

## СОДЕРЖАНИЕ

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

**Папырин В.В., Сидоров В.К.** Некоторые аспекты организации цифровой коротковолновой радиосвязи в Арктике.

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

**Савчук О.Н., Крейтор В.П.** О совершенствовании экспресс-методики оценки радиационной обстановки по данным разведки при авариях (разрушениях) атомных электростанций.

**Невмержицкий Н.В., Воронин С.В., Скрипник И.Л.** Расчет опасности взвешенных частиц на автомагистрали теоретическим и экспериментальным способом.

**Королева Л.А., Ивахнюк Г.К., Нефедьев С.А.** Применение комплексного технологического аудирования на объектах железнодорожного транспорта для снижения риска каскадного развития чрезвычайных ситуаций, связанных с пожарами.

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

**Веджижев М.И., Галишев М.А., Тарасова Н.С.** Методика изучения летучих компонентов нефтепродуктов на контакте почвы с воздушной средой на объектах нефтегазового комплекса.

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

**Лабинский А.Ю.** Нечетко-множественный подход к построению регрессионной модели.

**Кузьмин А.А., Романов Н.Н., Пермяков А.А.** Модели испарения сжиженных углеводородных газов в расчете избыточного давления взрыва.

**Шидловский Г.Л., Северин Н.Н., Шаптала В.В.** Моделирование и расчет вентиляции взрывоопасных помещений гальванических цехов машиностроительных предприятий.

**Трофимец Е.Н., Родин А.К., Макарова Д.** Совершенствование технологии программирования логических контроллеров на основе технологии TEXT MINING.

**Шепелюк С.И., Мурзин С.М., Рязанов А.А.** Определение оптимальной математической модели расчета развития динамики опасных факторов пожара на объектах нефтегазового кластера.

**Лобова С.Ф., Принцева М.Ю.** Оценка влияния исходных данных на результаты моделирования распространения горения при оценке эффективности работы автоматической установки пожарной сигнализации.

**Корольков А.П., Балобанов А.А., Сапелкин А.И.** Модель оценки кандидатов на вакантную должность в системе МЧС России.

**Терехин С.Н., Вострых А.В., Скуртул И.В.** Решение задач нахождения кратчайшего маршрута следования спецтранспорта МЧС России к месту вызова на основе алгоритма «Поиска в ширину BFS».

**Бобринев Е.В., Кондашов А.А., Удавцова Е.Ю.** Использование регрессионного анализа показателей гибели людей при пожарах от времени прибытия первого пожарного подразделения на пожар.

**Крюкова М.С., Фахми Ш.С.** Сегментация полутоновых изображений лесных пожаров на основе дисперсионного анализа.

**Хайдаров А.Г., Габриэль П.О., Брюсянин Д.В.** Прогнозирование эмиссии углеводородов и самовозгорания пожароопасных полигонов отходов производства и потребления с применением интервального анализа.

**Сысоева Т.П., Лобова С.Ф., Кухарев А.А.** Применение компьютерного моделирования динамики распространения пожара для установления месторасположения очага пожара.

**Кузьмина Т.А., Гайдукевич А.Е., Скуратова К.А.** Комплексный статистический анализ юзабилити отраслевых интернет-сайтов.

**Шафигуллин И.Ш., Кубуша А.В., Бугайченко П.Ю.** Обобщенная схема формирования типового сценария решения задачи антикризисного управления с использованием экспертных систем.

**Горбунов А.А., Терехин С.Н., Дали Ф.А.** Применение интеллектуальной системы оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре на основе ВМ-моделирования.

**Буйневич М.В., Пелех М.Т., Ахунова Д.Г.** Развитие пожарной охраны мегаполиса с использованием технологии имитационного моделирования.

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

**Завирский С.В., Гвоздева Н.В., Мельник О.Е.** Классические теории в свете современного понимания эффективной мотивации персонала.

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

**Медведева Л.В.** Психологические аспекты трансформации учебной информации в личное знание будущего специалиста.

**Баскин Ю.Г., Свидзинская Г.Б., Шифф В.К.** Использование метода семантического дифференциала для педагогической диагностики отношения к процессу обучения на примере дисциплины «Химия».

### **Сведения об авторах**

---

---

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

---

---

## НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ОРГАНИЗАЦИИ ЦИФРОВОЙ КОРОТКОВОЛНОВОЙ РАДИОСВЯЗИ В АРКТИКЕ

**В.В. Папырин, кандидат юридических наук;**

**В.К. Сидоров.**

**Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Представленная работа имеет познавательное значение, в ней представлены интересные данные об организации цифровой коротковолновой радиосвязи в Арктическом регионе Российской Федерации. Интересны факты о проведенных исследованиях и экспериментах в периоды организации различных экспедиций сотрудниками Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России. Рассматривается состояние системы радиосвязи в настоящее время и перспективы развития современной телекоммуникационной инфраструктуры в Арктической зоне Российской Федерации.

*Ключевые слова:* радиосвязь, цифровая радиосвязь, Арктика, короткие волны, спутниковая связь, прохождение радиоволн, ионосфера

## SOME ASPECTS OF ORGANIZATION OF DIGITAL HF RADIO IN THE ARCTIC

V.V. Papyrin; V.K. Sidorov.

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

The presented work is of cognitive importance, it presents interesting data on the organization of digital short waves radio communication in the Arctic region of the Russian Federation. Interesting facts about the research and experiments conducted during the organization of various expeditions by the staff of the Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia. The current state of the radio communication system and prospects for the development of modern telecommunications infrastructure in the Arctic zone of the Russian Federation are considered.

*Keywords:* radio communication, digital radio communication, Arctic, short waves, satellite communication, radio waves, ionosphere

Освоение и развитие Арктической зоны Российской Федерации (АЗРФ) является сегодня одной из стратегических задач развития страны. При этом роль МЧС России, согласно принятой Правительством России стратегии развития Арктики [1], заключается в создании комплексной системы природно-техногенной безопасности населения и территорий в АЗРФ. Для этого в АЗРФ создаются 10 арктических комплексных аварийно-спасательных центров (АКАСЦ), пять из которых уже функционируют (Мурманский, Архангельский, Воркутинский, Нарьян-Марский и Дудинский).

Функции АКАСЦ заключаются в предупреждении и ликвидации последствий возможных чрезвычайных ситуаций (ЧС), оказании помощи при несчастных случаях при

дорожно-транспортных происшествиях, в местах охоты и рыбной ловли, спасении туристов и т.д. В связи с особенностями климата и географии, масштабностью и труднодоступностью территорий, для обеспечения эффективности деятельности спасательных формирований МЧС России важнейшим условием является надежная радиосвязь различных видов.

При этом Правительство Российской Федерации постановлением от 31 августа 2017 г. № 1064 внесло изменения в Государственную программу (Госпрограмма) Российской Федерации «Социально-экономическое развитие Арктической зоны Российской Федерации» [2].

Госпрограмма реализуется в три этапа:

- I этап – 2015÷2017 гг.;
- II этап – 2018÷2020 гг.;
- III этап – 2021÷2025 гг.

Задачи Госпрограммы следующие:

- повышение качества жизни и защищенности населения на территории АЗРФ;
- создание условий для развития Северного морского пути в качестве национальной транспортной магистрали Российской Федерации в Арктике и развитие системы гидрометеорологического обеспечения мореплавания в его акватории;
- развитие науки, технологий и повышение эффективности использования ресурсной базы АЗРФ и континентального шельфа Российской Федерации в Арктике;
- повышение эффективности государственного управления социально-экономическим развитием АЗРФ.

Госпрограмма включает три подпрограммы:

- «Формирование опорных зон развития и обеспечение их функционирования, создание условий для ускоренного социально-экономического развития Арктической зоны Российской Федерации»;
- «Развитие Северного морского пути и обеспечение судоходства в Арктике»;
- «Создание оборудования и технологий нефтегазового и промышленного машиностроения, необходимых для освоения минерально-сырьевых ресурсов Арктической зоны Российской Федерации».

Реализация Госпрограммы позволит создать условия для ускоренного социально-экономического развития АЗРФ, достижения стратегических интересов и обеспечения национальной безопасности России в Арктике.

Новая редакция Госпрограммы разделила российское Заполярье на экономические опорные зоны. Территориальное деление было признано Правительством более эффективным, чем отраслевое.

Определены восемь опорных зон развития АЗРФ – Кольская, Архангельская, Ненецкая, Воркутинская, Ямало-Ненецкая, Таймыро-Туруханская, Северо-Якутская, Чукотская (рис. 1).

В каждой опорной зоне будет создан локальный Центр управления развитием опорной зоны, а в Санкт-Петербурге будет создан Главный центр управления развитием АЗРФ.

Для качественного выполнения задач, поставленных в Госпрограмме, а именно: сбора, предварительного анализа информации о ходе выполнения мероприятий от распределенных источников информации (органов местной власти, центров МЧС, МВД, министерств и ведомств и т.д.), визуализации информации (представление в форме для принятия решений), передачи визуализированной информации в Главный центр управления АЗРФ, принятия решений на региональном уровне, а также формирование базы данных по опорной зоне развития, необходимо создание сложной телекоммуникационной системы.

Одной из составляющих такой телекоммуникационной системы должна стать коротковолновая (КВ) сеть радиосвязи, вариант которой показан на рис. 2.



Рис. 1. Опорные зоны развития в соответствии с Государственной программой «Социально-экономического развития Арктической зоны Российской Федерации»



Рис. 2. Вариант КВ сети радиосвязи опорных зон развития в АЗРФ

Подразделения МЧС России, выполняющие поставленные задачи в АЗРФ, будут также являться составным звеном такой телекоммуникационной системы и использовать для обмена информацией и взаимодействия друг с другом каналы КВ и, с большой вероятностью, средневолновой радиосвязи.

В соответствии с современной политикой государства и требованиями руководящих документов, подразделения МЧС России выполняют задачи по обеспечению жизнедеятельности населения в АЗРФ. Одной из проблем, с которой столкнулись спасатели в Арктике, является проблема обеспечения качественной радиосвязью мобильных групп подразделений МЧС России, выполняющих задачи в удалении от населенных пунктов.

Так, например, при удалении на 30–40 км от г. Нарьян-Мар единственным источником обмена информацией остается система спутниковой телефонии «Иридиум».

Если не брать во внимание стоимость использования спутникового телефона и то, что это система неотечественного производства (а в современных условиях международной напряженности и санкций это немаловажно), даже она не может обеспечить полного покрытия территории в Арктическом регионе.

В связи с этим возникла необходимость предложить что-то новое, а может быть и забытое старое, для обеспечения связью в Арктике спасательных подразделений МЧС России. Однако сложные условия прохождения радиоволн в северных широтах создают большие проблемы при организации радиосвязи.

Еще в начале 30-х гг. прошлого столетия началось освоение Советской Арктики и Северного морского пути. Тогда под руководством Главсевморпути было создано множество метеостанций на островах и материковой части Арктики. Все они проводили обмен информацией с метеоцентрами, используя КВ радиостанции [3].

И сегодня более 80 лет спустя на метеостанциях Росгидромета в Арктическом регионе КВ канал радиосвязи остается важной частью коммуникации, однако используется в качестве резервного источника обмена информацией.

Большой опыт использования цифровой КВ радиосвязи накоплен в Научно-исследовательском институте Арктики и Антарктики Росгидромета (ААНИИ).

Для организации современного цифрового вида передачи данных используется модем фирмы SCS (Германия) – SCS P4 Dragon DR-7800. Модем позволяет передавать по КВ каналу файлы до 500 Кб, при максимальной скорости до 9,2 кБит/с, используя современный цифровой протокол RACTOR4.

Протокол RACTOR4 был разработан и начал продвигаться на рынке, начиная с 2010–2011 гг. Отличительными особенностями данного протокола цифровой радиосвязи (в том числе по сравнению с другими протоколами цифровой связи) являются высокая адаптивность и помехоустойчивость, а также относительно высокая (для КВ диапазона) скорость передачи данных. Все вышеуказанные данные позволяют успешно использовать данный вид связи в системе связи Росгидромета для организации обмена информацией между полярными автономными метеостанциями и базовыми материковыми станциями.

Для построения корпоративных КВ сетей электронной почты фирма SCS бесплатно предоставляет программное средство SCS Mail. Использование электронной почты позволяет передавать любые виды наблюдений в любом формате; обеспечивает обмен документами, файлами, программами [4].

На базе радиомодемов RACTOR и программного SCS Mail в ААНИИ разработана система распределенной сети КВ радиосвязи для труднодоступных станций Росгидромета. Примерная схема организации сети радиосвязи показана на рис. 3 [5].

Из данной схемы видно, что абонентская станция сети (удаленная метеостанция) для передачи информации связывается, в зависимости от прохождения радиоволн в данный момент времени, с одной из базовых станций сети, которая, получив информацию, форвардирует ее в сеть Интернет по указанному адресу электронной почты корреспондента. Таким образом, имея базовые станции в разных регионах Российской Федерации, обеспечивается гарантированная передача информации между удаленными метеостанциями и Центром сбора данных Росгидромета.

Начиная с 2016 г., сотрудниками Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России, совместно с сотрудниками ААНИИ, проводились испытания распределенной цифровой системы КВ радиосвязи с использованием модема RACTOR4. В 2016 г. была организована автомобильная экспедиция по маршруту Челябинск – Нукус – Самарканд – Туркестан – Аральск – Челябинск, в ходе которой был использован КВ канал радиосвязи для передачи электронной почты с использованием модема RACTOR4. Мобильная станция была организована на базе автомобиля «Шевроле Каптива». Базовыми станциями выступили штатные радиостанции Росгидромета, расположенные в Санкт-Петербурге, г. Архангельске и г. Красноярске.

В том же 2016 г. была организована экспедиция на остров Кашина, расположенный в Заполярье, в Коровинской губе, в устье реки Печора. Работа велась из полевых условий с использованием КВ радиоканала и цифровой технологии RACTOR4. Транзитными станциями выступали радиостанции Росгидромета в г. Архангельске и Санкт-Петербурге [6].

В июле 2018 г., в экспедиции «Вместе по Русскому Северу 2018», которая проходила на шхуне «Онежская жемчужина» по Онежскому озеру через Беломорский канал на Соловецкие острова, в качестве резервного канала связи был также использован канал КВ радиосвязи с цифровым модемом RACTOR4. Базовой станцией для транзита сообщений выступала радиостанция АНИИ, недавно организованная на базе полевого лагеря Ладога на Ладожском озере. Полевой пункт связи был организован в местах ночевки экспедиции на островах Онежского озера, в Беломорском канале и на островах в Белом море. Удачное расположение базовой радиостанции (открытая местность, близость водной поверхности) обеспечило организацию качественной радиосвязи во время всей экспедиции [7].

Таким образом, во всех вышеуказанных испытаниях моделировалась работа по организации цифровой КВ радиосвязи мобильной группы из удаленного района.

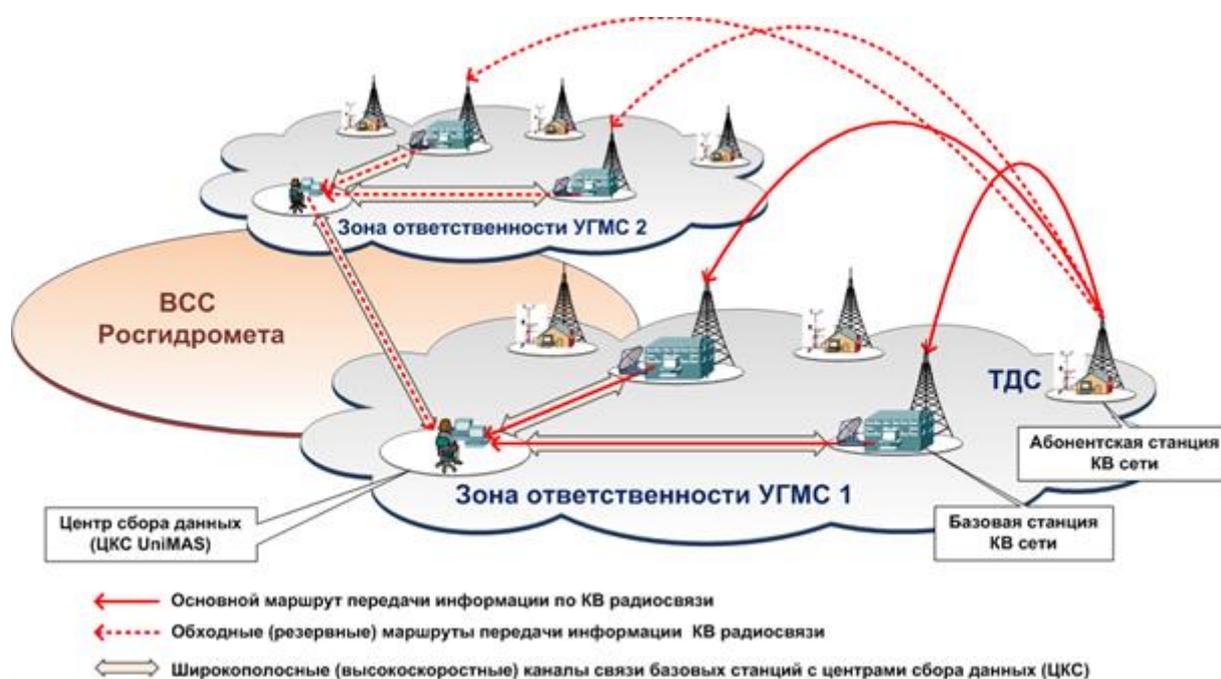


Рис. 3. Примерная схема организации распределенной сети КВ радиосвязи Росгидромета (БСС – ведомственная сеть связи; УГМС – управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды)

Проведенные исследования показали актуальность создания современной межведомственной сети КВ радиосвязи в АЗРФ. Несмотря на то, что КВ радиосвязь, особенно в высоких широтах, не позволяет гарантировать возможность передачи информации в любой момент времени, ее значение в условиях Крайнего Севера трудно переоценить.

Такая сеть с наибольшей вероятностью может быть организована между подразделениями МЧС России и станциями Росгидромета, расположенными в АЗРФ. Другие ведомства (например, Министерство обороны, Федеральная служба безопасности и др.), выполняющие поставленные задачи в Арктике, по причине своей закрытости не заинтересованы, по понятным причинам, в создании совместных сетей радиосвязи. Однако как для подразделений МЧС России, так и для полярных станций и других метеорологических подразделений Росгидромета, в условиях тотальной оптимизации материальных ресурсов, такая совместная объединенная сеть может обеспечить более

качественное выполнение поставленных задач в Арктическом регионе Российской Федерации.

Было бы вполне логичным создание ретрансляционных станций объединенной межведомственной сети на базе АКАСЦ МЧС России, с одной стороны, и пунктов сбора информации Росгидромета, с другой.

В различных структурах, прежде всего, силовых идет «обкатка» новой техники КВ связи с прицелом на развертывание в национальных масштабах резервной государственной системы связи.

В перспективе распределенная объединенная сеть КВ радиосвязи Росгидромета и других ведомств могла бы и должна стать ее частью.

### **Литература**

1. Стратегия развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2020 года. URL: <http://government.ru/info/18360/> (дата обращения: 22.05.2019).

2. О новой редакции государственной программы «Социально-экономическое развитие Арктической зоны Российской Федерации». URL: <http://government.ru/docs/29164/> (дата обращения: 22.05.2019).

3. Воробьев А.В. Организация радиосвязи в Арктике // Советская Арктика. 1935. № 3 (окт.). С. 37–41.

4. SCS (Special Communications Systems), Германия. URL: <http://www.scs-ptc.com> (дата обращения: 22.05.2019).

5. Кузьмичев А.П. Проблемы организации связи с труднодоступными и полярными станциями // Российские полярные исследования. 2014. № 3 (17). С. 24–27.

6. Организация радиосвязи подразделений МЧС России, выполняющих задачи в Арктическом регионе: отчет о НИР (заключительный) / рук. С.Г. Рекунов. СПб., 2016. 49 с.

7. Организация радиосвязи подразделений МЧС России, выполняющих задачи в Арктическом регионе: отчет о НИР (заключительный) / рук. В.В. Папырин. СПб., 2018. 56 с.

### **References**

1. Strategiya razvitiya Arkticheskoy zony Rossijskoj Federacii i obespecheniya nacional'noj bezopasnosti na period do 2020 goda. URL: <http://government.ru/info/18360/> (data obrashcheniya: 22.05.2019).

2. O novej redakcii gosudarstvennoj programmy «Social'no-ekonomicheskoe razvitie Arkticheskoy zony Rossijskoj Federacii». URL: <http://government.ru/docs/29164/> (data obrashcheniya: 22.05.2019).

3. Vorob'ev A.V. Organizaciya radiosvyazi v Arktike // Sovetskaya Arktika. 1935. № 3 (okt.). S. 37–41.

4. SCS (Special Communications Systems), Germaniya. URL: <http://www.scs-ptc.com> (data obrashcheniya: 22.05.2019).

5. Kuz'michev A.P. Problemy organizacii svyazi s trudnodostupnymi i polyarnymi stanciyami // Rossijskie polyarnye issledovaniya. 2014. № 3 (17). S. 24–27.

6. Organizaciya radiosvyazi podrazdelenij MCHS Rossii, vpolnyayushchih zadachi v Arkticheskom regione: otchet o NIR (zaklyuchitel'nyj) / ruk. S.G. Rekunov. SPb., 2016. 49 s.

7. Organizaciya radiosvyazi podrazdelenij MCHS Rossii, vpolnyayushchih zadachi v Arkticheskom regione: otchet o NIR (zaklyuchitel'nyj) / ruk. V.V. Papyrin. SPb., 2018. 56 s.

---

---

# БЕЗОПАСНОСТЬ КРИТИЧЕСКИ ВАЖНЫХ И ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ

---

---

## О СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ ЭКСПРЕСС-МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ РАДИАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКИ ПО ДАННЫМ РАЗВЕДКИ ПРИ АВАРИЯХ (РАЗРУШЕНИЯХ) АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

**О.Н. Савчук, кандидат технических наук, профессор,  
заслуженный работник высшей школы Российской Федерации;  
В.П. Крейтор, кандидат технических наук, профессор.  
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Рассматривается проблема совершенствования оценки радиационной обстановки по данным разведки при авариях (разрушениях) атомных электростанций с целью получения оперативных данных на основе экспресс-методики с использованием таблиц.

