Краснодарский край), Мурманск, Петрозаводск, Пятигорск, Севастополь, Стрежевой, Сыктывкар, Тюмень, Уфа; представительства университета

за рубежом: г. Алма-Ата (Республика Казахстан), г. Баку (Азербайджанская Республика), г. Бар (Черногория), г. Ниш (Сербия).

Общее количество обучающихся в университете по всем специальностям, направлениям подготовки, среднему общему образованию составляет более 7 000 человек. Ежегодный выпуск составляет более 1 100 специалистов.

В университете действует два диссертационных совета по защите диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук по техническим и экономическим наукам.

Ежегодно университет проводит научно-практические конференции различного уровня: Всероссийскую научно-практическую конференцию «Сервис безопасности в России: опыт, проблемы и перспективы», Международную научно-практическую конференцию «Подготовка кадров в системе предупреждения и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций». Совместно с Северо-Западным отделением Научного Совета РАН по горению и взрыву, Российской академией ракетных и артиллерийских наук (РАРАН), Балтийским государственным техническим университетом «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова и Российской секцией Международного института горения на базе университета проводится Международная научно-практическая конференция «Комплексная безопасность и физическая защита». Также университет принимает активное участие в организации и проведении Всероссийского форума МЧС России и общественных организаций «Общество за безопасность».

Университет ежегодно принимает участие в выставках, организованных МЧС России и другими ведомствами и организациями. Традиционно большим интересом пользуется выставочная экспозиция университета на Международном салоне средств обеспечения безопасности «Комплексная безопасность», Петербургском международном экономическом форуме, Международном форуме «Арктика: настоящее и будущее».

Международная деятельность вуза направлена на всестороннюю интеграцию университета в международное образовательное пространство. На сегодняшний момент университет имеет 18 действующих соглашений о сотрудничестве с зарубежными учебными заведениями и организациями, среди которых центры подготовки пожарных и спасателей Германии, КНР, Франции, Финляндии.

В университете обучаются иностранные курсанты из числа сотрудников Государственной противопожарной службы МЧС Кыргызской Республики и Комитета по чрезвычайным ситуациям МВД Республики Казахстан в пределах квот на основании межправительственных соглашений и постановления Правительства Российской Федерации от 7 декабря 1996 г. № 1448 «О подготовке лиц офицерского состава и специалистов для правоохранительных органов и таможенных служб государств – участников СНГ в образовательных учреждениях высшего профессионального образования Российской Федерации». В настоящее время в университете проходят обучение 30 сотрудников Комитета по чрезвычайным ситуациям МВД Республики Казахстан и 15 сотрудников МЧС Кыргызской Республики.

В соответствии с двусторонними соглашениями Университет осуществляет обучение по программам повышения квалификации. Регулярно проходят обучение в университете специалисты Российско-Сербского гуманитарного центра, Российско-армянского центра гуманитарного реагирования, Международной организации гражданской обороны (МОГО), Министерства нефти Исламской Республики Иран, пожарно-спасательных служб Финляндии, Туниса, Республики Корея и других стран.

Преподаватели, курсанты и студенты университета имеют возможность проходить стажировку за рубежом. За последнее время стажировки для профессорско-преподавательского состава и обучающихся в университете были организованы в Германии, Сербии, Финляндии, Швеции.

В университете имеются возможности для повышения уровня знания английского языка. Организовано обучение по программе дополнительного профессионального

образования «Переводчик в сфере профессиональной коммуникации» студентов, курсантов, адъюнктов и сотрудников.

Компьютерный парк университета составляет более 1 200 единиц. Для информационного обеспечения образовательной деятельности функционирует единая локальная сеть с доступом в электронную информационно-образовательную среду университета, справочно-правовую систему «КонсультантПлюс», систему «Антиплагиат». Компьютерные классы позволяют обучающимся работать в сети Интернет, с помощью которой обеспечивается выход на российские и международные информационные сайты, что позволяет значительно расширить возможности учебного, учебно-методического и научно-методического процесса.

Нарастающая сложность и комплексность современных задач заметно повышают требования к организации образовательного процесса. Сегодня университет реализует программы обучения с применением технологий дистанционного обучения.

Библиотека университета соответствует всем современным требованиям. Фонды библиотеки университета составляют более 350 700 экземпляров литературы по всем отраслям знаний. Они имеют информационное обеспечение и объединены в единую локальную сеть. Все процессы автоматизированы. Установлена библиотечная программа «Ирбис». В библиотеке осуществляется электронная книговыдача. Это дает возможность в кратчайшие сроки довести книгу до пользователя.

Читальные залы (общий и профессорский) библиотеки оснащены компьютерами с выходом в Интернет, Интранет, НЦУКС и локальную сеть университета. Создана и функционирует Электронная библиотека, она интегрирована с электронным каталогом.