*Ключевые слова:* мощность дозы излучения, спад мощности дозы излучения, радиационная безопасность

## IMPROVING ASSESSMENT TECHNIQUES EXPRESS RADIATION SITUATION ACCORDING TO INTELLIGENCE IN ACCIDENTS (DESTRUCTION) OF NUCLEAR POWER PLANTS

O.N. Savchuk; V.P. Kreitor.  
Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

The problem of improvement of assessment of a radiation situation according to the intelligence data at accidents (destructions) of the nuclear power plants for the purpose of obtaining operational data on the basis of an express technique with use of tables is considered.

*Keywords:* radiation dose power, recession of power of a dose of radiation, radiation safety

Бурное развитие промышленности, железнодорожного транспорта, расширение строительства городов и населенных пунктов требует все большего увеличения их энергоснабжения в виде электричества и тепла. Наряду с использованием тепловых и гидроэлектростанций, широко в современном мире используются атомные электростанции. Несмотря на негативные последствия аварий на Чернобыльской атомной электростанции (АЭС) (Украина) и АЭС г. Фукусима (Япония), продолжается наращивание строительства многих АЭС в различных точках земного шара.

В настоящее время насчитывается около 450 действующих АЭС в мире, в стадии завершения строительства еще 60 ядерных реакторов, и их доля в поставках электроэнергии многих стран неуклонно растет. Это обусловлено их преимуществами перед тепловыми электростанциями, прежде всего, за счет высокой экологичности, значительно меньших объемов поставки ядерного топлива, энергоемкости.

Истощение в перспективе топливных энергоресурсов, повышение транспортных расходов на их доставку к потребителю требует поиск замены тепловых электростанций другими альтернативными источниками электроэнергии.

Пока одним из наиболее перспективных альтернативных источников электроэнергии являются АЭС, дальнейшее совершенствование которых позволит значительно снизить риски их аварий.

Однако при авариях АЭС с разгерметизацией реакторов последствия радиоактивного загрязнения территории значительно превосходят последствия аварий на других радиационно-опасных объектах.

В настоящее время существует опасность аварий на таких объектах вследствие значительных стихийных бедствий и угроз нарастающих актов терроризма и возможного развязывания региональных войн. В условиях современных средств информационных войн, когда возможен выход из строя компьютерных систем управления, актуальна разработка экспресс-методик оценки радиационной обстановки при авариях (разрушениях) АЭС с использованием упрощенных расчетов [1], а также с помощью таблиц и графиков [2].

В основе оценки радиационной обстановки лежит расчет доз излучения, которые могут получить население и ликвидаторы последствий в результате таких аварий. По результатам анализа оценки радиационной обстановки осуществляется выбор целесообразных вариантов превентивных и других мероприятий защиты, приводящих к минимизации радиационных потерь. Трудности расчета доз излучения при авариях на АЭС обусловлены неравномерностью спада мощности дозы излучения во времени, отличающиеся от спада мощности дозы излучения при ядерном взрыве (рис. 1) [3].

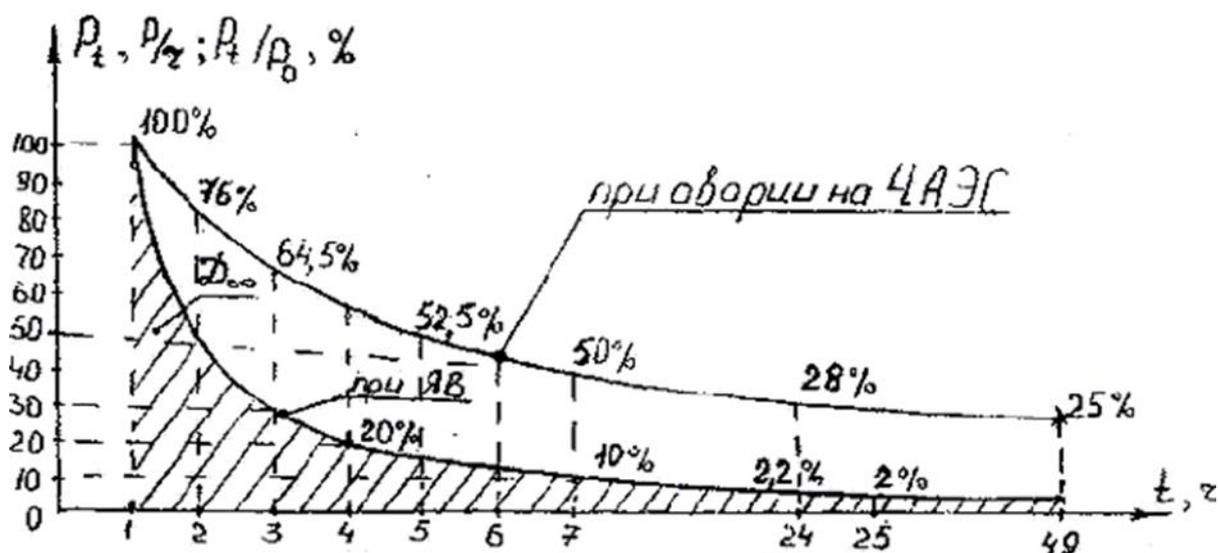


Рис. 1. Спад мощности дозы излучения при ядерном взрыве и аварии на Чернобыльской АЭС

Как показали исследования по результатам катастрофы на Чернобыльской АЭС [3], спад мощности дозы излучения можно представить в виде [4]:

$$P_t = P_0 \left( \frac{t}{t_0} \right)^{-n},$$

где  $P_t$  — искомый уровень радиации на время  $t$ ;  $P_0$  — известный уровень радиации на время  $t_0$ ;  $n$  — показатель спада радиации, который для аварийных ядерных энергетических реакторов со сроком эксплуатации более 20 лет в первые пять месяцев после аварии, принимают равным 0,4, в более поздние сроки — 0,5 [4].

Тогда формула спада радиации в первые пять месяцев после аварии принимает вид:

$$P_t = P_0 \left( \frac{t_0}{t} \right)^{0,4} . \quad (1)$$

Если время после аварии  $t_0=1$  ч, то согласно формуле (1):

$$P_t = P_1 \frac{1}{t^{0,4}} \text{ или } P_1 = P_t t^{0,4} . \quad (2)$$

В табл. 1 приведены коэффициенты  $k = \frac{1}{t^{0,4}}$  для расчета мощности дозы излучения (уровней радиации) по формуле (2).

В целях обеспечения радиационной безопасности людей при пребывании их в местах проживания на загрязненной местности можно рассчитать дозу облучения, которую они могут получить на открытой местности ( $K_{\text{осл}}=1$ ), используя формулу:

$$D = \int_{t_n}^{t_k} P_t dt = \int_{t_n}^{t_k} P_0 \left( \frac{t}{t_0} \right)^{-0,4} dt = 1,66 P_0 t_0^{0,6} (t_k^{0,6} - t_n^{0,6}), \quad (3)$$

где  $t_n$  – время начала облучения, отсчитываемое от времени аварии;  $t_k$  – время конца облучения, отсчитываемое от времени аварии;  $P_0$  – известный уровень радиации на время  $t_0$ .

Если принять  $t_0=1$  ч, то формула (3) принимает вид:

$$D=1,66 P_1 (t_k^{0,6} - t_n^{0,6}).$$

Таким образом, расчет доз облучения при пребывании в зоне загрязнения может быть произведен в общем случае по формуле:

$$D = \frac{1,66 P_1 (t_k^{0,6} - t_n^{0,6})}{K_{\text{осл}}} . \quad (4)$$

Значения  $K_{\text{осл}}$  приведены во многих работах и, в частности, в табл. 9 [4].

Используя табл. 1, можно быстро пересчитать мощность дозы излучения на любое время после аварии АЭС согласно формуле (2).

Например,  $P_{15.00}=0,1$  Зв/ч, время аварии на АЭС  $t_{\text{ав}}=12.00$ , определить мощность дозы излучения на 18.00 или на 1 ч после аварии  $P_1$ :

$$P_{18.00-12.00}=P_6=P_{15.00-12.00} * K_{3;6}=0,1 * 0,76=0,076 \text{ Зв/ч};$$

$$P_1=P_3 * K_{3;1}=0,1 * 1,55=0,155 \text{ Зв/ч},$$

где  $K_{3;6}$  и  $K_{3;1}$  определяются по табл. 1.

В целях упрощения вычислений возведения в степень времени начала и конца облучения по формуле (4) предлагается использовать табл. 2.

Для проведения оперативной оценки по обеспечению радиационной безопасности с учетом расчета возможных доз облучения личного состава подразделений Государственной противопожарной службы МЧС России, принимающих участие в ликвидации последствий аварии на АЭС, с прибытием не позднее 0,25 ч после аварии целесообразно воспользоваться табл. 3, в которой приведены значения доз облучения в зависимости от продолжительности работ в зоне радиоактивного загрязнения и мощности дозы излучения  $P_1$ .

Таблица 1. Коэффициент для пересчета мощности дозы излучения на различное время после аварии на АЭС (в первые три месяца после аварии)

Время измерения уровня радиации после аварии $t_0$ часы	Время после аварии $t$ , на которое пересчитываются уровни радиации, часы														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	16	20	24	36
0,5	0,76	0,57	0,49	0,44	0,4	0,37	0,35	0,33	0,31	0,3	0,28	0,25	0,23	0,21	0,18
1	1	0,76	0,64	0,57	0,53	0,49	0,46	0,44	0,42	0,4	0,37	0,33	0,3	0,28	0,24
2	1,32	1	0,85	0,76	0,69	0,64	0,61	0,57	0,55	0,53	0,49	0,44	0,4	0,37	0,31
3	1,55	1,18	1	0,89	0,82	0,76	0,71	0,68	0,64	0,62	0,57	0,51	0,47	0,44	0,37
4	1,74	1,32	1,12	1	0,91	0,85	0,8	0,76	0,72	0,69	0,64	0,57	0,53	0,48	0,42
5	1,9	1,44	1,23	1,09	1	0,93	0,87	0,83	0,79	0,76	0,7	0,63	0,57	0,53	0,45
6	2,05	1,55	1,32	1,18	1,08	1	0,94	0,89	0,85	0,82	0,76	0,68	0,62	0,57	0,48
7	2,18	1,65	1,4	1,25	1,14	1,06	1	0,95	0,9	0,87	0,81	0,72	0,66	0,61	0,52
8	2,3	1,74	1,48	1,32	1,21	1,12	1,05	1	0,95	0,91	0,85	0,76	0,69	0,64	0,55
9	2,4	1,83	1,55	1,38	1,27	1,18	1,11	1,05	1	0,96	0,89	0,79	0,73	0,68	0,57
10	2,51	1,9	1,62	1,44	1,32	1,23	1,15	1,07	1,04	1	0,95	0,83	0,76	0,71	0,6
12	2,7	2,05	1,74	1,55	1,42	1,32	1,24	1,18	1,12	1,08	1	0,89	0,82	0,76	0,64
14	2,87	2,18	1,85	1,65	1,51	1,4	1,32	1,25	1,19	1,14	1,06	0,95	0,87	0,81	0,69
16	3,03	2,3	1,95	1,74	1,59	1,48	1,39	1,32	1,26	1,2	1,12	1	0,91	0,85	0,72
18	3,18	2,41	2,05	1,83	1,67	1,55	1,46	1,38	1,32	1,27	1,18	1,05	0,96	0,92	0,76
20	3,31	2,51	2,14	1,9	1,74	1,62	1,52	1,44	1,38	1,32	1,23	1,09	1	0,93	0,79
24	3,57	2,7	2,3	2,05	1,87	1,74	1,64	1,55	1,48	1,42	1,32	1,18	1,08	1	0,85
36	4,15	3,18	2,7	2,41	2,2	2,08	1,93	1,83	1,74	1,67	1,55	1,38	1,27	1,18	1

Таблица 2. Возведение в степень 0,6 значений времени после аварии на АЭС

Время после аварии $t$ , ч	0,25	0,5	0,75	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Время после аварии $t^{0,6}$ , ч	0,44	0,66	0,84	1	1,52	1,93	2,3	2,63	2,93	3,21	3,48	3,73	3,98
Время после аварии $t$ , ч	11	12	13	14	15	16	18	20	22	24	30	36	48
Время после аварии $t^{0,6}$ , ч	4,22	4,44	4,66	4,87	5,08	5,28	5,66	6,03	6,39	6,73	7,7	8,5	10,2

Таблица 3. Значения возможных доз облучения (Зв) ликвидаторов аварии на АЭС, прибывающих оперативно через 0,25 ч после аварии ( $K_{осл}=1$ )

$\frac{P_{1,3в/ч}}{t_k^{0,6} - t_H^{0,6}}$	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,1	0,11	0,12	0,13	0,14
0,75-9,25	0,007	0,013	0,02	0,027	0,034	0,04	0,047	0,054	0,06	0,067	0,074	0,08	0,087	0,094
1,0-0,25	0,009	0,019	0,028	0,037	0,047	0,056	0,065	0,074	0,084	0,093	0,102	0,112	0,121	0,13
1,25-0,25	0,012	0,023	0,035	0,046	0,058	0,07	0,081	0,093	0,104	0,116	0,128	0,139	0,151	0,162
1,5-0,25	0,014	0,028	0,042	0,056	0,07	0,083	0,097	0,111	0,125	0,139	0,153	0,167	0,181	0,195
1,75-0,25	0,016	0,032	0,048	0,064	0,08	0,095	0,111	0,127	0,143	0,159	0,176	0,191	0,207	0,223
2,0-0,25	0,018	0,036	0,054	0,072	0,09	0,107	0,125	0,143	0,161	0,179	0,197	0,215	0,233	0,251
2,25-0,25	0,02	0,04	0,059	0,079	0,099	0,119	0,139	0,158	0,178	0,198	0,218	0,238	0,257	0,277
2,5-0,25	0,021	0,043	0,064	0,086	0,107	0,128	0,15	0,171	0,193	0,214	0,235	0,257	0,278	0,3
2,75-0,25	0,023	0,046	0,069	0,092	0,116	0,139	0,162	0,185	0,208	0,231	0,254	0,277	0,3	0,323
3,0-0,25	0,025	0,049	0,074	0,099	0,124	0,148	0,173	0,198	0,222	0,247	0,272	0,296	0,321	0,346
3,25-0,25	0,026	0,053	0,079	0,106	0,132	0,158	0,185	0,211	0,238	0,264	0,29	0,317	0,343	0,37
3,5-0,25	0,028	0,056	0,084	0,112	0,14	0,167	0,195	0,223	0,251	0,279	0,307	0,335	0,363	0,391
3,75-0,25	0,029	0,059	0,088	0,118	0,147	0,176	0,206	0,235	0,265	0,294	0,323	0,353	0,382	0,412

Например, определить дозу облучения, которую получит личный состав пожарно-спасательной части, принимающий участие в тушении пожара ( $K_{осл}=1$ ) на радиоактивно загрязненной местности в результате аварии АЭС, если  $P_{12.00}=0,05$  Зв/ч, время аварии АЭС  $t_{ав}=10,00$ , время прибытия (время начала облучения)  $t_{н}=10,25$ , время выхода из зоны заражения (время конца облучения)  $t_{к}=13,00$ .

Определяем  $P_1$  по формуле (2) с использованием данных табл. 1:

$$P_1 = P_2 * K_{2;1} = 0,05 * 1,32 = 0,066 \text{ Зв/ч};$$

$$t_k = 13,00 - 10,00 = 3 \text{ ч}; t_n = 10,25 - 10,00 = 0,25.$$

Используя исходные данные по табл. 2 определяем дозу облучения:

$$D = 1,66 * 0,066 (1,93 - 0,44) / 1 = 0,163 \text{ Зв}.$$

Дозу облучения ликвидаторов аварии на АЭС за время работы в течение одной смены (6 ч) с учетом различного времени прибытия в район радиационного заражения можно оперативно определить с помощью табл. 4.

Таблица 4. Значения возможных доз облучения (Зв) ликвидаторов аварии на АЭС за время работы в течение одной смены (6 ч) с учетом различного времени прибытия в район радиационного заражения ( $K_{осл}=1$ )

$\frac{P_{1,3\text{В/ч}}}{t_k^{0,6} - t_n^{0,6}}$	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,1	0,11	0,12	0,13	0,14
6,25-0,25	0,043	0,085	0,128	0,17	0,213	0,255	0,298	0,34	0,383	0,425	0,468	0,51	0,553	0,6
6,5-0,5	0,04	0,08	0,12	0,16	0,2	0,24	0,28	0,32	0,36	0,4	0,44	0,48	0,52	0,56
6,75-0,75	0,038	0,076	0,115	0,153	0,191	0,229	0,267	0,306	0,344	0,382	0,42	0,458	0,5	0,535
7-1	0,037	0,073	0,11	0,147	0,184	0,22	0,257	0,294	0,33	0,367	0,404	0,44	0,477	0,514
8-2	0,033	0,065	0,098	0,13	0,163	0,195	0,228	0,26	0,293	0,325	0,358	0,39	0,423	0,455
9-3	0,03	0,06	0,09	0,12	0,15	0,179	0,209	0,239	0,269	0,299	0,329	0,359	0,389	0,419
10-4	0,028	0,056	0,084	0,112	0,14	0,167	0,195	0,223	0,251	0,279	0,307	0,335	0,363	0,391
11-5	0,026	0,053	0,079	0,106	0,132	0,158	0,185	0,211	0,238	0,264	0,29	0,317	0,343	0,37
12-6	0,025	0,05	0,075	0,10	0,126	0,151	0,176	0,201	0,226	0,251	0,276	0,301	0,326	0,351

Например, определить дозу облучения личного состава за время работы в течении одной смены (6 ч), принимающего участие в ликвидации последствий аварии на АЭС, находящегося в зоне радиоактивного загрязнения с уровнем радиации  $P_1=0,06$  Зв/ч, если время начало работ 14.00, время аварии на АЭС 12.00.

Определяем  $t_n=14,00-12,00=2$ ,  $t_k=14,00+6-12,00=8$ .

По табл. 4, входя по 8–2 и 0,06 Зв/ч определяем дозу облучения  $D=0,195$  Зв.

Определение дозы излучения за перемещение по радиоактивно загрязненной местности можно определить по известной формуле [1]:

$$D = \frac{P_{срт} \cdot l_{зар}}{K_{осл} \cdot U},$$

где  $P_{срт}$  – средний уровень радиации на маршруте, приведенный на время подхода головы колонны к средней точке зараженного маршрута, рад/ч;  $l_{зар}$  – длина зараженного маршрута, км;  $U$  – скорость перемещения транспорта, км/ч.

Время подхода головы колонны к средней точке зараженного маршрута  $t_{ср}$  определяется как:

$$t_{ср} = t_{исх} + \frac{l_{зар}}{2 \cdot U} - t_{ав} \quad (5)$$

где  $t_{исх}$  – время начала движения с исходного рубежа, ч;  $t_{ав}$  – время аварии на АЭС.

Значение  $P_{срт}$  определяется по формуле:

$$P_{\text{срт}} = P_{1\text{ср}} * K_1, t_{\text{ср}}, \quad (6)$$

где  $P_{1\text{ср}}$  – усредненный уровень радиации на время 1 ч после аварии на всем участке радиоактивно загрязненного маршрута;  $K_1, t_{\text{ср}}$ , – значение коэффициента пересчета, определяемого по табл. 1.

Для оперативного определения дозы облучения за время перемещения по радиоактивно загрязненному маршруту в автомобилях ( $K_{\text{осл}}=2$ ) целесообразно воспользоваться табл. 5.

Таблица 5. Значения возможных доз облучения (мЗв) за время перемещения по радиоактивно загрязненному маршруту в автомобилях ( $K_{\text{осл}}=2$ )

$P_{\text{срт}}$ , мЗв/ч	$L_{\text{зар}}$ , км	5	10	15	20	25	30	35	40
5		0,3	0,6	0,9	1,2	1,5	1,8	2,1	2,4
		0,2	0,4	0,6	0,8	1	1,2	1,4	1,6
10		0,6	1,2	1,8	2,4	3	3,6	4,2	4,8
		0,4	0,8	1,2	1,6	2	2,4	2,8	3,2
15		0,9	1,8	2,7	3,6	4,5	5,4	6,3	7,2
		0,6	1,2	1,8	2,4	3	3,6	4,2	4,8
20		1,2	2,4	3,6	4,8	6	7,2	8,4	9,6
		0,8	1,6	2,4	3,2	4	4,8	5,6	6,4
25		1,5	3	4,5	6	7,5	9	10,5	12
		1	2	3	4	5	6	7	8
30		1,8	3,6	5,4	7,2	9	10,8	12,6	13,4
		1,2	2,4	3,6	4,8	6	7,2	8,4	9,6
35		2,1	4,2	6,3	8,4	10,5	12,6	14,7	16,8
		1,4	2,8	4,2	5,6	7	8,4	9,8	11,2
40		2,4	4,8	7,2	9,4	11,8	14,2	16,6	19
		1,6	3,2	4,8	6,4	8	9,6	11,2	12,8
45		2,7	5,4	8,1	10,8	13,5	16,2	18,9	21,6
		1,8	3,6	5,4	7,2	9	10,8	12,6	14,4
50		3	6	9	12	15	18	21	24
		2	4	6	8	10	12	14	16
55		3,3	6,6	9,9	13,2	16,5	19,8	23,1	26,4
		2,2	4,4	6,6	8,8	11	13,2	15,4	17,6
60		3,6	7,2	10,8	14,4	18	21,6	25,2	28,8
		2,4	4,8	7,2	9,6	12	14,4	16,8	19,2

Примечание: в числителе значения доз облучения при  $U=40$  км/ч; в знаменателе значения доз облучения при  $U=60$  км/ч

Например, определить дозу облучения, которую получит личный состав пожарно-спасательной части при преодолении участка радиоактивно загрязненной местности  $l=40$  км (едут в автомобилях  $K_{\text{осл}}=2$ ), со средним уровнем радиации на один час после аварии на АЭС на участке заражения  $P_{1\text{ср}}=71,5$  мЗв/ч, если время начала перемещения по радиоактивной загрязненной местности  $t_{\text{нач}}=14,00$ , скорость перемещения  $U=40$  км/ч, время аварии на АЭС  $t_{\text{ав}}=12,00$ .

По формуле (6) определяем  $P_{\text{срт}}$  при значении  $t_{\text{ср}}$ , определяемом по формуле (5):

$$t_{\text{ср}} = 14,00 + \frac{40}{2 \cdot 40} - 12,00 = 2,5 \text{ ч}, P_{\text{срт}2,5} = P_{1\text{ср}} * K_{1,2,5} = 71,5 * 0,7 = 50 \text{ мЗв/ч.}$$

По значению  $P_{\text{срт}2,5}=50$  мЗв/ч и  $l_{\text{зар}}=40$  км входим в табл. 5 и определяем дозу облучения  $D=24$  мЗв.

Представляет интерес определение допустимого времени пребывания личного состава подразделения пожарно-спасательной части на радиоактивно загрязненной территории  $T_{\text{доп}}$ , которое можно рассчитать по формуле:

$$T_{\text{доп}} = t_{\text{к доп}} - t_{\text{н}}, \quad (7)$$

где  $t_{\text{к доп}}$  – допустимое время конца пребывания людей на радиоактивно загрязненной местности, определяемой по формуле:

$$t_{\text{к доп}} = \left( \frac{D_{\text{доп}} \cdot K_{\text{осл}}}{1,66 \cdot P_1} + t_{\text{н}}^{0,6} \right)^{1,66}, \quad (8)$$

где  $t_{\text{н}}$  – время начала облучения, отсчитываемое от момента аварии, ч;  $D_{\text{доп}}$  – допустимая доза облучения, мЗв.

В целях оперативного определения  $T_{\text{доп}}$  и упрощения вычислений  $t_{\text{к доп}}$  (по возведению в степень 1,66 суммарного значения в скобках  $A$  формулы (8) целесообразно воспользоваться табл. 6.

Таблица 6. Значения величины  $A$  в степени 1,66

$A$	0,25	0,5	0,75	1,25	1,5	1,75	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5
$A^{1,66}$	0,1	0,32	0,62	1,45	1,96	2,53	3,16	4,58	6,19	8,0	9,99	12,14	14,46
$A$	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10	10,5	11	12
$A^{1,66}$	16,94	19,58	22,36	25,28	28,35	31,56	34,9	38,34	41,98	45,71	49,56	53,54	61,86

Примечание:  $A = \left( \frac{D_{\text{доп}} \cdot K_{\text{осл}}}{1,66 \cdot P_1} + t_{\text{н}}^{0,6} \right)$

Например, определить допустимое время пребывания личного состава подразделения пожарно-спасательной части на радиоактивно загрязненной территории, если  $t_{\text{н}}=1$  ч,  $D_{\text{доп}}=50$  мЗв,  $P_1=20$  мЗв/ч,  $K_{\text{осл}}=1$ .

Определяем значение  $A$  (примечание к табл. 6):

$$A = \left( \frac{50 \cdot 1}{1,66 \cdot 20} + 1^{0,6} \right) = 1,5,$$

тогда по табл. 6 определяем  $t_{\text{к доп}}=1,96$ .

Согласно формуле (7):

$$T_{\text{доп}} = 1,96 - 1 = 0,96 \text{ ч.}$$

Таким образом, используя приведенные выше таблицы, возможно, оперативно без использования компьютерных средств, провести оценку радиационной обстановки и выбрать целесообразный вариант действий ликвидаторов и населения в зонах радиоактивного загрязнения при аварии на АЭС, сводящий к минимальным радиационным потерям.

### Литература

1. Басманов О.М., Сердюк В.С. Оценка радиационной обстановки при аварии на АЭС: учеб. пособие. Омск, 2006.
2. Журавский М.С. Выявление и оценка радиационной обстановки при загрязнении радиоактивными веществами после аварии на АЭС: метод. указания к расчетно-графической работе. Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2012.
3. Оценка радиационной обстановки при аварии на АЭС: учеб. пособие. Н. Новгород: Нижегородский гос. техн. ун-т, 2010.
4. Савчук О.Н., Крейтор В.П. Безопасность жизнедеятельности. Прогнозирование последствий чрезвычайных ситуаций мирного времени: учеб. пособие. СПб.: С.-Петербур. ун-т ГПС МЧС России, 2017.

## References

1. Basmanov O.M., Serdyuk V.S. Ocenka radiacionnoj obstanovki pri avarii na AES: ucheb. posobie. Omsk, 2006.
2. Zhuravskij M.S. Vyyavlenie i ocenka radiacionnoj obstanovki pri zagryaznenii radioaktivnymi veshchestvami posle avarii na AES: metod. ukazaniya k raschetno-graficheskoj rabote. Sevastopol': Izd-vo SevNTU, 2012.
3. Ocenka radiacionnoj obstanovki pri avarii na AES: ucheb. posobie. N. Novgorod: Nizhegorodskij gos. tekhn. un-t, 2010.
4. Savchuk O.N., Krejtor V.P. Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti. Prognozirovaniye posledstvij chrezvychajnyh situacij mirnogo vremeni: ucheb. posobie. SPb.: S.-Peterb. un-t GPS MCHS Rossii, 2017.

# **РАСЧЕТ ОПАСНОСТИ ВЗВЕШЕННЫХ ЧАСТИЦ НА АВТОМАГИСТРАЛИ ТЕОРЕТИЧЕСКИМ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ СПОСОБОМ**

**Н.В. Невмержицкий, кандидат технических наук;  
С.В. Воронин, кандидат технических наук, доцент;  
И.Л. Скрипник, кандидат технических наук, доцент.  
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Проводится анализ автотранспорта, как источника загрязнения воздуха взвешенными частицами на основе расчетного метода мониторинга окружающей среды крупных автомагистралей и рядом находящихся с ними населенных пунктов. Проведенный расчет позволит оценить экологическую обстановку и разработать комплекс организационно-технических мероприятий по снижению загрязнения воздуха.

*Ключевые слова:* автотранспортное средство, вредные вещества, предельно-допустимая концентрация, частицы РМ-10, РМ-2,5, взвешенные частицы, автомагистраль

## **THE CALCULATION OF RISK WEIGHTED PARTICLES ON THE HIGHWAY THEORETICAL AND EXPERIMENTALLY**

**N.V. Nevmerzhitsky; S.V. Voronin; I.L. Skrypnyk.  
Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia**

The analysis of motor transport as a source of air pollution by suspended particles on the basis of the calculation method of environmental monitoring of major highways and nearby settlements is carried out. The calculation will assess the environmental situation and develop a set of organizational and technical measures to reduce air pollution.

*Keywords:* motor vehicle, harmful substances, maximum permissible concentration, particles РМ-10, РМ-2,5, suspended particles, highway

Вопросы вредного воздействия отработанных веществ (газов) на крупных автомагистралях приобретают актуальное значение. Это связано с повышением числа автотранспортных средств (АТС), особенно в крупных городах.

Атмосфера загрязняется не только отработавшими газами, но и взвешенными частицами (ВЧ), образующимися в результате движения автомобилей по автомагистралям [1].

Они имеют разное химическое происхождение и состав, поэтому для удобства классификации и расчета наносимого ими вреда их различают по размеру фракции. Самыми опасными являются ВЧ с размером РМ-10 и менее. В табл. 1 представлены их характеристики.

Для определения среднего значения содержания ВЧ в воздухе в Российской Федерации берутся результаты измерений в течение 20 мин. Этого вполне хватает для получения экспериментальных данных.

Проведенные исследования во многих крупных городах показывают, что ВЧ оказывают негативное воздействие на здоровье людей. Они имеют малый диаметр и проникают в торакальный отдел дыхательной системы, что приводит к развитию респираторных и сердечно-сосудистых заболеваний, обострению астмы, возникновению рака легких. Наиболее уязвимыми являются люди пожилого возраста и дети [2], поэтому снижение воздействия загрязненного воздуха на здоровье человека имеет первостепенное

значение. Необходимо совершенствовать процедуры мониторинга воздействия ВЧ на население в окрестностях крупных городов и автомагистралей.

Данные инструменты помогут оперативным службам быстро реагировать на сложившуюся экологическую ситуацию [3].

Для этого необходимо определить параметры источника ВЧ, образуемых при движении АТС, разработать математические модели, позволяющие получить информацию о превышении предельно допустимых концентраций (ПДК) опасных ВЧ.

Таблица 1. Характеристики ВЧ

Вещество (ВЧ)	Время осреднения	(ПДК) [мг/м <sup>3</sup> ]		
		Россия	США	Евросоюз
ВЧ РМ-10	20 мин	0,3	–	–
	24 ч	0,060	0,150 (ПДК < 1 раза за 3 года)	0,050 (ПДК < 35 раз в течение года)
	1 год	0,040	–	0,040
ВЧ РМ-2,5	20 мин	0,16	–	–
	24 ч	0,035	0,035 (98 % за 3 года)	–
	1 год	0,025	0,015 (средняя за 3 года)	0,025

На основе экспериментальных исследований распространения ВЧ можно спрогнозировать их дальнейшее поведение. Для этого используется теория атмосферной диффузии (уравнения турбулентной диффузии). Задача прогноза загрязнения воздуха может быть решена при исходных заданных начальных и граничных условиях с помощью дифференциального неоднородного уравнения.

Данная модель предусматривает загрязнение атмосферы от точечного, линейного, площадного источников. Также ее целесообразно применять и для маломощных источников образования ВЧ (выбросы от движения АТС).

По характерным размерам атмосферные движения делятся на три вида: крупномасштабные (циркуляция атмосферы); среднемасштабные (бризы, грозовые воздействия); локальные (местные влияния топографии и др.). Представленные материалы относятся к решению локальных задач [4].

Исходными данными для решения локальных задач рассматриваемого источника образования ВЧ являются:

- площадь поверхности образования ВЧ на автомагистрали (м<sup>2</sup>);
- продолжительность (эпизод) выделения ВЧ (с);
- плотность ВЧ в воздухе (г/см<sup>3</sup>);
- скорость ветра (м/с);
- плотность выпадения ВЧ в окрестностях автомагистралей (г/м<sup>2</sup>);
- радиус ВЧ (мкм) и др.

Дорожное полотно во время движения, ремонта дороги является источником непрерывной генерации ВЧ. Они формируются при соприкосновении колеса с дорогой и истирании дорожного полотна. Внутри потока движущихся АТС постоянно действуют турбулентные и вихревые воздушные потоки. Вынос ВЧ происходит с автомагистрали на жилые дома. Суммарная мощность ВЧ на автомагистрали складывается из всех источников поступления (истирание колодок, дорожного полотна, шин АТС, твердых ВЧ, антигололедных реагентов, сажи АТС) [5].

Все эти элементы имеют разные размеры, но большая их часть находится в диапазоне от 2,5 до 40 мкм, что позволяет с легкостью обходить защитные свойства организма и попадать внутрь, тем самым нанося непоправимый вред здоровью человека. Наиболее опасны мелкие частицы сажи, которые адсорбируют молекулы бенз(а)пирена и являются опасным канцерогенным и мутагенным веществом.

Методика решения локальной задачи предназначена для всех инициаторов ВЧ для автомагистралей городов, позволяет рассчитывать скорости их гравитационного оседания в воздухе для соответствующих размеров частиц [5, 6].

По полученным данным экспериментов о плотностях выпадений частиц за время  $t_{nA}$  на разном удалении от источника можно определить их концентрацию в воздухе.

Затем рассчитать значение суммарной массы частиц различных фракций и среднюю удельную сдуваемость ВЧ.

Для определения суммарной концентрации примеси ВЧ, а также параметров источника образования ВЧ выбран конкретный участок КАД, проходящий через жилые застройки, выбранный как наиболее неблагоприятный с точки зрения экологической ситуации [6].

На этом участке дороги средняя интенсивность движения в часы большого скопления АТС для легковых машин составляет 70 %, для грузовых машин 50 %, от максимально разрешенной скорости. Величина выбросов ВЧ дифференцирована по легковым и грузовым автомобилям и определяется природой их образования. В табл. 2 был произведен перерасчет выбросов грамм в секунду для последующего расчета концентраций [6].

Таблица 2. Характеристики источников ВЧ

Тип АТС	Средняя скорость при движении на КАД в часы пик		Итого
	легковые 80 км/ч	грузовые 50 км/ч	
Скорость проезда 1 км	45,04 сек.	72 сек.	
Источник	Скорость выбросов [w], гр/с	Скорость выбросов [w], гр/с	
Тормозные колодки	$3,5524 \cdot 10^{-5}$	0,000125	0,000160524
Выхлопные газы	0,000452931	0,001652778	0,002105709
Вторичное вовлечение пыли	0,00062167	0,002222222	0,002843892
Итого	0,001110124	0,004	0,001022025*

\* Итоговая скорость выброса ВЧ скорректирована под рассматриваемый участок дороги

Участок автомагистрали как источник образования ВЧ имеет следующие размеры: ширина проезжей части составляет 14,8 м длина 200 м (рис. 1).



Рис. 1. Участок автомагистрали

Определяется расход образования ВЧ, опасная скорость ветра и находится наибольшая суммарная концентрация ВЧ (табл. 3).

Таблица 3. Значения ВЧ

Обозначение	Значения	Ед. изм.
Ca	0,102950537	мг/м <sup>3</sup>
A	180	–
M	0,005110124	г/с
F	1	–
m	1,452805828	–
η	1	–
H	3	м

Исследования осуществлялись в период с августа 2017 г. по май 2018 г. Измерялась концентрация общего количества ВЧ размером РМ-10 гравиметрическим методом с использованием комбинированного полуавтоматического пылемера (рис. 2).

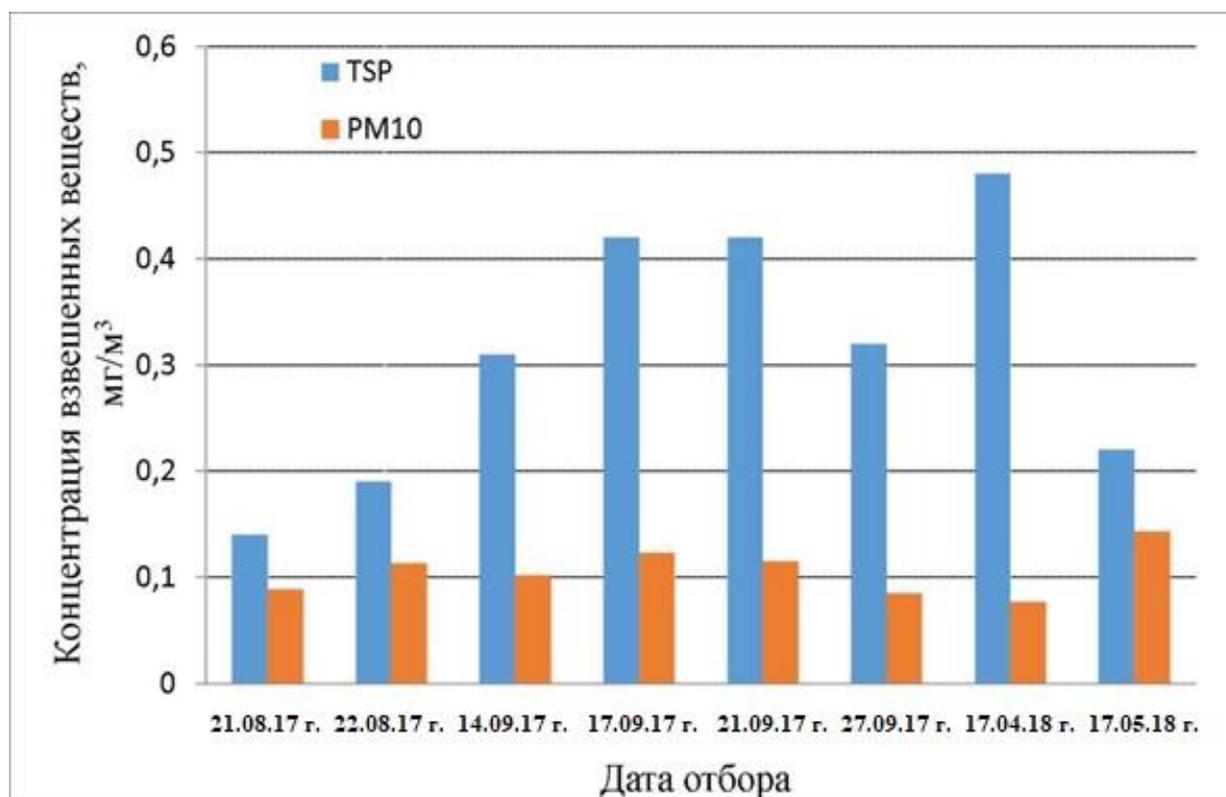


Рис. 2. Концентрации общего количества твердых взвешенных веществ (TSP) и мелкодисперсных частиц РМ-10 в воздухе около КАД

Погрешность измерительного и расчетного метода составляет менее 10 %. Она не будет значительно влиять на решение большинства практических задач. Поэтому данный метод можно применять для решения локальных задач по определению массы ВЧ РМ 10. При этом есть возможность получать исходные данные в дистанционном режиме. Такие как скорость потока АТС, соотношение грузового и легкового транспорта, скорость ветра, плотность застройки и др.

Экспериментальные данные, представленные на рис. 1, показывают, что при решении обратной задачи приведенным методом можно определить зависимость суммарной

концентрации ВЧ РМ-10 и массы вредного вещества (ВЧ), выбрасываемого в атмосферу в единицу времени (табл. 4, рис. 3).

Таблица 4. Значения ВЧ

№ эксперимента	1	2	3	4	5	6	7	8
Концентрация ВЧ в воздухе, Са, мг/м <sup>3</sup>	0,09	0,11	0,1	0,13	0,12	0,08	0,07	0,145
Мощность источников в единицу времени, М, г/с	0,004467	0,00546	0,004964	0,006453	0,005956	0,003971	0,003475	0,007197

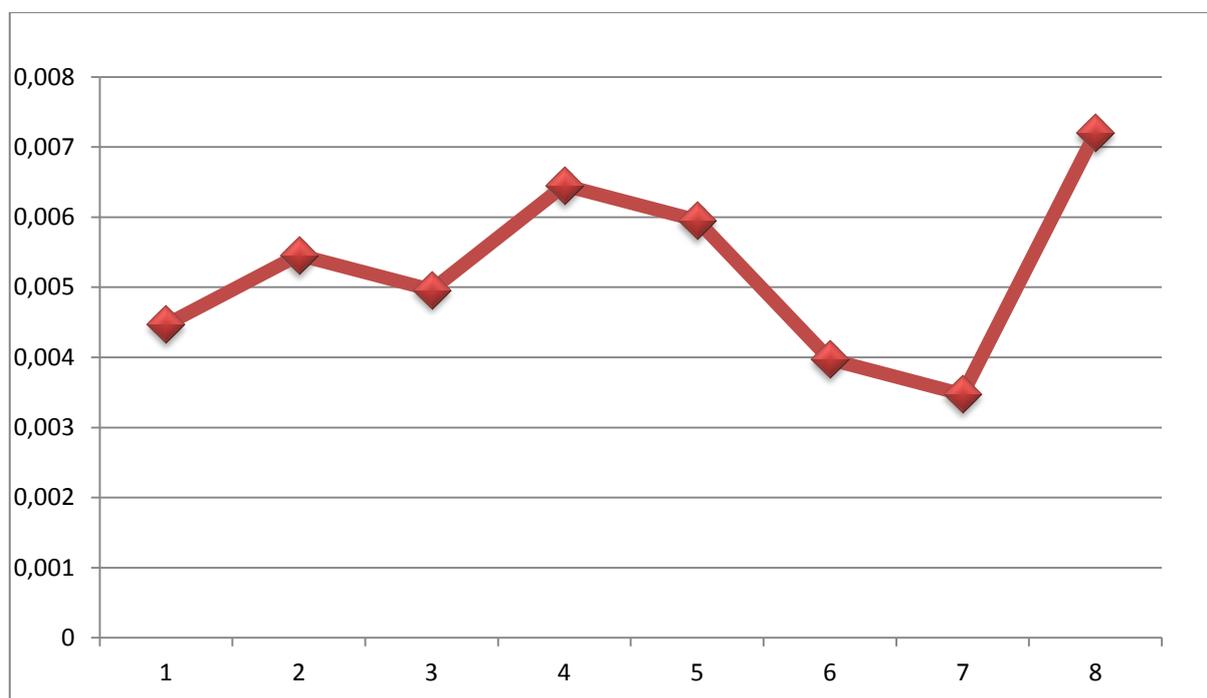


Рис. 3. Зависимость мощности источников за единицу времени от числа экспериментов

В настоящее время решение локальной задачи для определения характеристик образования ВЧ на автомагистралях является актуальной. ВЧ РМ<sub>10</sub> и РМ<sub>2,5</sub> считаются одним из опасных видов загрязнения воздуха. Учет источников их образования ВЧ и рассчитанные характеристики помогут спрогнозировать распространение опасной концентрации ВЧ в населенных пунктах, находящихся вблизи автомагистралей.

### Литература

1. Савельев Д.В., Скрипник И.Л. Вопросы контроля параметров двигателя внутреннего сгорания // Фундаментальные и прикладные разработки в области технических и физико-математических наук: сб. науч. статей по итогам работы V Междунар. «круглого стола». Казань: ООО «Конверт», 2018. С. 22–24.
2. Савельев Д.В., Скрипник И.Л., Воронин С.В. Экологическая обстановка в мегаполисах и ее влияние на уровень здоровья молодых людей // Вестник Международной академии наук экологии и безопасности жизнедеятельности. 2018. Т. 23. № 3. С. 61–64.
3. Савельев Д.В., Скрипник И.Л., Воронин С.В. Обеспечение безопасности населения от воздействия опасных экологических факторов и используемые при этом средства

защиты // Вестник Международной академии наук экологии и безопасности жизнедеятельности. 2018. Т. 23. № 3. С. 53–57.

4. Савельев Д.В., Скрипник И.Л. Технические решения в двигателе внутреннего сгорания, улучшающие экологическую обстановку // Вестник Международной академии наук экологии и безопасности жизнедеятельности. 2018. Т. 24. № 4. С. 35–39.