В сети Интранет работает Единая ведомственная электронная библиотека МЧС России, объединяющая библиотеки системы МЧС России.

В Электронной библиотеке оцифровано 2/3 учебного и научного фондов. К электронной библиотеке подключены: Дальневосточный филиал и библиотека Арктического спасательного учебно-научного центра «Вытегра». Имеется доступ к Президентской библиотеке им. Б.Н. Ельцина. Заключены договоры с ЭБС IPRbooks и ЭБС «Лань» на пользование и просмотр учебной и научной литературы в электронном виде. Имеется 8 000 точек доступа.

В фондах библиотеки насчитывается более 150 экземпляров редких и ценных изданий. Библиотека располагает богатым фондом периодических изданий, их число составляет 8 121 экземпляр. На 2019 г., в соответствии с требованиями федерального государственного образовательного стандарта, выписано 80 наименований журналов и газет. Все поступающие периодические издания расписываются библиографом в электронных каталогах и картотеках. Издания периодической печати активно используются читателями в учебной и научно-исследовательской деятельности. На базе библиотеки создана профессорская библиотека и профессорский клуб вуза.

Полиграфический центр университета оснащен современным типографским оборудованием для полноцветной печати, позволяющим обеспечивать не только заказы на печатную продукцию университета, но и единый план изготовления печатной продукции МЧС России. Университет издает 8 научных журналов, публикуются материалы ряда международных и всероссийских научных мероприятий, сборники научных трудов профессорско-преподавательского состава университета. Издания университета соответствуют требованиям законодательства Российской Федерации и включены в электронную базу Научной электронной библиотеки для определения Российского индекса научного цитирования, а также имеют международный индекс (ISSN). Научно-аналитический журнал «Проблемы управления рисками в техносфере» и электронный «Научно-аналитический журнал «Вестник Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России» включены в утвержденный решением Высшей аттестационной комиссии «Перечень рецензируемых научных журналов, в которых публикуются основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук».

Курсанты университета проходят обучение по программе первоначальной подготовки спасателей.

На базе Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России 1 июля 2013 г. открыт Кадетский пожарно-спасательный корпус.

Кадетский пожарно-спасательный корпус осуществляет подготовку кадет по общеобразовательным программам среднего общего образования с учетом дополнительных образовательных программ. Основные особенности деятельности корпуса – интеллектуальное, культурное, физическое и духовно-нравственное развитие кадет, их адаптация к жизни в обществе, создание основы для подготовки несовершеннолетних граждан к служению Отечеству на поприще государственной гражданской, военной, правоохранительной и муниципальной службы.

В университете большое внимание уделяется спорту. Команды, состоящие из преподавателей, курсантов и слушателей, – постоянные участники различных спортивных турниров, проводимых как в России, так и за рубежом. Слушатели и курсанты университета являются членами сборных команд МЧС России по различным видам спорта.

Деятельность команды университета по пожарно-прикладному спорту (ППС) включает в себя участие в чемпионатах России среди вузов (зимний и летний), в зональных соревнованиях и чемпионате России, а также проведение бесед и консультаций, оказание практической помощи юным пожарным кадетам и спасателям при проведении тренировок по ППС.

В университете создан спортивный клуб «Невские львы», в состав которого входят команды по пожарно-прикладному и аварийно-спасательному спорту, хоккею, американскому футболу, волейболу, баскетболу, силовым единоборствам и др. В составе сборных команд университета – чемпионы и призеры мировых первенств и международных турниров.

Курсанты и слушатели имеют прекрасные возможности для повышения своего культурного уровня, развития творческих способностей в созданном в университете Институте нравственно-патриотического и эстетического развития. Творческий коллектив университета принимает активное участие в ведомственных, городских и университетских мероприятиях, направленных на эстетическое и патриотическое воспитание молодежи, а также занимает призовые места в конкурсах, проводимых на уровне университета, города и МЧС России. На каждом курсе организована работа по созданию и развитию творческих объединений по различным направлениям: студия вокала, студия танцев, клуб веселых и находчивых. Для курсантов и студентов действует студия ораторского искусства, команда технического обеспечения, духовой оркестр.

На территории учебного заведения создается музей истории Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России, в котором обучающиеся и сотрудники, а также гости университета смогут познакомиться со всеми этапами становления учебного заведения – от курсов пожарных техников до университета.

В Санкт-Петербургском университете Государственной противопожарной службы МЧС России созданы все условия для подготовки высококвалифицированных специалистов как для Государственной противопожарной службы, так и в целом для МЧС России.