5. Ложкин В.Н., Грешных А.А., Ложкина О.В. Автомобиль и окружающая среда. Автомобильный транспорт как источник загрязнения воздушной среды. Проблемы и решения: справ.-метод. пособие. СПб.: НПК «Атмосфера», 2007.

6. Невмержицкий Н.В. Методика оценки и прогнозирования экстремального загрязнения воздуха на автомагистралях мелкодисперсными взвешенными частицами PM<sub>10</sub> и PM<sub>2.5</sub>: дис. ... канд. тех. наук. М., 2017. 155 с.

## References

1. Savel'ev D.V., Skripnik I.L. Voprosy kontrolya parametrov dvigatelya vnutrennego sgoraniya // Fundamental'nye i prikladnye razrabotki v oblasti tekhnicheskikh i fiziko-matematicheskikh nauk: sb. nauch. statej po itogam raboty V Mezhdunar. «kruglogo stola». Kazan': ООО «Konvert», 2018. S. 22–24.

2. Savel'ev D.V., Skripnik I.L., Voronin S.V. Ekologicheskaya obstanovka v megapolisah i ee vliyanie na uroven' zdorov'ya molodyh lyudej // Vestnik Mezhdunarodnoj akademii nauk ekologii i bezopasnosti zhiznedeyatel'nosti. 2018. T. 23. № 3. S. 61–64.

3. Savel'ev D.V., Skripnik I.L., Voronin S.V. Obespechenie bezopasnosti naseleniya ot vozdeystviya opasnyh ekologicheskikh faktorov i ispol'zuemye pri etom sredstva zashchity // Vestnik Mezhdunarodnoj akademii nauk ekologii i bezopasnosti zhiznedeyatel'nosti. 2018. T. 23. № 3. S. 53–57.

4. Savel'ev D.V., Skripnik I.L. Tekhnicheskie resheniya v dvigatele vnutrennego sgoraniya, uluchshayushchie ekologicheskuyu obstanovku // Vestnik Mezhdunarodnoj akademii nauk ekologii i bezopasnosti zhiznedeyatel'nosti. 2018. T. 24. № 4. S. 35–39.

5. Lozhkin V.N., Greshnyh A.A., Lozhkina O.V. Avtomobil' i okruzhayushchaya sreda. Avtomobil'nyj transport kak istochnik zagryazneniya vozduшной sredy. Problemy i resheniya: sprav.-metod. posobie. SPb.: NPK «Atmosfera», 2007.

6. Nevmerzchickij N.V. Metodika ocenki i prognozirovaniya ekstremal'nogo zagryazneniya vozduha na avtomagistralyah melkodispersnymi vzveshennymi chasticami PM<sub>10</sub> i PM<sub>2.5</sub>: dis. ... kand. tekh. nauk. M., 2017. 155 s.

# **ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЛЕКСНОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО АУДИРОВАНИЯ НА ОБЪЕКТАХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА ДЛЯ СНИЖЕНИЯ РИСКА КАСКАДНОГО РАЗВИТИЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ, СВЯЗАННЫХ С ПОЖАРАМИ**

**Л.А. Королева, кандидат технических наук, доцент;  
Г.К. Ивахнюк, доктор химических наук, профессор;  
С.А. Нефедьев, доктор военных наук, профессор.  
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Обоснована возможность каскадного развития чрезвычайных ситуаций на железнодорожном транспорте. Проведен анализ нарушений пожарной безопасности, предложена методика комплексного технологического аудирования объектов железнодорожного транспорта. Представлена процедура и протокол проведения аудирования системы управления пожарной безопасностью.

*Ключевые слова:* чрезвычайная ситуация, каскадное развитие, система управления пожарной безопасностью, аудирование, железнодорожный транспорт

## **THE USE OF COMPLEX TECHNOLOGICAL AUDITION ON OBJECTS OF RAILWAY TRANSPORT TO REDUCE THE RISK OF CASCADING DEVELOPMENT OF EMERGENCIES ASSOCIATED WITH FIRES**

L.A. Koroleva; G.K. Ivakhnyuk; S.A. Nefedev.  
Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

The possibility of cascade development of emergency situations in railway transport is substantiated. The analysis of fire safety violations is carried out, the technique of complex technological audition of objects of railway transport is offered. The procedure and protocol of fire safety management system audition are presented.

*Keywords:* emergency situation, cascading development, fire safety management system, audition, railway transport

Под каскадным развитием аварии понимается неблагоприятный сценарий ее развития, при котором (в связи с несовершенством систем защиты и (или) ошибочных действий персонала) возможно распространение поражающих факторов за пределы аварийного объекта и вовлечение новых опасностей в дальнейшее развитие аварии. На железнодорожном транспорте аварии могут развиваться по сложному сценарию, включающему различные типы развития событий.

Чрезвычайные ситуации (ЧС) на железнодорожном транспорте, как правило, имеют катастрофические последствия с большими человеческими жертвами. Например, 6 июля 2013 г. произошло крушение поезда в г. Ляк-Мегантик (Канада). Причиной стала неисправность ручного тормоза, в результате чего состав, сформированный из 70 цистерн с сырой нефтью, скатился с холма. Цистерны оторвались от локомотива и, набрав скорость, сошли с рельсов в центральной части города с населением около 6 000 чел. Произошло возгорание, за которым последовала серия из шести мощных взрывов, в результате центральная часть города была разрушена. Эвакуировано более 1,5 тыс. чел., 47 чел. погибли. Вылилось более 600 т нефти, около года занял процесс обеззараживания

территории. Техногенная ЧС в этом случае стала причиной биосоциальной, связанной с нарушением условий жизнедеятельности, угрозой животным и растениям.

Дерево событий возникновения и развития ЧС при перевозке пожаро-взрывоопасных грузов на железнодорожном транспорте представлено на рис. 1.

Каскадное развитие может инициироваться не только техногенными ЧС (рис. 2). Так, например, в результате землетрясения в Индийском океане огромные волны дошли до юго-западного побережья Шри-Ланки и уничтожили пассажирский поезд. Число погибших составило от 1 700 до 2 000 чел. Это была крупнейшая в мировой истории техногенная железнодорожная катастрофа, инициированная природной ЧС [1].

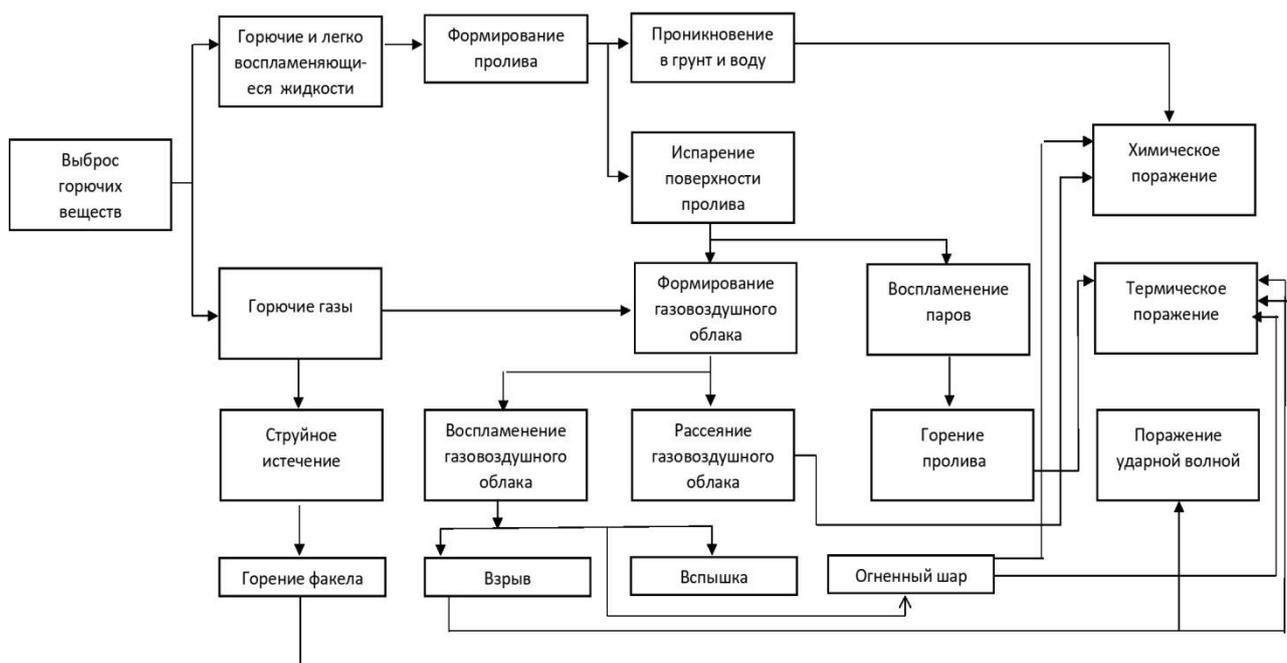


Рис. 1. Дерево событий возникновения ЧС при перевозке пожаровзрывоопасных грузов

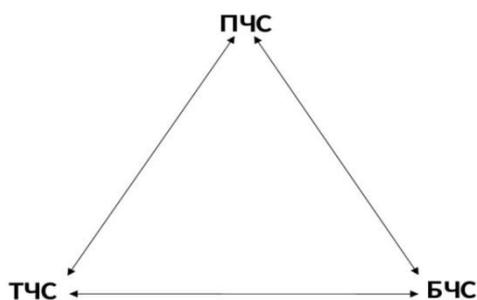


Рис. 2. Каскадный характер развития ЧС на железнодорожном транспорте (ТЧС – техногенные ЧС; БЧС – биосоциальные ЧС; ПЧС – природные ЧС)

Рассматривая статистику пожаров, можно констатировать, что основными причинами пожаров и взрывов на железнодорожном транспорте являются: неисправность оборудования, ошибки людей, неосторожное обращение с огнем.

Анализ осуществления профилактики пожаров на объектах и подвижном составе ОАО «РЖД» в 2018 г. [1] показывает, что на стационарных объектах наибольшее количество нарушений соответствует классам «Первичные меры пожарной безопасности, организационные вопросы и обеспечение деятельности пожарных подразделений» (41,72 %),

«Первичные средства пожаротушения» (16,03 %) и «Электрооборудование, электроустановки, электросети» (14,11 %) (табл. 1).

Таблица.1. Сведения о количестве нарушений требований пожарной безопасности (ПБ) по классам за 2018 г.

№ п/п	Класс требований ПБ	Количество нарушений	
		ед.	%
1	Лестницы, выходы и пути эвакуации людей	2 367	5,14
2	Огнестойкость и пожарная опасность строительных конструкций, ограничение распространения пожара за пределы очага	2 532	5,50
3	Первичные меры ПБ, организационные вопросы и обеспечение деятельности пожарных подразделений	19 202	41,72
4	Первичные средства пожаротушения	7 380	16,03
5	ПБ зданий и сооружений	789	1,71
6	Противопожарное водоснабжение	1 409	3,06
7	Противопожарное обучение, инструктажи, учения и тренировки	1 122	2,44
8	Системы автоматического пожаротушения, пожарной сигнализации, оповещения и управления эвакуацией людей	4 545	9,87
9	Системы коллективной защиты и спасения, средства индивидуальной защиты людей от опасных факторов пожара и самоспасания	17	0,04
10	Системы противодымной защиты, вентиляции и кондиционирования	171	0,37
11	Электрооборудование, электроустановки, электросети	6 493	14,11
	Итого	46 027	100,00

Количество неустраненных замечаний по предписаниям, выданным вневедомственной охраной (ФГП ВО ЖДТ РФ) за 2018 г., составило 48,38 % [2].

Одним из наиболее эффективных инструментов контроля в области ПБ является аудит.

Рассмотрев различные подходы [3–6], под внутренним аудитом будем понимать независимую контрольную деятельность, обеспечивающую реальную оценку работы экономического субъекта, на основании которой формируются мнения о результатах его деятельности в целом и по отдельным структурным подразделениям. Согласно современному подходу внутренний аудит должен охватывать не отдельные аспекты, а оценивать всю систему внутреннего контроля в различных функциональных областях. При этом внутренний аудит фокусируется на рисках [7].

Авторами проведено сопоставление эффективности и возможностей различных методик аудита, для чего использованы основные положения и методология системного анализа.

Рассмотрены принципы, цели, задачи, алгоритм проведения экологического аудирования (экологического аудита), заложенные в Приказе Госкомэкологии России от 30 марта 1998 г. № 181 «Об экологическом аудировании в системе Госкомэкологии России», Федеральном законе от 10 января 2002 г. № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» (с изменениями на 29 июля 2018 г.) [8], а также в стандартах ГОСТ Р ИСО серии 14000.

Железнодорожный транспорт признан одним из экологически эффективных видов транспорта в мире (рис. 2) [9].

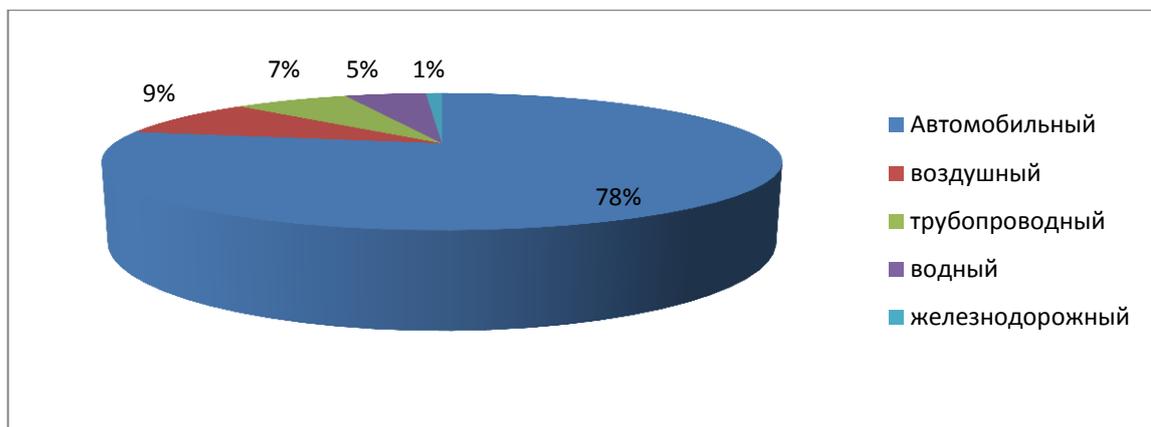


Рис. 2. Негативное воздействие видов транспорта на окружающую среду [9]

Однако многие предприятия железнодорожного транспорта не отвечают современным экологическим требованиям. Что относится, например, к отведению сточных вод и проблеме отходов (особенно отходов III класса опасности).

Термин «наилучшие доступные технологии» – НДТ («Best available techniques») – впервые рассмотрен Директивой Европейского Совета 96/61/ЕС от 24 сентября 1996 г. «О комплексном контроле и предотвращении загрязнения». Позднее он появился в российском законодательстве [8]. Целью применения НДТ является комплексное предотвращение или минимизация негативного воздействия на окружающую среду, увеличение эффективности использования сырья и энергоэффективности производства.

В справочнике по НДТ [10] особое внимание уделяется эксергетическому анализу, перспективному методу повышения энергетической эффективности и прогностической достоверности.

Анализ существующих методик технологического аудита позволил выделить методику технологического аудита, предложенную Г.А. Пильновым и другими [11], где рекомендуется учет влияния профессиональной подготовки кадров. Обучение рассматривается как одно из средств передачи технологии.

Определение расчетных величин пожарного риска для объектов железнодорожного транспорта осуществляли по методике [12].

Полученные в ходе анализа имеющихся методик выводы позволили синтезировать методику комплексного технологического аудирования объектов железнодорожного транспорта, позволяющую выявлять «узкие» места их функционирования и предложить эффективные решения по снижению пожарного риска (рис. 3).

Авторами разработана методика проведения аудирования системы управления ПБ (СУПожБ). СУПожБ – составная часть корпоративной системы управления в ОАО «РЖД», направленная на обеспечение ПБ объектов защиты [13].

Ниже рассмотрена процедура и протокол проведения внутреннего технологического аудирования СУПожБ на объектах железнодорожного транспорта.

Группа внутренних аудиторов оценивает выполнение требований СУПожБ на объекте, подлежащем проверке, по определенным конкретным вопросам. Вопрос не оценивается (н/о) в случае, если предмет вопроса не применяется на данном объекте.

За каждый вопрос протокола выставляется оценка н/о, 2, 4, 6, 8, 10. В табл. 2 приведена оценочная шкала.



Рис. 3. Блок-схема комплексного технологического аудирования для управления ПБ объектов железнодорожного транспорта

Таблица 2. Оценочная шкала

Баллы	Оценка
0	Работа по данному вопросу не проводится
2	Определена процедура/задокументирована, не выполняются определенные требования нормативных документов
4	Разработанная документация не доведена до причастных работников, не изучена в установленном порядке. Руководители не в полной мере выполняют свои должностные обязанности по обеспечению ПБ
6	Работники обучены мерам ПБ, применяют инструкции, нормы и правила по ПБ, технологии производства работ соответствуют требованиям ПБ, допускаются нарушения противопожарного режима, в отражении требований пожарной безопасности в документах имеются недостатки, требования отражены не в полном объеме
8	Создана и действует СУПожБ, определены оценочные показатели, ведется работа по контролю и анализу работы руководством, присутствуют незначительные отступления
10	Работа по данному вопросу проводится в полном объеме и полностью соответствует нормативным документам и (или) установленным требованиям
н/о	Не оценивается

Если оценка составляет менее 10 баллов, аудитор определяет и фиксирует признаки несоответствия требованиям. При выставлении общей оценки все вопросы протокола являются равнозначными.

Общая оценка рассчитывается следующим образом:

$$\text{Итоговая оценка} = \frac{\text{Общее количество баллов}}{\text{Количество вопросов, подлежащих оценке}} \cdot 100 \%$$

Оценочная шкала соответствия СУПожБ установленным требованиям приведена в табл. 3.

Таблица 3. Оценка соответствия СУПожБ

Итоговая оценка, %	Вывод о соответствии
95–100	Полностью соответствует
80–95	В основном соответствует
60–80	Частично соответствует
0–60	Не соответствует

Контрольные вопросы для внутренних аудиторов в разделе «Обучение руководителей и работников в области пожарной безопасности» приведены в табл. 4.

Таблица 4. Список вопросов для оценки соответствия СУПожБ объекта при проведении внутреннего аудирования в разделе «Обучение руководителей и работников в области пожарной безопасности»

Вопрос	Пояснения для внутреннего аудитора	Возможность на уровне управления (при возможности использования «+»)			Факты / Наблюдения  (заполняется внутренним аудитором)	Оценка в баллах (от 0 до 10)
		Центральном	региональном	локальном		
1	Пункт нормативного документа	3	4	5	6	7
<b>Обучение руководителей и работников по ПБ</b>						
1. Осуществляется ли контроль и учет за сроками обучения пожарно-техническому минимуму и проверкой знаний пожарно-технического минимума руководителей и работников объекта? «Тест-вопрос»	Подтверждается наличием графиков, данными о прохождении обучения пожарно-техническому минимуму. Результаты проверки знаний должны быть зарегистрированы в журнале обучения и оформлены в виде протокола заседания квалификационной комиссии	+	+	+		
2. Присутствуют ли случаи нарушения сроков обучения и проверки знаний пожарно-технического минимума?	Осуществляется выборочная проверка документов руководителей и протоколов проверки знаний работников	+	+	+		
3. Создана и аттестована ли установленным порядком квалификационная комиссия по проверке знаний работников, прошедших обучение пожарно-техническому минимуму?	Устанавливается наличие приказа о создании комиссии и документов, подтверждающих ее обучение и проверку знаний в установленном порядке	+	+	+		
4. Разработана ли и соответствует установленным требованиям программа проведения вводного инструктажа по ПБ с работниками?	Подтверждается наличием инструкции, ее соответствием установленным требованиям, проведением своевременной корректировки	+	+	+		

1	2	3	4	5	6	7
5. Осуществляется ли учет и контроль проведения вводного инструктажа по ПБ? «Тест-вопрос»	Подтверждается наличием графиков и журналов учета инструктажей, их своевременным заполнением	+	+	+		
6. Назначено ли лицо ответственное (или его замещающее) за проведение вводного инструктажа по ПБ?	Подтверждается наличием приказа и документами об обучении	+	+	+		
7. Оборудованы ли помещения для проведения вводного инструктажа? «Тест-вопрос»	Подтверждается наличием помещений и оборудование их необходимыми документами, макетами, оргтехникой и т.д.			+		
8. Соблюдены ли сроки проведения первичных, повторных, внеплановых и целевых инструктажей по ПБ с руководителями и работниками?	Проверяется выборочно на основе журналов инструктажей и из опроса работников	+	+	+		
9. Оборудованы ли на рабочих местах уголки (стенды) ПБ?	Подтверждается наличием уголков (стендов) по ПБ на рабочих местах	+	+	+		
10. Проводятся ли тренировки по отработке действий при эвакуации в случае пожара в зданиях с массовым пребыванием людей?	Подтверждается наличием графиков и планов проведения тренировок, справок по итогам тренировок	+	+	+		

Возможность каскадного развития ЧС, связанных с пожарами, зависит от уровня управления ПБ. СУПожБ может эффективно функционировать, если обеспечено ее непрерывное совершенствование, осуществляемое при постоянном анализе и оценке ее качества. Внутреннее аудирование является одним из прогрессивных инструментов системы управления ПБ.

### Литература

1. Крушение в Пералии. URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Крушение\\_в\\_Пералии](https://ru.wikipedia.org/wiki/Крушение_в_Пералии) (дата обращения: 03.04.2019).
2. Анализ осуществления профилактики пожаров на объектах и подвижном составе ОАО «РЖД» в 2018 году. М.: ФГП «ВО ЖДТ РФ, 2019. 23 с.
3. Использование работы внутренних аудиторов: Междунар. стандарт аудита 610 (пересмотренный, 2013 г.; введен в действие на территории Рос. Федерации Приказом Минфина России от 9 янв. 2019 г. № 2н). URL: [www.consultant.ru/document/](http://www.consultant.ru/document/) (дата обращения: 03.05.2019).
4. Международные основы профессиональной практики внутреннего аудита. Международные профессиональные стандарты внутреннего аудита (Стандарты). М.: НП «ИВА», 2017. 26 с.
5. Герасимова Ю.В. Внутренний аудит: понятие, задачи и необходимость постановки в современной компании // Академический вестник. 2008. № 4. С. 107–109.

6. ГОСТ Р ИСО 19011–2012. Руководящие указания по аудиту систем менеджмента. М.: Стандартинформ, 2018. 36 с.
7. Голубева А.Ю., Колесников В.В., Черевко Ю.Ю. Организация внутреннего аудита в Российской практике: проблемы и тенденции развития // Ученые записки Тамбовского отделения РоСМУ. 2017. № 8.
8. Об охране окружающей среды: Федер. закон от 10 янв. 2002 г. № 7-ФЗ (с изм. на 29 июля 2018 г.). URL: docs.cntd.ru/document/901808297 (дата обращения: 25.03.2019).
9. Экологическая стратегия ОАО «РЖД» на период до 2017 года и перспективу до 2030 года. URL: [http://doc.rzd.ru/doc/public/ru?id=6415&layer\\_id=510](http://doc.rzd.ru/doc/public/ru?id=6415&layer_id=510) (дата обращения: 05.05.2019).
10. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям. ИТС 48–2017. Повышение энергетической эффективности при осуществлении хозяйственной и (или) иной деятельности. URL: <http://docs.cntd.ru/document/456096365> (дата обращения: 06.06.2018).
11. Пильнов Г.А., Тарасова О., Яновский А. Как проводить экологический аудит // Практические руководства для центров коммерциализации технологий, 2006: Сер. метод. материалов. URL: <http://rinno.ru/library/commercialization/technology-audit.pdf> (дата обращения: 23.12.2018).
12. Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах: Приказ МЧС РФ от 10 июля 2009 г. № 404 (с изм. и доп.). URL: <http://base.garant.ru/196118/> (дата обращения: 31.12.2018).
13. Об утверждении стандарта ОАО «РЖД» «Система управления пожарной безопасностью в ОАО «РЖД». Основные положения: Распоряжение ОАО «РЖД» от 10 янв. 2014 г. № 13р. URL: docs.cntd.ru/document/1200102122 (дата обращения: 01.05.2019).

## References

1. Krushenie v Peralii. URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Krushenie\\_v\\_Peralii](https://ru.wikipedia.org/wiki/Krushenie_v_Peralii) (data obrashcheniya: 03.04.2019).
2. Analiz osushchestvleniya profilaktiki pozharov na ob'ektah i podvizhnom sostave ОАО «RZHD» v 2018 godu. М.: FGP «VO ZHDT RF, 2019. 23 s.
3. Ispol'zovanie raboty vnutrennih auditorov: Mezhdunar. standart audita 610 (peresmotrennyj, 2013 g.; vveden v dejstvie na territorii Ros. Federacii Prikazom Minfina Rossii ot 9 yanv. 2019 g. № 2n). URL: [www.consultant.ru/document/](http://www.consultant.ru/document/)(data obrashcheniya: 03.05.2019).
4. Mezhdunarodnye osnovy professional'noj praktiki vnutrennego audita. Mezhdunarodnye professional'nye standarty vnutrennego audita (Standarty). М.: NP «IVA», 2017. 26 s.
5. Gerasimova Yu.V. Vnutrennij audit: ponyatie, zadachi i neobhodimost' postanovki v sovremennoj kompanii // Akademicheskij vestnik. 2008. № 4. S. 107–109.
6. GOST R ISO 19011–2012. Rukovodyashchie ukazaniya po auditu sistem menedzhmenta. М.: Standartinform, 2018. 36 s.
7. Golubeva A.Yu., Kolesnikov V.V., Cherevko Yu.Yu. Organizaciya vnutrennego audita v Rossijskoj praktike: problemy i tendencii razvitiya // Uchenye zapiski Tambovskogo otdeleniya RoSMU. 2017. № 8.
8. Ob ohrane okruzhayushchej sredy: Feder. zakon ot 10 yanv. 2002 g. № 7-FZ (s izm. na 29 iyulya 2018 g.). URL: docs.cntd.ru/document/901808297 (data obrashcheniya: 25.03.2019).
9. Ekologicheskaya strategiya ОАО «RZHD» na period do 2017 goda i perspektivu do 2030 goda. URL: [http://doc.rzd.ru/doc/public/ru?id=6415&layer\\_id=510](http://doc.rzd.ru/doc/public/ru?id=6415&layer_id=510) (data obrashcheniya: 05.05.2019).
10. Informacionno-tekhnicheskij spravochnik po nailuchshim dostupnym tekhnologiyam. ITS 48–2017. Povyshenie energeticheskoy effektivnosti pri osushchestvlenii hozyajstvennoj i (ili) inoj deyatel'nosti. URL: <http://docs.cntd.ru/document/456096365> (data obrashcheniya: 06.06.2018).
11. Pil'nov G.A., Tarasova O., Yanovskij A. Kak provodit' ekologicheskij audit // Prakticheskie rukovodstva dlya centrov kommercializacii tekhnologij, 2006: Ser. metod.

materialov. URL: <http://rinno.ru/library/commercialization/technology-audit.pdf> (data obrashcheniya: 23.12.2018).

12. Ob utverzhdenii metodiki opredeleniya raschetnyh velichin pozharnogo riska na proizvodstvennyh ob"ektah: Priказ MCHS RF ot 10 iyulya 2009 g. № 404 (s izm. i dop.). URL: <http://base.garant.ru/196118/> (data obrashcheniya: 31.12.2018).

13. Ob utverzhdenii standarta OAO «RZHD» «Sistema upravleniya pozharnoj bezopasnost'yu v OAO «RZHD». Osnovnye polozheniya: Rasporyazhenie OAO «RZHD» ot 10 yanv. 2014 g. № 13r. URL: [docs.cntd.ru/document/1200102122](http://docs.cntd.ru/document/1200102122) (data obrashcheniya: 01.05.2019).

---

---

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

---

---

## МЕТОДИКА ИЗУЧЕНИЯ ЛЕТУЧИХ КОМПОНЕНТОВ НЕФТЕПРОДУКТОВ НА КОНТАКТЕ ПОЧВЫ С ВОЗДУШНОЙ СРЕДОЙ НА ОБЪЕКТАХ НЕФТЕГАЗОВОГО КОМПЛЕКСА

**М.И. Ведзижев;**

**М.А. Галишев, доктор технических наук, профессор;**

**Н.С. Тарасова.**

**Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Отработана методика сорбции паровой фазы нефтепродуктов из почвы в полевых и лабораторных условиях, а также методика их лабораторного изучения. Изучены летучие нефтяные компоненты, способные выделяться в газовую фазу из загрязненных почв. Для десорбции и концентрирования летучих нефтепродуктов использовался силикагель. Анализ проводили с применением фотоионизационного газоанализатора. Экстракты нефтепродуктов, извлекаемые с силикагеля, анализировались методом молекулярной люминесценции. Спектральный анализ экстрактов показал наличие в них углеводородов бензольного и нафталинового рядов.

*Ключевые слова:* почва, нефтяное загрязнение, фотоионизационные газоанализаторы, молекулярная люминесценция

## TECHNIQUE OF STUDYING OF FLYING COMPONENTS OF OIL PRODUCTS ON CONTACT OF THE SOIL WITH THE AIR ENVIRONMENT ON OBJECTS OF THE OIL AND GAS COMPLEX

M.I. Vedzizhev; M.A. Galishev; N.S. Tarasova.

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

In work the technique of sorption of a steam phase of oil products from the soil in field and laboratory conditions and also a technique of their spectral analysis is fulfilled. The flying oil components capable to be allocated in a gas phase from the polluted soils are studied. For a desorption and concoction of flying oil products silica gel was used. The analysis was carried out with application of a photoionization gas analyzer. The extracts of oil products extracted from silica gel were analyzed by method of a molecular luminescence. The spectral analysis of extracts showed availability of hydrocarbons in them benzene and naphthalenic ranks.

*Keywords:* soil, oil pollution, photoionization gas analyzers, molecular luminescence

Содержание нефтепродуктов в атмосферном воздухе строго регламентировано санитарно-гигиеническими требованиями [1]. Существуют стандартные методы определения загрязняющих веществ в воздухе [2]. Наличие и концентрация загрязняющих веществ в воздушной среде во многом связаны с постоянно действующими процессами их миграции из смежных природных сред. Наибольшее депонирующее влияние на состав приземного слоя

атмосферы оказывает почва. Состав загрязняющих веществ в воздухе приземной зоны не является стабильным показателем и требует постоянного наблюдения. Установлены нормы допустимого содержания токсичных веществ в почве, основанные на миграционных показателях [3]. Для почв введены четыре вида предельно допустимых концентраций (ПДК), базирующихся на различных путях поступления химических веществ из почвы в иные природные среды [4]. Один из этих показателей – показатель миграции химических веществ из почвы в приземный слой атмосферы (показатель миграционный воздушный –  $K_{ма}$ ), который устанавливается экспериментальным путем [5]. При этом определяют подпороговую концентрацию химических загрязнителей в почвах, которая соответствует наибольшему количеству загрязнителя, не оказывающего влияния на процессы поступления вредных веществ в атмосферу выше уровней ПДК для воздуха.

Мониторинг состояния приземного слоя атмосферы, проводимый на промышленных площадках предприятий нефтегазового комплекса, затрагивает, в основном, измерения содержания в воздухе загрязняющих компонентов нефтепродуктов, эмиссия которых происходит из резервуаров, трубопроводов, производственного оборудования. Он проводится при регламентном ходе производственного процесса, а также в условиях чрезвычайных ситуаций, связанных с авариями. Однако не только технологическое оборудование является источником загрязнения воздушной среды. На территориях нефтегазовых объектов могут происходить процессы, приводящие к накоплению в природной среде значительных количеств техногенных нефтепродуктов. В результате этого почвы на промышленных объектах могут оказывать существенное негативное влияние на состояние контактирующих с ними элементов природных сред, в том числе на приземный воздух. Поступление летучих нефтепродуктов из почвы в атмосферу не является стационарным процессом. При изучении процессов перераспределения загрязняющих компонентов между почвой и воздушной средой в первую очередь необходимо учитывать параметры атмосферы, такие как атмосферное давление, температуру, влажность, скорость ветровых потоков и т.д. Изменение этих параметров приводит к смещению динамического равновесия между находящимися в почве загрязняющими веществами и приземным слоем атмосферы. Невозможно с помощью прямых измерений учесть вклад в общее загрязнение воздуха на территории промышленного объекта миграционного воздушного показателя на фоне непосредственного поступления загрязняющих веществ из технологического оборудования. Как правило, устанавливаемые на промышленных площадках газоанализаторы замеряют суммарный объем воздуха. Заборные устройства таких датчиков размещаются вблизи конкретного оборудования и не в состоянии обеспечить полномасштабный контроль всей территории объекта. К тому же прямой анализ газов дает удовлетворительные результаты только в закрытых помещениях. Возможность анализа летучих компонентов нефтепродуктов на открытых территориях весьма ограничена.

Необходимо, в связи с этим, располагать данными по потенциально возможному поступлению летучих компонентов нефтепродуктов из почвы в атмосферу. Получить данные, на базе которых следует осуществлять контроль над состоянием воздушной среды при загрязнении нефтью и нефтепродуктами, можно путем проведения специальных экспериментальных исследований на лабораторных и природных моделях. При этом важно моделировать не только состояние воздушной среды, но и характеристики почвенного покрова. На процессы поступления из почвы в воздух вредных летучих компонентов неизбежно влияют тип и концентрация нефтепродукта. Не в меньшей степени характер протекания этих процессов зависит от генотипа почвы, ее физических свойств, таких как фазовый и механический состав, структура почвенных агрегатов, объем порового пространства.

Для почв установлено очень ограниченное число нормированных показателей содержания нефтепродуктов. Во многом это связано с тем, что любое природное почвенное образование содержит в тех или иных количествах органические компоненты, среди которых имеются углеводороды, сходные с углеводородами нефти. Сам термин «нефтепродукты»

в экологических исследованиях имеет неопределенный характер, введенный в связи с аналитической методикой их определения, поэтому в категорию «нефтепродуктов» при аналитических определениях могут попадать все, в том числе и природные органические компоненты почв.

Существуют методики определения допустимой концентрации химических веществ в почве по величине их миграции в атмосферный воздух (миграционный воздушный показатель) [6–8]. Экспериментальные исследования проводятся в специальных микроклиматических камерах или переоборудованных для этих целей тепловых камерах (термостатах).

В настоящей работе предметом исследования явилось изучение летучих нефтяных компонентов, способных выделяться в газовую фазу из загрязненных почв. Нефтепродукты, рассеянные весьма неравномерно в окружающей среде, являются подвижными и легко изменяемыми веществами. При их исследовании неизбежны артефакты, обусловленные условиями пробоотбора, хранения, транспортировки и пробоподготовки.

Имеется достаточное количество экспрессных аналитических приборов и методик для обнаружения летучих компонентов нефтепродуктов в воздухе. В тех отраслях промышленности, которые связаны с необходимостью контроля окружающей воздушной среды, часто используются газоанализаторы с индикаторными трубками, основанные на химическом (линейно-колориметрическом) способе анализа паров различных горючих жидкостей [9]. Воздух, прокачиваемый с помощью сифонного насоса через индикаторную трубку, детектируется фотоионизационным детектором. Индикаторные трубки изготавливаются в расчете на выявление паров различных индивидуальных компонентов или их смесей, в зависимости от типа сорбента, которым наполнена трубка. Среди нефтепродуктов это могут быть пары бензола, толуола, ксилолов, бензина и т.д. Наличие летучих компонентов конкретного нефтепродукта окрашивает индикатор в соответствующий цвет, а длина окрашенного участка индикаторной трубки пропорциональна концентрации паров данного компонента в воздухе. Нижний предел определения паров нефтепродуктов таким способом позволяет устанавливать наличие загрязнителей на уровне ПДК. Недостатком данного метода является недостаточная селективность и связанная с этим низкая идентификационная способность. Одна и та же индикаторная трубка может давать аналитический отклик на разные вещества, например относящиеся к одному гомологическому ряду. Она может в принципе давать цветную реакцию с парами родственного вещества, но в иных количественных соотношениях. Поэтому уверенно применять их можно только в случае заранее известного состава загрязняющих веществ на данном участке. Данный недостаток, в принципе, преодолим путем использования фильтрующих патронов с селективными поглотителями, пропускающими конкретный компонент и задерживающими мешающие анализу вещества. Но и этот путь не всегда оказывается возможным, скажем, на определение сероводорода мешающее влияние оказывают меркаптаны, селективная сорбция которых невозможна. При установленном значении ПДК сероводорода в воздухе рабочей зоны в смеси с углеводородами  $C_1-C_5$ , равном  $3 \text{ мг/м}^3$  [1], достоверность его определения становится сомнительной. Также индикаторные трубки, предназначенные для определения бензола, толуола, ксилолов, реагируют на пары насыщенных углеводородов.

В распоряжении аналитиков имеется и более совершенные газоанализаторы, использующие в качестве датчиков интеллектуальные сенсоры, снабженные цифровой индикацией. Наибольшим удобством и надежностью отличаются три типа сенсоров: электрохимические, термокаталитические, оптические (инфракрасные). С другой стороны, фотоионизационные датчики существенно проще в эксплуатации и сравнительно дешевы. В диапазон измеряемых ими компонентов входят все вещества, имеющие потенциал ионизации не более  $10,8 \text{ Эв}$ . В перечень определяемых ими компонентов входят различные классы органических соединений, среди которых предельные углеводороды не ниже бутана, ароматические углеводороды, алифатические спиртосодержащие соединения (альдегиды,

спирты, кетоны, простые и сложные эфиры, кислоты), олефины; амины и др. Наиболее легкие компоненты рассмотренных классов органических соединений имеют потенциал ионизации более 10,8 Эв и не фиксируются фотоионизационными детекторами. Не фиксируются также постоянные газы, легкие галогены фтор-, хлор- и бром- водороды.

Основные трудности при исследовании летучих компонентов нефтепродуктов состоят не в самом анализе, а в пробоподготовке, заключающейся в извлечении компонентов из воздуха и их концентрировании. Стадия концентрирования чаще всего является необходимой, поскольку часто приходится анализировать довольно низкие концентрации нефтепродуктов, находящихся на уровне ПДК, и для прямого определения углеводородных газов может не хватить чувствительности метода [10].

Отбор проб воздуха над изучаемым объектом может осуществляться методами, различающимися аппаратным оформлением, статическим или динамическим режимом отбора, использованием криогенных устройств или сорбентов для концентрирования. Проще всего извлечение летучих компонентов можно проводить в специальные контейнеры из стали, стекла, полимерных материалов. Емкость таких контейнеров составляет от 50 см<sup>3</sup> до 1 дм<sup>3</sup>. Для отбора и концентрирования проб часто используют пористые сорбенты, через которые прокачивают пробу воздуха. Такую процедуру можно осуществлять и на местах контроля [11, 12]. Сорбентами для концентрирования нефтепродуктов из воздуха могут использоваться пористые вещества с высокоразвитой поверхностью. В зарубежных разработках для этой цели чаще всего используют полимерный сорбент «тенакс», полимерные сорбенты серии порапак, хромсорбы серии 100. Следует учитывать, что с улучшением сорбционных свойств используемого сорбента одновременно с повышением эффективности сбора паров нефтепродуктов увеличивается сложность извлечения из него пробы для анализа. Используемые для этого повышенные температуры десорбции могут приводить к деструкции термически нестабильных соединений. Применение полимерных сорбентов может также приводить к появлению ложных аналитических сигналов из-за химического разложения полимеров [13]. В частности, в настоящей работе при использовании тенакса возникали определенные затруднения при десорбции компонентов нефтепродуктов, удовлетворительные результаты были достигнуты при использовании силикагеля АСК. Данный сорбент позволил производить эффективный отбор паров нефтепродуктов и проводить исчерпывающую термическую десорбцию изучаемых компонентов.

Были проведены испытания работы фотоионизационного газоанализатора. На заборный штуцер прибора с помощью тефлоновой трубки присоединялась пробирка с сорбентом АСК зернением 0,25–1 мм. Анализ паровой фазы нефтепродуктов проводился непосредственно на месте контроля с концентрированием на силикагеле АСК. Были выбраны следующие размеры пробирки с сорбентом: длина 34 мм, диаметр 6 мм. Для испытаний были выбраны толуол, гексан, ацетон и бензин АИ-92. В емкости объемом 2 дм<sup>3</sup> создавалась концентрация паров анализируемых компонентов на уровне ПДК в воздухе рабочей зоны. Проведенные расчеты показали, что для создания концентрации в пределах ПДК в объеме рабочей емкости потребовалось внести в нее 0,087 мкл толуола, 0,065 мкл гексана, 0,079 мкл ацетона, 0,5 мкл бензина АИ-92. Показания прибора для каждого вещества, после проведенных измерений, представлены в таблице.

Таблица. Результаты испытаний фотоионизационного газоанализатора

Наименование вещества	Объем вещества, мкл/2 дм <sup>3</sup>	Показания прибора		Относительное уменьшение показаний прибора, %
		без сорбента (ppm)	с сорбентом (ppm)	
Толуол	0,087	60,6	56,2	7,3
Гексан	0,065	82,8	62,0	25,1
Ацетон	0,079	37,6	36,2	3,8
Бензин АИ-92	0,5	23,6	15,4	34,7

Относительное уменьшение концентраций паров после присоединения пробирки с сорбентом является показателем эффективности сорбции компонентов на силикагеле. Результаты испытаний показали, что наилучшим образом выбранный сорбент поглощает пары автомобильного бензина. Плохо сорбируются пары ацетона. Извлечение летучих компонентов нефтепродуктов с сорбента проводилось методом жидкостной экстракции гексаном при комнатной температуре. Экстракты анализировались методом молекулярной люминесценции. Условия спектофлуориметрического исследования: спектрофлуориметр Флюорат-02 «Панорама», переменный угол сканирования при возбуждении от 240 до 480 нм, с регистрацией от 340 нм до 500 нм. Молекулярная люминесценция относится к наиболее чувствительным методам анализа нефтепродуктов. Ее использование позволяет анализировать компоненты в воздухе на уровне десятых и сотых долей мкг/г.

В полученных спектрах экстрактов сорбированных летучих компонентов нефтепродуктов доминирует максимум флуоресценции в диапазоне длин волн 300–310 нм, связанный с флуоресценцией углеводородов бензольного ряда. Это связано с тем, что в проведенных экспериментах изучались именно летучие компоненты нефтепродуктов. На большинстве спектров наблюдается также второй менее интенсивный максимум флуоресценции вблизи длины волны 340 нм, связанный с флуоресценцией нафталиновых углеводородов. Едва заметен на некоторых спектрах третий максимум в диапазоне 370–380 нм, доминирующий обычно в спектрах флуоресценции экстрактов самих объектов, содержащих следы нефтепродуктов. В настоящей работе отработана методика сорбции паровой фазы нефтепродуктов и легких растворителей с объектов носителей в полевых и лабораторных условиях, а также методика их лабораторного изучения. Методика испытана применительно к различным моторным топливам, при этом установлена степень сохранности автомобильных бензинов при их отборе в различных климатических условиях и с разных объектов носителей как в их исходном состоянии, так и после частичного испарения.

### **Литература**

1. ГОСТ 12.1.005–88. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. Доступ из эл. фонда «Техэксперт».
2. ГОСТ 12.1.016–79. Воздух рабочей зоны. Требования к методикам измерения концентраций вредных веществ. Доступ из эл. фонда «Техэксперт».
3. Добровольский Г.В., Шеремет Б.В., Афанасьева Т.В. Почвы. Энциклопедия природы России. М.: АБФ, 1998. 368 с.
4. ГОСТ 17.4.3.06–86. Охрана природы. Почвы. Общие требования к классификации почв по влиянию на них химических загрязняющих веществ. Доступ из эл. фонда «Техэксперт».
5. Методические рекомендации по гигиеническому обоснованию ПДК химических веществ в почве (по состоянию на июль 2011 г.). URL: <http://www.bestpravo.ru/sssrf/eh-normy/f3r.htm>. (дата обращения: 11.08.2019).
6. Гончарук Е.И., Сидоренко Г.И. Гигиеническое нормирование химических веществ в почве. Руководство. М.: Медицина, 1986. 320 с.
7. Методические рекомендации по гигиеническому обоснованию ПДК химических веществ в почве. М., 1982.
8. Способ оценки допустимой концентрации по миграционно-воздушному показателю вредности экзогенного химического вещества при его гигиеническом нормировании в торфяной почве: описание изобретения к патенту ВУ 13133 С1 2010.04.30. // База патентов Беларуси. URL: <http://byupatents.com> (дата обращения: 25.04.2019).
9. ГОСТ 12.1.014–84. Воздух рабочей зоны. Метод измерения концентраций вредных веществ индикаторными трубками. Доступ из эл. фонда «Техэксперт».
10. Другов Ю.С., Конопелько Л.А. Газохроматографический анализ газов. М.: Моимпекс, 1995. 464 с.