---

---

# АВТОРАМ ЖУРНАЛА

## «ПРИРОДНЫЕ И ТЕХНОГЕННЫЕ РИСКИ»

### (ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ И ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ)

---

---

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 должна быть ранее не 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. Материал должен сопровождаться:

а) для **сотрудников** СПб университета ГПС МЧС России – *выпиской* из протокола заседания кафедры о целесообразности публикации, *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, имеющему ученую степень;

в) статья аспиранта (адъюнкта) или соискателя помимо вышеуказанных документов должна сопровождаться *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**;

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

**2. Статьи**, включая рисунки и подписи к ним, список литературы, должны иметь **объем** от **8** до **15** машинописных страниц.

**3. 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 обсуждение**

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 *оригинальных* исследовательских статей 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 должны быть подтверждены 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.

### **4. 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: 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**.

## 5. 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).

## 6. 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, на той же строке название таблицы полужирно, и далее следует сама таблица);
- 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.

## 7. Оформление библиографии (списка литературы):

Список литературы *оригинальных* исследовательских статей должен содержать **не менее 10 источников**, а *обзорных* аналитических статей **не менее 25 источников**. При этом в него не следует включать ссылки на учебники, учебные пособия, патенты, ГОСТы, приказы, распоряжения и другие нормативные документы, сайты компаний и т.п. Информация о них должна быть дана непосредственно по тексту. Если статья рассматривает проблемы нормирования, то нормативные документы допускается включать в Список литературы.

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

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

Не менее половины источников должны быть включены в один из ведущих индексов цитирования: Российский индекс научного цитирования eLibrary, Web of Science, Scopus, Chemical Abstracts, MathSciNet, Springer и др. В случае присвоения публикациям цифрового идентификатора объекта (DOI) его необходимо указать, что позволит однозначно идентифицировать объект в базах данных (в поиске DOI поможет сайт: URL: <http://www.crossref.org/>).

Состав источников должен быть актуальным и содержать не менее половины современных (не старше 7 лет) статей из научных журналов или других публикаций.

### *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 литературы:*

#### **Литература**

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. Грждяну П.М., Авербух И.Ш. Вариант вероятностного метода оценки оползнеопасности территории // Современные методы прогноза оползневого 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. 329–334.

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.

#### **8. 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/>).

*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**

УДК 614.8

### **МЕТОД ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОГНЕЗАЩИТЫ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ НА ОБЪЕКТАХ НЕФТЕГАЗОВОГО КОМПЛЕКСА В УСЛОВИЯХ ОТКРЫТОГО ПОЖАРА**

**Сергей Петрович Иванов**✉.

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

✉ [spi78@mail.ru](mailto:spi78@mail.ru)

*Аннотация.* 100–250 слов

*Ключевые слова:* 3–10 слов

**Для цитирования:** Иванов С.П. Метод оценки эффективности огнезащиты стальных конструкций на объектах нефтегазового комплекса в условиях открытого пожара // Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты). 2022. № 1 (41). С. 1–2. (ОФОРМЛЯЕТСЯ РЕДАКЦИЕЙ)

# METHOD FOR ESTIMATION OF THE EFFICIENCY OF FIRE PROTECTION OF STEEL STRUCTURES ON OBJECTS OF OIL AND GAS COMPLEX IN CONDITIONS OF OPEN FIRE

Sergey P. Ivanov✉. Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia  
✉spi78@mail.ru

*Abstract.*

*Keywords:*

**For citation:** Ivanov S.P. Method for estimation of the efficiency of fire protection of steel structures on objects of oil and gas complex in conditions of open fire // Prirodnye i tekhnogennye riski (fiziko-matematicheskie i prikladnye aspekty) = Natural and man-made risks (physico-mathematical and applied aspects). 2022. №. 1 (41). P. 1–2.

## **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)

## **References**

*Информация об авторах:*

**Сергей Петрович Иванов** – 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>

*Information about the authors:*

**Sergey P. Ivanov** – deputy head of the Research institute of the Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, St. Petersburg, Moskovsky Ave., 149), candidate of technical sciences, e-mail: spi78@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4651-8513>

## **Информация о статье:**

Статья поступила в редакцию: 10.01.2022

Принята к публикации: 11.02.2022

## **The information about article:**

The article was submitted to the editorial office: 10.01.2022

Accepted for publication: 11.02.2022



**МЧС РОССИИ**  
**ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский университет**  
**Государственной противопожарной службы»**

Научно-аналитический журнал

**Природные и техногенные риски**  
**(физико-математические и прикладные аспекты)**

**№ 1 (41) – 2022**

Выпускающий редактор  
А.В. Домничева

---

Подписано в печать 28.03.2022. Формат 60×84<sub>1/8</sub>  
Усл.-печ. 11 л. Тираж 1000 экз. Зак. №

---

Отпечатано в Санкт-Петербургском университете ГПС МЧС России  
196105, Санкт-Петербург, Московский проспект, д. 149