11. Клаптюк И.В. Методы отбора газовой фазы над объектом, изъятым с места пожара // Расследование пожаров: сб. ст. М.: ВНИИПО, 2005. С. 129–135.
12. De Haan J. Kirk's Fire Investigation, Brady Prentice Hall, USA, 1997.
13. Супина В. Насадочные колонки в газовой хроматографии. М.: Мир, 1977. 256 с.

### References

1. GOST 12.1.005–88. Obshchie sanitarno-gigienicheskie trebovaniya k vozduhu rabochej zony. Dostup iz el. fonda «Tekhekspert».
2. GOST 12.1.016–79. Vozduh rabochej zony. Trebovaniya k metodikam izmereniya koncentracij vrednyh veshchestv. Dostup iz el. fonda «Tekhekspert».
3. Dobrovol'skij G.V., Sheremet B.V., Afanas'eva T.V. Pochvy. Enciklopediya prirody Rossii. M.: ABF, 1998. 368 s.
4. GOST 17.4.3.06–86. Ohrana prirody. Pochvy. Obshchie trebovaniya k klassifikacii pochv po vliyaniyu na nih himicheskikh zagryaznyayushchih veshchestv. Dostup iz el. fonda «Tekhekspert».
5. Metodicheskie rekomendacii po higienicheskomu obosnovaniyu PDK himicheskikh veshchestv v pochve (po sostoyaniyu na iyul' 2011 g.). URL: <http://www.bestpravo.ru/sssr/eh-normy/f3r.htm>. (data obrashcheniya: 11.08.2019).
6. Goncharuk E.I., Sidorenko G.I. Gigienicheskoe normirovanie himicheskikh veshchestv v pochve. Rukovodstvo. M.: Medicina, 1986. 320 s.
7. Metodicheskie rekomendacii po higienicheskomu obosnovaniyu PDK himicheskikh veshchestv v pochve. M., 1982.
8. Sposob ocenki dopustimoy koncentracii po migracionno-vozdushnomu pokazatelyu vrednosti ekzogenного himicheskogo veshchestva pri ego higienicheskom normirovanii v torfyanoj pochve: opisanie izobreteniya k patentu BY 13133 C1 2010.04.30. // Baza patentov Belarusi. URL: <http://bypatents.com> (data obrashcheniya: 25.04.2019).
9. GOST 12.1.014–84. Vozduh rabochej zony. Metod izmereniya koncentracij vrednyh veshchestv indikatornymi trubkami. Dostup iz el. fonda «Tekhekspert».
10. Drugov Yu.S., Konopel'ko L.A. Gazohromatograficheskij analiz gazov. M.: Moimpeks, 1995. 464 s.
11. Klapyuk I.V. Metody otbora gazovoj fazy nad ob"ektom, iz"yatym s mesta pozhara // Rassledovanie pozharov: sb. st. M.: VNIPO, 2005. S. 129–135.
12. De Haan J. Kirk's Fire Investigation, Brady Prentice Hall, USA, 1997.
13. Supina V. Nasadochnye kolonki v gazovoj hromatografii. M.: Mir, 1977. 256 s.

---

---

# МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ТЕОРИИ УПРАВЛЕНИЯ СЛОЖНЫХ ПРОЦЕССОВ

---

---

## НЕЧЕТКО-МНОЖЕСТВЕННЫЙ ПОДХОД К ПОСТРОЕНИЮ РЕГРЕССИОННОЙ МОДЕЛИ

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

Рассмотрено использование аппарата нечетких множеств и нечеткой логики для построения регрессионной модели. Приведены результаты нечетко-множественного подхода к моделированию процесса построения регрессионной модели с использованием метода наименьших квадратов.

*Ключевые слова:* регрессионная модель, нечеткая логика, метод наименьших квадратов

## THE APPROACH OF FUZZY LOGIC TO CONSTRUCTION OF THE REGRESSION MODEL

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

This article presents the special feature of employment the fuzzy logic for construction of the regression model. The special feature of using a fuzzy logic with fuzzy membership functions.

*Keywords:* regression model, fuzzy logic, method of least squares

Методы математической регрессии решают задачу приближения заданной выборки данных  $(X_i, Y_i)$  некоторой функцией  $F(X_i)$  при условии минимизации ошибки  $|F(X_i) - Y_i|$ . Решение задачи регрессии сводится к подбору неизвестных параметров, определяющих зависимость  $F(X_i)$ . Задачи регрессии относятся к более общей задаче сглаживания данных. Существуют различные регрессионные модели, самой простой из которых является линейная регрессия, при которой приближение исходных данных  $(X_i, Y_i)$  осуществляется линейной функцией вида:

$$F(X_i) = A + B * X_i.$$

Более общей является полиномиальная регрессия, при которой приближение исходных данных  $(X_i, Y_i)$  осуществляется полиномом вида:

$$F(X_i) = A + B * X_i + C * X_i^2 + D * X_i^3 + \dots + N * X_i^k.$$

На практике обычно  $k < 7$ .

Для нахождения наиболее вероятных значений искомых параметров  $A, B, C, D \dots N$  функции  $F(X_i)$  часто используется метод наименьших квадратов, в основе которого лежит утверждение, что наиболее вероятными значениями искомых параметров будут такие значения, при которых сумма квадратов отклонений  $\varepsilon = (Y_i - F(X_i))$  будет минимальной:

$$\sum \varepsilon^2 = \sum (Y_i - F(X_i))^2 = \min.$$

Рассмотрим оценку параметров линейной регрессии  $F(X_i) = A + B \cdot X_i$ . Согласно методу наименьших квадратов для нахождения оценок параметров  $A$  и  $B$  нужно минимизировать функцию  $Z = \sum (Y_i - F(X_i))^2 = \sum (Y_i - A - B \cdot X_i)^2 \rightarrow \min$ . Для отыскания минимума функции  $Z$  найдем частные производные по  $A$  и  $B$ :

$$\partial Z / \partial A = -2 \cdot \sum (Y_i - A - B \cdot X_i) = 0; \quad \partial Z / \partial B = -2 \cdot \sum (Y_i - A - B \cdot X_i) \cdot X_i = 0.$$

Приравняв производные нулю, получим систему из двух уравнений:

$$N \cdot A + B \cdot \sum X_i = \sum Y_i; \quad A \cdot \sum X_i + B \cdot \sum X_i^2 = \sum (X_i \cdot Y_i);$$

где  $N$  – объем выборки данных.

Далее, решая систему методом последовательного исключения переменных, получим оценки параметров:

$$B = \text{cov}(X, Y) / \sigma_x^2 = [(X \cdot Y)_{\text{CP}} - X_{\text{CP}} \cdot Y_{\text{CP}}] / [(X^2)_{\text{CP}} - (X_{\text{CP}})^2]; \quad A = Y_{\text{CP}} - B \cdot X_{\text{CP}},$$

где  $\text{cov}(x)$  – ковариация;  $\sigma_x^2$  – дисперсия;  $X_{\text{CP}} = \sum X_i / N$ ;  $Y_{\text{CP}} = \sum Y_i / N$ .

Данные, используемые при регрессионном анализе, могут быть неточными или неоднозначными. Неопределенность исходных данных может вытекать из случайности или из нечеткости.

Классический четкий регрессионный анализ позволяет решать задачи обработки данных, представленных действительными числами. Однако на практике исходные данные могут быть представлены в лингвистическом виде, в виде булевых переменных или интервальных значений. Методы нечеткой регрессии могут использовать в качестве исходных данных как действительные числа, так и значения данных о принадлежности параметров определенным интервалам (лингвистическим термам), что существенно расширяет область применения нечеткой регрессии.

Методы нечеткой регрессии основаны как на теории вероятностей, так и на теории нечетких множеств. В настоящее время существует два подхода к учету неопределенности исходных данных при построении регрессионной математической модели. При вероятностном подходе для учета неопределенности используются случайные величины. При нечетко-множественном подходе для учета неопределенности используются нечеткие числа.

При первом вероятностном подходе целью использования случайных величин является включение в математическую модель множества значений неточных (неоднозначных) исходных данных и вероятностей этих значений. При втором нечетко-множественном подходе целью использования нечетких чисел является возможность учесть расплывчатость, неопределенность значений исходных данных. Эти два подхода к созданию регрессионной математической модели, вероятностный подход и нечеткий подход, успешно применяются во многих исследованиях, посвященных нечеткому регрессионному анализу. Модели нечеткой регрессии рассмотрены, например, в работах [1–3]. Метод наименьших квадратов при построении нечеткой регрессии упоминается, например, в работе [4].

В настоящем исследовании для построения регрессионной математической модели используется нечетко-множественный подход. В нечеткой регрессионной модели параметры представлены нечеткими числами. Учет неопределенности исходных данных происходит путем задания суммарного разброса параметров (нечетких коэффициентов) внутри нечеткого интервала. Предпосылкой методов нечеткой регрессии является то обстоятельство, что разность между значениями исходных данных и их оценками определяется не случайными ошибками измерений, а нечеткими параметрами регрессионной модели.

В основе теории нечетких множеств лежат понятия нечеткого числа (Fuzzy number) и нечеткого интервала (Fuzzy flat number). Нечеткое число является размытым множеством,

содержащим точное значение числа  $C$  и размытую область соседних значений, а также функцию принадлежности  $\mu$ , определяющую близость точного значения числа к соседним значениям, лежащим в заданном нечетком интервале  $[\alpha, \beta]$ .

При построении регрессионной математической модели наибольшее распространение получили треугольные и трапециевидные формы функций принадлежности, являющиеся кусочно-линейными функциями, не требующими больших объемов вычислений.

Такие функции принадлежности при увеличении значения аргумента сначала монотонно растут, достигая максимального значения, а затем монотонно уменьшаются. Такое поведение функций принадлежности позволило предложить общую структуру этих функций, названную LR-представлением. Функции принадлежности в LR-представлении связаны с нечеткими числами (L-R)-типа, которые часто используются в задачах математического моделирования [5].

Нечеткое число  $A$  является нечетким числом (L-R)-типа (L, Left – левый, R, Right – правый), если функция принадлежности такого числа может быть вычислена по формуле:

$$\mu(x) = L((m-x)/\alpha) \text{ при } x \leq m \text{ и } \mu(x) = R((x-m)/\beta) \text{ при } x \geq m,$$

где  $m$  – среднее значение или мода нечеткого числа;  $\alpha$  и  $\beta$  – левая и правая границы нечеткого интервала.

Функции  $L(x)$  и  $R(x)$  должны удовлетворять следующим условиям:  $L(-x) = L(x)$ ;  $R(-x) = R(x)$ ;  $L(0) = R(0) = 1$ .

Нечеткие числа (L-R)-типа задаются с использованием трех параметров:  $A = (m, \alpha, \beta)$ .

Треугольное нечеткое число  $A$  со средним значением в точке  $m$  и границами нечеткого интервала  $\alpha$  и  $\beta$  представлено на рис. 1 слева, а трапециевидное нечеткое число  $B$  с границами нечеткого интервала  $\alpha$  и  $\beta$  и интервалом толерантности  $[a, b]$  представлено на рис. 1 справа.

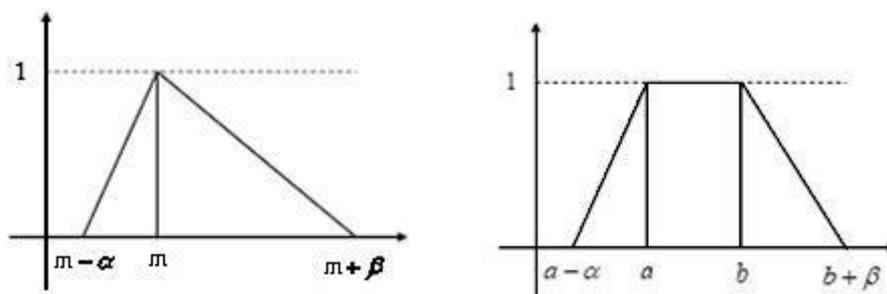


Рис. 1. Треугольное и трапециевидное нечеткие числа

Для треугольного нечеткого числа функция принадлежности может быть задана следующим образом:

$$\begin{aligned} \mu_A(x) &= 1 - (m-x)/\alpha, \text{ если } m-\alpha \leq x < m; \\ \mu_A(x) &= 1, \text{ если } x = m; \\ \mu_A(x) &= 1 - (x-m)/\beta, \text{ если } m < x \leq m+\beta; \\ \mu_A(x) &= 0, \text{ если } x < m-\alpha \text{ или } x > m+\beta. \end{aligned}$$

Для трапециевидного нечеткого числа функция принадлежности может быть задана следующим образом:

$$\begin{aligned} \mu_B(x) &= 1 - (a-x)/\alpha, \text{ если } a-\alpha \leq x < a; \\ \mu_B(x) &= 1, \text{ если } x \in [a, b]; \\ \mu_B(x) &= 1 - (x-b)/\beta, \text{ если } b < x \leq b+\beta; \\ \mu_B(x) &= 0, \text{ если } x < a-\alpha \text{ или } x > b+\beta. \end{aligned}$$

Пусть нечеткие данные содержат выборку  $(X_i, Y_i)$ , где  $X_i$  – независимая переменная,  $Y_i=(\mu, \alpha, \beta)$  – нечеткие числа. Будем использовать линейную регрессию, то есть решать задачу поиска регрессионной зависимости вида:  $F(X_i)=A+B*X_i$ , где  $A=(\mu_0, \alpha_0, \beta_0)$  и  $B=(\mu_1, \alpha_1, \beta_1)$  – искомые коэффициенты регрессии (нечеткие числа).

Для поиска неизвестных коэффициентов регрессии используем метод наименьших квадратов, который минимизирует функцию  $Z=\sum(F(X_i)-Y_i)^2$ . Так как величины  $Y_i$  и  $F(X_i)$  являются нечеткими числами, то функцию  $Z$  можно записать в следующем виде [3]:

$$Z=\sum[(\mu_0+\mu_1*x-\mu)^2+(\alpha_0+\alpha_1*x-\alpha)^2+(\beta_0+\beta_1*x-\beta)^2]\rightarrow\min.$$

После несложных преобразований можно получить зависимости для оценок параметров нечетких переменных [3]:

$$\mu_i=\text{cov}(x, \mu_Y)/\sigma_x^2; \alpha_i=\text{cov}(x, \alpha_Y)/\sigma_x^2; \beta_i=\text{cov}(x, \beta_Y)/\sigma_x^2,$$

где  $\text{cov}(x)$  и  $\sigma_x^2$  – выборочные ковариации и дисперсия переменной.

Ковариация может быть вычислена по формуле:

$$\text{cov}(x, \mu)=\sum(x*\mu)/n-[\sum(x)/n]*[\sum(\mu)/n].$$

### Регрессионная модель с использованием теории нечетких множеств

Компьютерная модель нечеткой регрессии была реализована в виде программы для ЭВМ, интерфейс которой представлен на рис. 2.

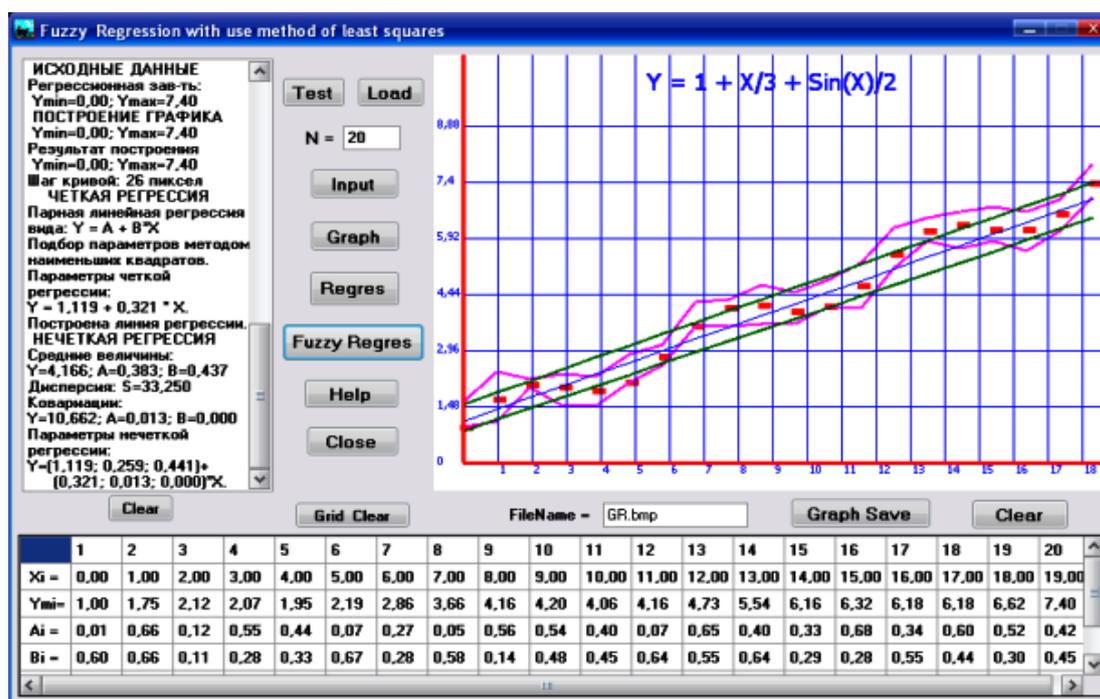


Рис. 2. Интерфейс программы нечеткой регрессии

Разработанная программа для ЭВМ позволяет моделировать процесс построения как четкой, так и нечеткой регрессионной модели. Рассмотрим пример парной линейной регрессии. В качестве исходных данных задается выборка  $(X_i, Y_i)$ , полученная с помощью зависимости:

$$Y_i=1+X_i/3+\text{Sin}(X_i)/2,$$

где  $X_i$  – независимая переменная (фактор) в виде четких вещественных чисел, величина  $Y_i=(\mu, \alpha, \beta)$  – зависимая переменная (результативный признак) в виде нечетких чисел.

Графическая интерпретация исходных данных в виде моды нечетких чисел  $\mu$  и границ нечеткого интервала  $\alpha$  и  $\beta$  представлена на рис. 3.

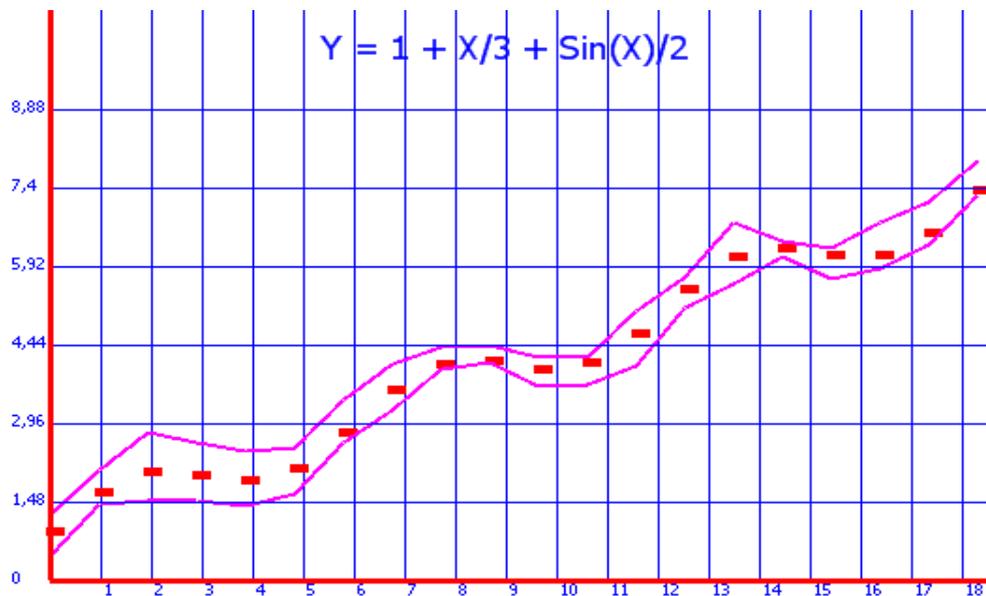


Рис. 3. Исходные данные: мода нечетких чисел (прямоугольники) и границы нечеткого интервала (линии)

Результат построения четкой регрессионной зависимости вида  $Y=A+B*X$  представлен на рис. 4.

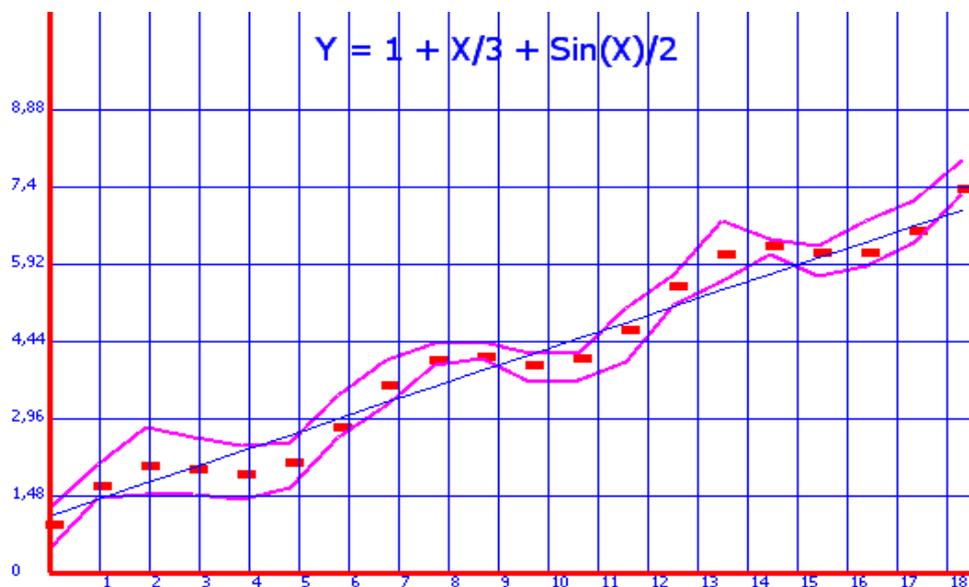


Рис. 4. Четкая регрессия вида:  $Y=A+B*X$  (прямая линия)

Результат построения нечеткой регрессионной зависимости вида  $Y=A(\mu_0, \alpha_0, \beta_0) + B(\mu_1, \alpha_1, \beta_1)*X$  представлен на рис. 5.

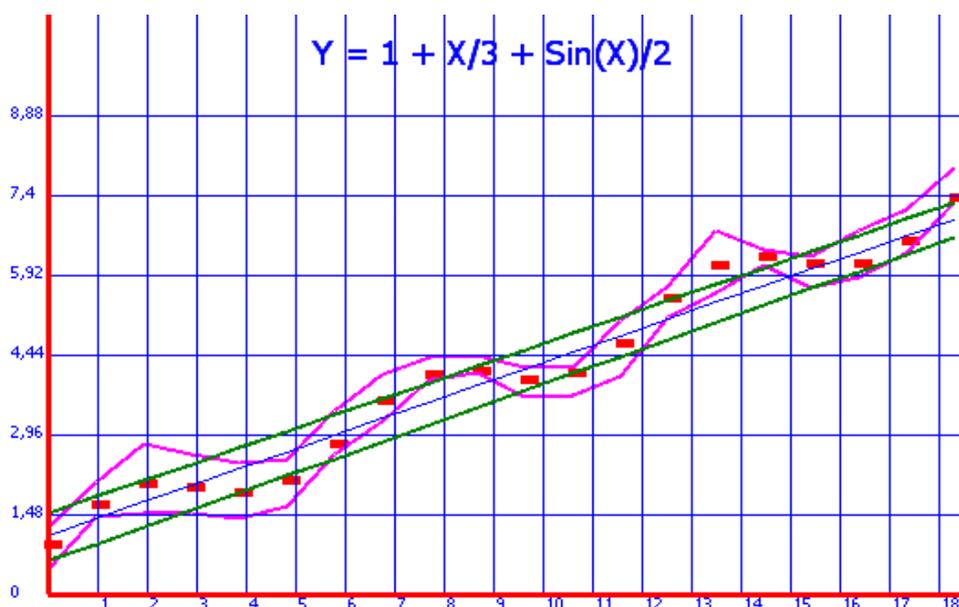


Рис. 5. Нечеткая регрессия в виде области, ограниченной двумя линиями регрессии  
 $Y_0=(\mu_0-\alpha_0)+(\mu_1-\alpha_1)*X$  и  $Y_1=(\mu_0+\beta_0)+(\mu_1+\beta_1)*X$

Использование теории нечетких множеств при построении регрессионной модели позволяет произвести оценку влияния неполных и неточных исходных данных. Моделирование с помощью методов нечеткой регрессии процесса приближения заданной выборки данных некоторой функцией происходит с заданием интервала возможных значений (интервала неопределенности) исходных данных. Поэтому в результате моделирования может быть получен диапазон возможных значений результативного признака (зависимой переменной) в зависимости от средних значений фактора (независимой переменной).

### Литература

1. Таранцев А.А. Нечеткие множества и регрессионный анализ // Автоматика и телемеханика. 1997. № 2.
2. Зак Ю.А. Принятие решений в условиях нечетких и размытых данных. М.: Либриком, 2013.
3. Сапкина Н.В. Нечеткий парный линейный регрессионный анализ // Вестник ВГУ. Сер.: Системный анализ. 2013. № 1.
4. Вельдяксов В.Н., Шведов А.С. О методе наименьших квадратов при регрессии с нечеткими данными // Экономический журнал. 2014. № 2.
5. Пегат А. Нечеткое моделирование и управление. М.: Бином, 2009.

### References

1. Tarancev A.A. Nechetkie mnozhestva i regressionnyj analiz // Avtomatika i telemekhanika. 1997. № 2.
2. Zak Yu.A. Prinyatie reshenij v usloviyah nechetkih i razmytyh dannyh. M.: Librikom, 2013.
3. Sapkina N.V. Nechetkij parnyj linejnyj regressionnyj analiz // Vestnik VGU. Ser.: Sistemnyj analiz. 2013. № 1.
4. Vel'dyaksov V.N., SHvedov A.S. O metode naimen'shih kvadratov pri regressii s nechetkimi dannymi // Ekonomicheskij zhurnal. 2014. № 2.
5. Pegat A. Nechetkoe modelirovanie i upravlenie. M.: Binom, 2009.

# МОДЕЛИ ИСПАРЕНИЯ СЖИЖЕННЫХ УГЛЕВОДОРОДНЫХ ГАЗОВ В РАСЧЕТЕ ИЗБЫТОЧНОГО ДАВЛЕНИЯ ВЗРЫВА

**А.А. Кузьмин, кандидат педагогических наук, доцент;**

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

**А.А. Пермьяков, кандидат педагогических наук.**

**Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Изучена связь между интенсивностью испарения сжиженных углеводородных газов, образовавшихся в результате пролива, и избыточным давлением взрыва паровоздушной смеси. Проанализированы математические модели, описывающие процесс испарения сжиженных углеводородных газов, учитывающие: скорость движения воздушного потока, омывающего свободную поверхность; теплопроводящие свойства материала подстилающей твердой поверхности; основные положения молекулярно-кинетической теории испарения, а так же соотношения между толщиной слоя разлившихся сжиженных углеводородных газов и высотой обвалования. Приведены результаты использования описанных моделей в расчете интенсивности испарения сжиженных углеводородных газов в сравнении с опытными данными.

*Ключевые слова:* сжиженные углеводородные газы, паровоздушная смесь, избыточное давление взрыва, интенсивность испарения, модель испарения, молекулярно-кинетическая теория испарения, число Нуссельта, число Рейнольдса

## LIQUEFIED HYDROCARBON GASES EVAPORATION MODELS IN THE CALCULATION OF EXCESS EXPLOSIVE PRESSURE

A.A. Kuzmin; N.N. Romanov; A.A. Permyakov.

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

We have investigated relation between the evaporation rate of liquefied petroleum gases resulting from spillage and the excessive pressure of the explosion of the vapor-air mixture. We analyzed mathematical models describing the process of liquefied petroleum gases evaporation, taking into account the air flow speed upon the free surface; the heat-conducting properties of the underlying solid surface material; the basic principles of the molecular-kinetic theory of evaporation, as well as the relations between the thicknesses of different of liquefied petroleum gases and height of embankment. We give results of using the described models in calculation of liquefied petroleum gases evaporation intensity in compare with experimental data.

*Keywords:* liquefied hydrocarbon gases, vapor-air mixture, excessive explosion pressure, evaporation rate, evaporation model, molecular kinetic theory of evaporation, Nusselt number, Reynolds number

Условия, которые могут возникнуть в результате пожара в производственном помещении, зависят в том числе, и от характера использования, переработки и хранения веществ.

На объектах, связанных с обращением сжиженных углеводородных газов (СУГ), в случае их утечки свободное пространство производственного помещения заполняется паровоздушной смесью (ПВС), которая, как правило, не находится в состоянии насыщения. Это может быть объяснено постоянным поступлением атмосферного воздуха в них в условиях пожара. Полностью насыщенный парами СУГ диффузионный слой ПВС наблюдается только непосредственно над поверхностью жидкой фракции.

При разработке и выполнении мероприятий по обеспечению пожарной и взрывной безопасности на объектах, связанных с обращением СУГ, большое значение имеет оценка пожарной опасности производства, которая учитывает, в том числе, и значение расчетного избыточного давления взрыва ПВС, которое определяется в соответствии с НПБ 105-03 [1] при помощи уравнения:

$$\Delta P = (P_{\max} - P_o) \frac{m \cdot z}{V_{св} \cdot \rho_{гн}} \cdot \frac{100}{C_{ст}} \cdot \frac{1}{K_n} \quad (1)$$

В уравнении (1), наряду с максимальным давлением взрыва стехиометрической ПВС СУГ в замкнутом объеме  $P_{\max}$ , начальным давлением  $P_o$ , коэффициента участия горючего во взрыве  $z$ , свободного объема помещения  $V_{св}$ , плотности пара или газа  $\rho_{гн}$ , стехиометрической концентрации объемных долей газовой смеси СУГ  $C_{ст}$ , коэффициента  $K_n$ , учитывающего негерметичность помещения и неадиабатичность процесса горения, присутствует переменная  $m$  как масса СУГ, попавших в результате аварии в помещение:

$$m = W \cdot F_u \cdot \tau,$$

где  $F_u$  – площадь испарения СУГ, м<sup>2</sup>;  $\tau$  – продолжительность процесса испарения, с.

Количество поступивших в производственное помещение веществ, способных образовывать взрывоопасные ПВС, определяют исходя, в том числе, из предпосылки, что происходит испарение с поверхности разлившихся СУГ. Поэтому выбор модели, описывающей процесс испарения СУГ с поверхности его пролива, играет решающую роль в оценке величины избыточного давления взрыва ПВС, поскольку его величина линейно зависит от интенсивности испарения СУГ.

Интенсивность испарения вещества с поверхности пролива СУГ в значительной степени определяется метеорологическими условиями и локальными особенностями местонахождения пролива, поэтому выбор адекватной модели испарения СУГ в случае локальной чрезвычайной ситуации на объектах нефтехимического комплекса является сложной задачей.

Величину интенсивности испарения СУГ  $W$ , кг/(с·м<sup>2</sup>) предлагается находить по справочным и экспериментальным данным. При отсутствии таковых используется эмпирическое уравнение:

$$W = 10^{-6} \eta \sqrt{\mu P_n},$$

где  $\eta$  – коэффициент, величина которого зависит от скорости  $U$  и температуры воздушного потока над поверхностью испарения СУГ и которая может колебаться в пределах 1÷10 в диапазоне скоростей до 1 м/с и также носит экспериментальный характер.

В работе [2] представлено полуэмпирическое уравнение, позволяющие оценить величину интенсивности испарения  $W$  в широком диапазоне значений скорости воздушного потока  $U$ :

$$W = (5,83 + 4,1U) \cdot 10^{-6} \sqrt{\mu P_n} \quad (2)$$

Первая модель испарения, которая описывается уравнением (2), предполагает, что интенсивность испарения  $W$  зависит, прежде всего, от скорости движения воздушного потока  $U$  и не зависит от термодинамических параметров жидкой компоненты СУГ. При этом в неподвижной среде эта составляющая оказывается близкой нулю. Кроме того, эмпирическое уравнение (2) не учитывает разницу в эффективности воздействия тепловых потоков подстилающей поверхности, на которую произошел разлив и омывающего воздуха

на процесс испарения СУГ. Указанные факторы снижают достоверность результатов расчета.

Более точные результаты в расчете избыточного давления, образующегося при взрыве ПВС, могут быть получены при переходе ко второй модели испарения, которая бы учитывала значения коэффициента теплопроводности материала подстилающей поверхности  $\lambda_{тв}$  и его коэффициента температуропроводности  $a_{тв}$ , величину молярной теплоты испарения  $L$ , а также температуру жидкой фазы СУГ  $T_{жс}$ :

$$W_{исп} = \left( \frac{M}{L} \right) \cdot (T_{жс} - T_o) \cdot \left( \frac{\lambda_{тв}}{\sqrt{\pi \cdot a_{тв}} \tau} + \frac{\alpha_{\epsilon} \cdot Nu}{d} \right). \quad (3)$$

В уравнении (3) число Нуссельта  $Nu = (\alpha_{\epsilon} \cdot d) / \lambda_{тв}$  характеризует процесс теплообмена между воздухом и жидкой фазой СУГ, при этом в качестве характерного линейного размера принимается эквивалентный диаметр поверхности испарения  $d$ .

Для СУГ тепловой поток твердой подложки идет на продолжение процесса кипения вытекшей жидкости, который является процессом нестационарным. Здесь со временем температура подложки  $T_o$  понижается, и интенсивность теплового потока падает, что влечет резкое снижение скорости испарения по истечении нескольких минут с момента разлива. При этом процесс испарения пролившегося СУГ за счет теплоотдачи воздуха по зеркалу разлива жидкой фракции СУГ является процессом стационарным, где плотность теплового потока уже зависит от разности температур воздушного потока и жидкости, которую во времени можно принять постоянной.

В работе [3] предлагаются критериальные уравнения, связывающие числа Нуссельта и Рейнольдса, при этом, если  $Re > 200$  применяют уравнение (4), в противном случае уравнение (5):

$$Nu = 2,45 \cdot \sqrt{Re}, \quad (4)$$

$$Nu = 2 \cdot \left( 1 + 0,8 \cdot Re^{2/3} \right). \quad (5)$$

Для поздних стадий испарения, то есть при достижении  $W_{исп}$  стационарных значений, первым слагаемым в третьей скобке формулы (3) можно пренебречь.

Принципиально иная третья модель испарения основана на совместном рассмотрении взаимосвязанных процессов перехода СУГ из жидкой в газовую фазу и переноса СУГ газовой фазы [4]. При этом интенсивность испарения на границе перехода СУГ из жидкой фазы в газовую описывается в соответствии с молекулярно-кинетической теорией испарения уравнением:

$$W_{зп} = W_{\max} \left( 1 - \frac{J_s}{J_v} \right),$$

где  $J_s$  – концентрация паров СУГ на границе раздела фаз;  $J_v$  – концентрация насыщенных паров СУГ;  $W_{\max}$  – максимальное значение интенсивности испарения, может быть определена уравнением:

$$W_{\max} = \rho_l \sqrt{\frac{R \cdot T_{жс}}{2\pi\mu}} \cdot \exp\left(-\frac{L}{R \cdot T_{жс}}\right),$$

где  $\rho_l$  – плотность жидкой фазы СУГ.

Поток СУГ от поверхности жидкой фазы может быть определен через уравнение массоотдачи:

$$W_\beta = \beta \cdot (J_s - J)$$

где  $\beta = \text{Nu} \cdot D/d$  – коэффициент массоотдачи, в котором:  $D$  – коэффициент молекулярной диффузии испаряемой фракции СУГ;  $J$  – текущая концентрация паровой фазы СУГ в воздухе.

Если предположить, что для стационарного или квазистационарного состояния СУГ соблюдается равенство  $W_{sp} = W_\beta$ , а так же  $J=0$ , то для рассматриваемой модели процесса испарения:

$$W = \frac{\beta \cdot J_v \cdot W_{\max}}{\beta \cdot J_v + W_{\max}}$$

Оценить величину коэффициента массоотдачи процесса испарения СУГ  $\beta$  можно на основе соответствующих критериальных уравнений. Если соблюдается условие  $Re > 200$ , то применяют уравнение (6), в противном случае уравнение (7):

$$Nu = 2,45 \sqrt{Re}; \tag{6}$$

$$Nu = 9,08(1 + 0,08 \cdot Re^{0,67}) \tag{7}$$

Как показывают многочисленные исследования [3], в том числе и на параметры процесса испарения влияет наличие обвалования, которое является наиболее распространенной мерой ограничения последствий аварии при разливе СУГ.

Формирование четвертой модели испарения предполагало наличие следующих допущений:

- процесс испарения СУГ ограничен диффузионным отводом образовавшихся при этом паров;
- испаряющиеся газообразные жидкие фракции СУГ по своим физическим свойствам однородны и изотропны;
- испарившиеся газообразные фракции СУГ можно считать идеальным газом;
- толщина слоя разлившихся СУГ мала по сравнению с высотой обвалования, что позволит учесть влияние набегающего воздушного потока, а так же возможное изменение его температуры по мере развития пожара при решении соответствующей системы дифференциальных уравнений в частных производных.

Интенсивность процесса испарения с поверхности разлива СУГ можно оценить на основе применения численных методов с поправкой на стефановский поток:

$$W = \frac{(J_{i,w} - J_{i,p}) \cdot \rho \cdot U}{K_s \cdot J_n},$$

где  $K_s$  – коэффициент, значение которого зависит от параметров стефановского потока.

Значение массовой доли паров СУГ  $J_n$  определяется молекулярными и турбулентными числами Шмидта  $Sc$  и  $Sc_t$  соответственно. Они, в свою очередь, зависят от соотношения расстояний по нормали от поверхности испарения до соседнего узла расчетной сетки  $y$  и до безразмерного расстояния, которое определяется до точки

пересечения линейного и логарифмического закона для половинной массовой доли СУГ в ПВС  $y_c$ : если  $y < y_c$ , то применимо уравнение (8), в противном случае уравнение (9):

$$J_n = \frac{Sc \cdot \rho \cdot U \cdot y}{\mu}, \quad (8)$$

$$J_n = \frac{Sc \cdot \rho \cdot (U + P_n) \cdot y}{\mu}. \quad (9)$$

Величина интенсивности испарения  $W$  является граничным условием при численном решении полной системы трехмерных нестационарных уравнений, которая включает: уравнение Рейнольдса, уравнение состояния идеального газа и стандартную  $k$ - $\varepsilon$  модель турбулентности.

Увеличение интенсивности испарения жидкой фазы СУГ при росте скорости воздушного потока обусловлено его последующей турбулизацией и, как следствие, увеличением доли турбулентного переноса газовой фазы с поверхности испарения СУГ. В ходе испарения жидкой фазы СУГ может наблюдаться отрицательное значение вертикального градиента плотности образовавшейся паровоздушной смеси над поверхностью испарения. При увеличении высоты обвалования, из-за увеличения массовой доли газовой фазы СУГ в ПВС, абсолютное значение градиента растет, что сопровождается явлением устойчивой стратификации и подавлением турбулентности потока, а не уменьшением интенсивности испарения СУГ.

Решение вопроса о применимости различных модельных представлений процесса испарения при проливе СУГ для расчета величины избыточного давления взрыва ПВС возможно на основе сравнения результатов численного моделирования с существующими экспериментальными данными для этилбензола, для достаточно широкого диапазона температур жидкой фазы вещества и скоростей омывающего поверхность испарения воздуха, представленными в работе [5].

Расчет величин интенсивности испарения  $W$  для различных моделей был проведен с использованием программного комплекса, состоящего из оболочки табличного процессора Microsoft Office Excel и семейства макросов, реализующего алгоритмы расчета интенсивности испарения СУГ на основе анализируемых моделей и выполненного на Visual Basic for Applications.

Результаты расчетов отображены в таблице.

Таблица. Зависимость интенсивности испарения СУГ от температуры жидкой фазы

Температура жидкой фазы, $T_{жс}$ , К	Интенсивность испарения, $W \cdot 10^4$ , кг/(с·м <sup>2</sup> )				
	модель 1	модель 2	модель 3	модель 4	эксперимент
273	9,8	4,05	7,45	6,41	5,12
323	10,4	6,64	8,95	7,28	7,34
373	11,9	8,04	9,46	8,56	9,42
423	12,3	9,82	10,97	10,02	11,01
473	12,7	11,40	13,48	11,50	13,12

Применимость предлагаемых моделей обусловлена возможными расхождениями между расчетными значениями и экспериментальными данными. Так для относительно небольших температур жидкой фазы СУГ, характерных для начальной стадии аварии, связанной с проливом, наиболее адекватное описание процесса испарения дает модель, учитывающая процессы теплообмена между жидкой фазой СУГ и материалом подстилающей поверхности разлива, а также модель, учитывающая влияние конструктивных решений, связанных с ограждениями площади возможного разлива СУГ. По мере развития

пожара происходит рост температуры жидкой фазы разлившихся СУГ. Поэтому для этой стадии более адекватным представляется использование в расчетах величины избыточного давления модели испарения, основанной на молекулярно-кинетической теории.

Интенсивность испарения разлившихся СУГ зависит так же и от подвижности омывающего наружную поверхность жидкой фазы. Результаты расчетов интенсивности испарения СУГ от скорости омывающего потока воздуха для различных моделей испарения представлены на рисунке.

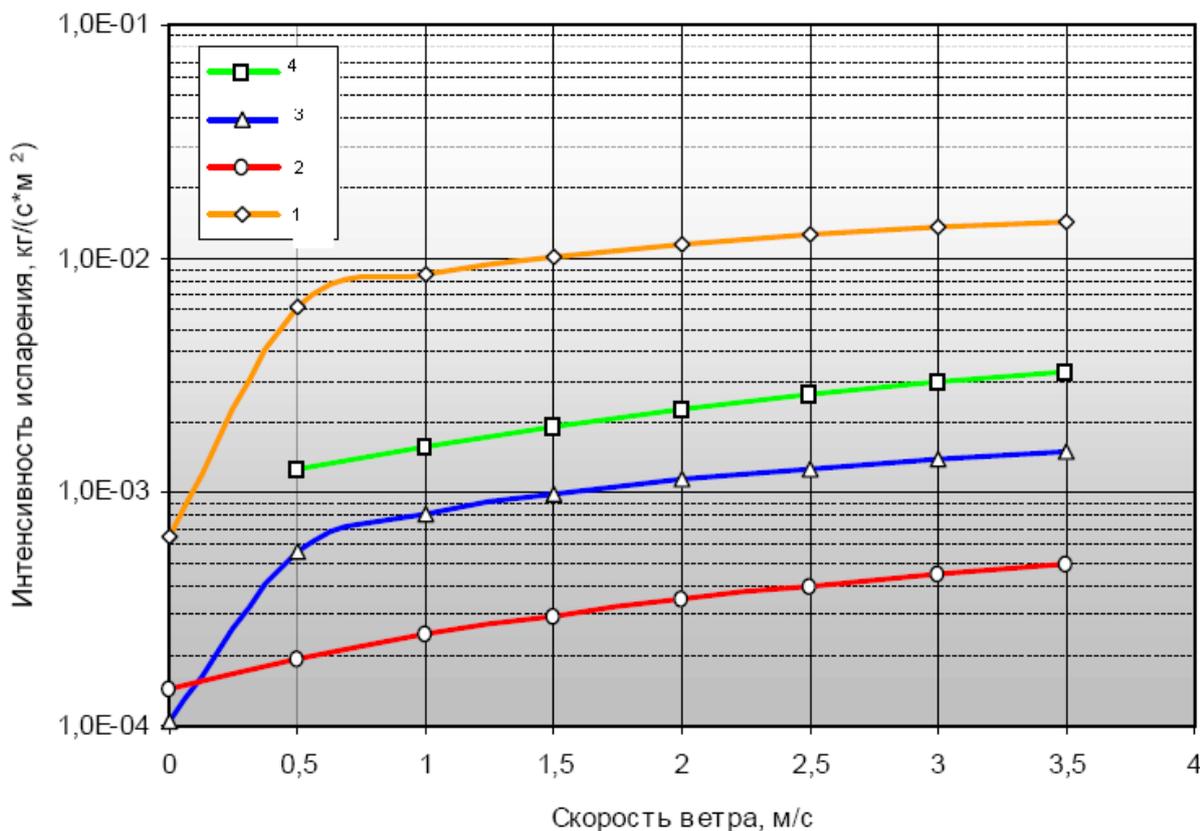


Рис. Зависимость интенсивности испарения СУГ от скорости омывающего потока воздуха для различных моделей

Кривые испарения СУГ иллюстрируют значительные различия в результатах, полученных для различных моделей, а также сильное влияние на процесс испарения жидкой фазы пролива скорости набегающего воздушного потока.

Анализ результатов применения моделей, основанных на молекулярно-кинетической теории и не учитывающей термодинамических параметров жидкой фазы, дает возможность утверждать, что зависимость интенсивности испарения СУГ от скорости набегающего потока воздуха носит нелинейный характер и складывается из двух стадий: стадии возрастающей интенсивности при скоростях воздуха до 0,5 м/с, стадии стабилизации при превышении скорости потока этой величины, что вполне согласуется с экспериментальными данными, представленными в работе [5]. Для модели, учитывающей процессы теплообмена между жидкой фазой СУГ и материалом подстилающей поверхности разлива, зависимость интенсивности испарения СУГ от скорости набегающего потока воздуха носит линейный характер.

Таким образом, в настоящий момент существующие модели не в полной мере отражают характеристики реальных физических процессов, протекающих при испарении СУГ при их разливе. Поэтому при расчете избыточного давления ПВС, которое образуется в результате испарения СУГ при ее разливе в зависимости от возможной скорости набегающего потока воздуха и конструктивных мер, препятствующих увеличению площади

разлива, целесообразно варьировать модели, применяемые при определении интенсивности испарения СУГ.

### **Литература**

1. НПБ 105-03. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности. Доступ из информ.-правового портала «Гарант».
2. Методика оценки последствий химических аварий (Методика «Токси». Редакция 2.2). Согласована Госгортехнадзором России письмом от 3 июля 1998 г. № 10-03/342. Доступ из информ.-правового портала «Гарант».
3. О некоторых закономерностях испарения и горения сжиженных газов / В.Ф. Комов [и др.] // Пожарная техника и тушение пожаров. 1973. № 10. С. 18–22.
4. Белов П.Г. Моделирование опасных процессов в техносфере. М.: Изд-во Акад. гражданской защиты МЧС РФ, 1999. 124 с.
5. Brighton p.w.m. // J. Hazardous materials. 1990. V. 23. № 2. P. 215–219.

### **References**

1. NPB 105-03. Opredelenie kategorij pomeshchenij, zdaniy i naruzhnyh ustanovok po vzryvopozharnoj i pozharnoj opasnosti. Dostup iz inform.-pravovogo portala «Garant».
2. Metodika ocenki posledstvij himicheskijh avarij (Metodika «Toksi». Redakciya 2.2). Soglasovana Gosgortekhnadzorom Rossii pis'mom ot 3 iyulya 1998 g. № 10-03/342. Dostup iz inform.-pravovogo portala «Garant».
3. O nekotoryh zakonomernostyah ispareniya i goreniya szhizhennyh gazov / V.F. Komov [i dr.] // Pozharnaya tekhnika i tushenie pozharov. 1973. № 10. S. 18–22.
4. Belov P.G. Modelirovanie opasnyh processov v tekhnosfere. M.: Izd-vo Akad. grazhdanskoj zashchity MCHS RF, 1999. 124 s.
5. Brighton p.w.m. // J. Hazardous materials. 1990. V. 23. № 2. P. 215–219.

# **МОДЕЛИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ВЕНТИЛЯЦИИ ВЗРЫВООПАСНЫХ ПОМЕЩЕНИЙ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ЦЕХОВ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

**Г.Л. Шидловский, кандидат технических наук, доцент.**

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

**Н.Н. Северин, доктор педагогических наук, профессор.**

**Белгородский юридический институт МВД России им. И.Д. Путилина.**

**В.В. Шаптала, кандидат технических наук, доцент.**

**Белгородский государственный технологический университет**

**им. В.Г. Шухова**

Разработана математическая модель и метод расчета вентиляции пожаровзрывоопасных помещений гальванических цехов. Исследован аварийный режим работы вытяжной общеобменной вентиляции. Рассмотрен численный метод расчета распределения концентрации водорода во внутреннем объеме помещения.

*Ключевые слова:* гальваническое производство, пожаровзрывоопасное помещение, аварийная вентиляция, распределение концентрации водорода

## **MODELING AND CALCULATION OF VENTILATION OF HAZARDOUS AREAS GALVANIC SHOPS OF MACHINE-BUILDING ENTERPRISES**

G.L. Shidlovskij. Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia.

N.N. Severin. Belgorod law institute of the Ministry of internal affairs of Russia they I.D. Putilin.

V.V. Shaptala. Belgorod state technological university they V.G. Shukhov

The mathematical model and method of calculation of ventilation of fire-dangerous rooms of galvanic shops is developed. Emergency operation of operation of the exhaust all-exchange ventilation is investigated. The numerical method of calculation of distribution of concentration of hydrogen in the internal volume of the room is considered.

*Keywords:* galvanic production, fire-dangerous room, emergency ventilation, distribution of concentration of hydrogen

В машиностроении широко применяется гальванический способ нанесения на детали машин и механизмов декоративно-защитных металлических покрытий. Некоторые технологические процессы получения таких покрытий (травление, хромирование, меднение, воронение и др.) сопровождаются выделением атомарного водорода [1], который образует с воздухом пожаровзрывоопасные смеси. Нижний концентрационный предел взрываемости таких смесей равен  $C_1=4,1$  объемных процента. Предельно допустимая взрывобезопасная концентрация водорода в производственных помещениях равна  $10\% C_1$  [2]. В помещениях гальванических цехов аварийных залповых выбросов водорода не бывает, но и постепенное распределенное выделение образующегося в результате химических реакций водорода приводит к поступлению в помещение больших его объемов, достигающих сотен  $\text{м}^3/\text{ч}$ . Расчеты [3] показывают, что при взрыве таких количеств водорода в помещениях ванн даже больших размеров развиваются избыточные давления, превышающие 5 кПа. Поэтому помещения ванн гальванических цехов по своей взрывопожарной опасности относятся к категории А и должны удовлетворять всем требованиям взрывопожаробезопасности, предъявляемым к таким помещениям [4–6]. Одной из мер взрывопожарозащиты помещений с выделением горючих газов является устройство вентиляции [4, 5, 7, 8] как основной,

включающей в себя местную вытяжную и общеобменную вентиляции, так и аварийную вентиляцию как средство ограничения поступления в помещения горючих газов и снижение их концентраций до безопасного уровня. Функцию аварийной вентиляции могут выполнять достаточно мощные вытяжные устройства общеобменной вентиляции при их оснащении системой автоматического включения при срабатывании газовых анализаторов или сигнализаторов в случае возникновения опасных концентраций водорода [5, 8, 9].

Изменение содержания водорода в помещении может быть описано следующим уравнением [10, 11]:

$$\Delta VC = (G\Delta t - L_o C \Delta t - C_{mo} L_{mo} \Delta t + L_n C_n \Delta t), \quad (1)$$

где  $V$  – свободный объем помещения ванн;  $C$  – объемная концентрация водорода;  $G$  – объемная интенсивность выделения водорода из гальванических ванн,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $L_o$  – объемный расход воздуха, удаляемого общеобменной или аварийной вентиляцией;  $L_{mo}$  – объемный расход воздуха, удаляемого местными (преимущественно бортовыми) отсосами [1];  $C_{mo}$  – объемная концентрация водорода в воздухе, удаляемом местными отсосами;  $L_n$  – объемный расход приточного воздуха, то есть наружного воздуха, подаваемого механическим образом или поступающего неорганизованно через проемы и неплотности ограждений помещения для компенсации удаляемого воздуха;  $C_n$  – концентрация водорода в приточном воздухе. При определенных значениях величин, входящих в правую часть уравнения (1), она обращается в 0. В этом случае изменение объема водорода в помещении прекращается и возникает установившееся стационарное газовое состояние помещения. Для определения условий его возникновения, а также стационарного значения концентрации водорода, уравнение (1) следует дополнить уравнением материального баланса вентиляционного воздуха [11]:

$$G\Delta t - L_o C \Delta t - C_{mo} L_{mo} + L_n C_n \Delta t = 0; \quad (2)$$

$$(L_o + L_{mo}) \cdot \rho_y = L_n \cdot \rho_n, \quad (3)$$

где  $\rho_y, \rho_n$  – плотности воздуха в помещении и снаружи;  $\rho_{y,n} = \frac{353.4}{T_{y,n}}$ .

Система уравнений (1, 2) позволяет при заданных значениях  $L_{mo}, L_n$  и  $C_n$  найти  $L_o$  и стационарное значение  $C$ .

Уравнения (1–3) справедливы в предположении однородного распределения водорода по всему объему помещения. Поэтому входящая в уравнение (1) величина  $C$  является не локальной, а усредненной по внутреннему объему помещения объемной концентрацией водорода. При этом концентрации водорода в воздухе, удаляемом местными отсосами, как правило, выше, а  $C_n$  из-за рассеяния загрязненных выбросов ниже концентрации водорода в помещении. Для расчета аварийной вентиляции важно знать темп или скорость снижения концентрации водорода в помещении в результате работы вентиляции. Динамика изменения концентрации водорода описывается дифференциальным уравнением (4), которое можно получить из уравнения (1), записав его левую часть в виде:

$$\Delta VC = V \frac{\partial C}{\partial t} \Delta t$$

В результате этого преобразования получим уравнение, описывающее изменение концентрации водорода, которое принимает вид:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -k_0 C + \frac{B}{V}, \quad (4)$$

где  $B = -G + C_{mo}L_{mo} - L_n C_n$ ;  $k_0$  – кратность общеобменной или аварийной вытяжки.

В стационарном газовом состоянии помещения левая часть уравнения обращается в 0, поэтому стационарное значение концентрации водорода определяется формулой:

$$C_{cm} = \frac{B}{L_0}.$$

Рассмотрим пример расчета аварийной вентиляции помещения ванн гальванического цеха. Предположим, что помещение имеет размеры:  $20 \times 12 \times 6$  м. Тогда свободный объем помещения, равный его 80 % его геометрического объема составляет  $1\,152 \text{ м}^3$ . Объем выделяемого водорода положим равным  $G=220 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Объемный расход воздуха, удаляемого бортовыми отсосами, для типичных условий  $L_{mo}=14\,400 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Для предотвращения взрывов водорода в воздуховодах и газоочистных аппаратах его концентрация в отсасываемом местными отсосами воздухе не должна превышать 30 % нижнего концентрационного предела взрываемости водородно-воздушной смеси  $C_1$  [1, 8]. Поэтому  $C_{mo}=0,012$ . Концентрация водорода в приточном воздухе также не должна превышать 30 %  $C_{пдк}$ . Положим  $C_n=0,1$ ;  $C_1=0,0004$ . В теплый период года различиями температур удаляемого и приточного воздуха можно пренебречь [11] и считать  $L_{п}=L_0+L_{mo}$ . Тогда для  $L_0$  получим выражение:

$$L_0 = \frac{G - C_{mo} \cdot L_{mo} + C_n \cdot L_{mo}}{C_{cm} - C_n} = 12160 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

При такой производительности общеобменной или аварийной вытяжки кратность воздухообмена помещения:

$$k_0 = \frac{L_0}{V} = 10,6.$$

Таким образом, для установления стабильного газового состояния помещения местная вытяжная вентиляция должна быть дополнена общеобменной или аварийной вытяжкой с найденной производительностью. Полный воздухообмен помещения с учетом работы местной вытяжной вентиляции вырастет до 23 1/час.

Будем считать, что в результате работы вентиляции в штатном или аварийном режимах при стабильном газовом состоянии концентрация водорода в помещении равна предельно допустимой взрывобезопасной концентрации, то есть  $C=C_{cm}=0,0041$ .

Решение уравнения (3) имеет вид:

$$C(t) = K \cdot e^{-k_0 t} + C_{cm}. \quad (5)$$

Значение постоянной  $K$  найдем из начального условия:

$$C(t=0) = C_0,$$

где  $C_0$  – значение среднеобъемной концентрации водорода в начальный момент времени. Отсюда  $K=C_0-C_{cm}$ .

Из выражения (5) следует, что предельно допустимые взрывобезопасные концентрации  $C_{cm}$  при умеренных значениях  $k_0$  могут быть достигнуты лишь по истечении

достаточно большого промежутка времени. За ограниченное время  $t$ , определяемое формулой (6), может быть достигнута концентрация  $C_t$ , незначительно превышающая  $C_{cm}$  в пределах погрешности определения и фиксации среднеобъемной концентрации водорода:

$$t = -\frac{1}{k_0} \ln \frac{C_t - C_{cm}}{C_0 - C_{cm}}. \quad (6)$$

Для условий рассмотренного выше примера предположим, что в начальный момент времени концентрация водорода превышала предельно допустимую в два раза:  $C_0 = 2C_{cm}$ . Найдем время, в течение которого при работе аварийной вентиляции концентрация водорода будет снижена до  $C(t) = 1,1C_{cm}$ :

$$t = \frac{-\ln 0,1}{10,6} = 0,22 \text{ ч} \approx 13 \text{ мин.}$$

Приведенная выше модель и метод расчета получены при допущении об однородном распределении водорода по всему объему помещения, то есть концентрация  $C$  предполагалась независимой от координат. Поэтому, входящая в уравнения (1, 2) является усредненной по всему внутреннему объему концентрацией водорода. В реальных условиях это предположение нарушается в первую очередь из-за очень малой плотности водорода [12], а также из-за подвижности воздуха в помещении, которая возникает вследствие работы вентиляции и конвективных потоков [13]. Особенности распределения водорода в помещении необходимо знать для правильного размещения датчиков системы контроля загазованности помещения и вытяжных вентиляционных устройств. Приведенные в документах [5, 14] эмпирические соотношения для расчета размеров взрывоопасных зон горючих газов для помещений ванн гальванических цехов не применимы, поскольку эти соотношения выведены для паров легковоспламеняющихся и горючих жидкостей в неподвижной воздушной среде.

Распределение концентрации водорода в воздушной среде помещений ванн может быть исследовано с помощью модели смешения двух газов различной плотности [15]. Согласно этой модели обозначим объемные доли водорода и воздуха в ячейках расчетной области как  $\alpha_1$  и  $\alpha_2 = 1 - \alpha_1$ .

Для объемной доли водорода запишем уравнение конвективной диффузии:

$$\frac{\partial \alpha_1}{\partial t} + \nabla \cdot (U \alpha_1) = \nabla \cdot \left( \left( D_{ab} + \frac{v_t}{Sc} \right) \nabla \alpha_1 \right),$$

где  $D_{ab}$  – коэффициент молекулярной диффузии;  $v_t$  – коэффициент турбулентной вязкости;

$Sc = \frac{\mu}{\rho D}$  – турбулентное число Шмидта.

Данное уравнение должно решаться совместно с уравнением неразрывности для смеси газов, уравнением движения в приближении Буссинеска-Обербека и уравнением теплопереноса:

$$\begin{aligned} \nabla \cdot U &= 0 \\ \frac{\partial \rho U}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho U U) &= -\nabla(p_{rgh}) - \mathbf{g} h \nabla \rho + \nabla(\rho \boldsymbol{\tau}); \\ \nabla \cdot (\rho U T) - \nabla \cdot \alpha_{eff} \nabla T &= g_T / C_p \end{aligned} \quad (7)$$

где  $\tau = -\frac{2}{3} \overline{v_{eff}} \nabla \cdot \overline{UI} + \overline{v_{eff}} \nabla U + \overline{v_{eff}} (\nabla U)^T$  – тензор, описывающий турбулентные и вязкие напряжения в смеси;  $\overline{v_{eff}}$ ,  $\overline{\alpha_{eff}}$  – усредненные эффективные коэффициенты кинематической вязкости и теплопередачи для смеси газов;  $\nabla(p_{rgh})$  и  $gh\nabla\rho$  определяются из выражения  $P = p_{rgh} + \rho gh$ .

Входящая в уравнения плотность смеси  $\rho$  рассчитывается как средневзвешенная плотность компонентов смеси с учетом температурной неоднородности смеси:

$$\rho = \alpha_1 \rho_1 + (1 - \alpha_1) \rho_2 - \beta(T - T_0).$$

Последнее слагаемое позволяет учесть влияние на плотность водородно-воздушной смеси ее температурной неоднородности. Множитель  $\beta$  представляет собой средневзвешенное значение коэффициентов теплового расширения водорода и воздуха:

$$\beta = \alpha_1 \beta_1 + (1 - \alpha_1) \beta_2.$$

Для численного решения системы (7) был модифицирован решатель TwoLiquidMixingFoam, входящий в состав гидродинамического пакета OpenFoam [16].

### Литература

1. Елинский И.И. Вентиляция и отопление гальванических цехов машиностроительных предприятий. М.: Машиностроение, 1989. 152 с.
2. Гельфанд Б.Е., Попов О.Е., Чайванов Б.Б. Водород: параметры горения и взрыва. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. 288 с.
3. НПБ 105-2003. СП 12.13130.2009. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности. Доступ из справ.-правового портала «Гарант».
4. Технический регламент о безопасности зданий и сооружений: Федер. закон от 30 дек. 2009 г. № 384-ФЗ. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
5. Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств: Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности. Сер. 9. Вып. 37. 2-е изд., доп. М.: ЗАО «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности», 2015. 126 с.
6. СНиП II-М.2-72\*. Производственные здания промышленных предприятий. Нормы проектирования. Доступ из справ.-правового портала «Гарант».
7. СП 60.13330.2012. СНиП 41-01-2003. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Доступ из справ.-правового портала «Гарант».
8. СП 7.13130.2013. Отопление, вентиляция и кондиционирование. Требования пожарной безопасности. Доступ из справ.-правового портала «Гарант».
9. Корольченко А.Я. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения: справочник. М.: Асс. «Пожнаука», 2000. 757 с.
10. Эльтерман В.М. Вентиляция химических производств. М.: Химия, 1980. 288 с.
11. Отопление и вентиляция: учеб. для вузов. Ч. 2: Вентиляция / В.Н. Богословский [и др.]. М.: Стройиздат, 1976. 439 с.
12. Кривцова В.И., Ключка Ю.П. Определение времени до возникновения пожаровзрывоопасных концентраций в помещении при истечении водорода из системы его хранения. Харьков: НУГЗУ, 2012. № 32. С. 119–124
13. Пузач С.В., Лебедченко О.С. Расположение взрыво- и пожароопасных участков водородно-воздушной смеси по высоте конвективной колонки, образующейся над

источником натекания водорода в помещение // Пожаровзрывобезопасность. 2017. Т. 26. № 1. С. 18–24.

14. Рапопорт Ф.М., Ильинская А.А. Лабораторные методы получения чистых газов. М.: Госхимиздат, 1963. 420 с.

15. Rok Krpan and Boštjan Končar. Simulation of turbulent wake at mixing of two confined horizontal flows science and technology of nuclear installations. Vol. 2018. «Jožef Stefan» institute, Ljubljana, Slovenia.

16. Chen, Goong; Xiong, Qingang; Morris, Philip J.; Paterson, Eric G.; Sergeev, Alexey Sergeev; Wang, Yi-Ching. «OpenFOAM for computational fluid dynamics» // Notices of the American Mathematical Society. 61 (4): 354–363.

## References

1. Elinskij I.I. Ventilyaciya i otoplenie gal'vanicheskikh cekhov mashinostroitel'nyh predpriyatij. M.: Mashinostroenie, 1989. 152 с.

2. Gel'fand B.E., Popov O.E., Chajvanov B.B. Vodorod: parametry goreniya i vzryva. M.: FIZMATLIT, 2008. 288 с.

3. NPB 105-2003. SP 12.13130.2009. Opredelenie kategorij pomeshchenij, zdaniy i naruzhnyh ustanovok po vzryvopozharnoj i pozharnoj opasnosti. Dostup iz sprav.-pravovogo portala «Garant».

4. Tekhnicheskij reglament o bezopasnosti zdaniy i sooruzhenij: Feder. zakon ot 30 dek. 2009 g. № 384-FZ. Dostup iz sprav.-pravovoj sistemy «Konsul'tantPlyus».

5. Obshchie pravila vzryvobezopasnosti dlya vzryvopozharoopasnyh himicheskikh, neftekhimicheskikh i neftepererabatyvayushchih proizvodstv: Federal'nye normy i pravila v oblasti promyshlennoj bezopasnosti. Ser. 9. Vyp. 37. 2-e izd., dop. M.: ZAO «Nauchno-tekhnicheskij centr issledovaniy problem promyshlennoj bezopasnosti», 2015. 126 с.

6. SNiP II-M.2-72\*. Proizvodstvennye zdaniya promyshlennyh predpriyatij. Normy proektirovaniya. Dostup iz sprav.-pravovogo portala «Garant».

7. SP 60.13330.2012. SNiP 41-01-2003. Otoplenie, ventilyaciya i kondicionirovanie vozduha. Dostup iz sprav.-pravovogo portala «Garant».

8. SP 7.13130.2013. Otoplenie, ventilyaciya i kondicionirovanie. Trebovaniya pozharnoj bezopasnosti. Dostup iz sprav.-pravovogo portala «Garant».

9. Korol'chenko A.Ya. Pozharovzryvoopasnost' veshchestv i materialov i sredstva ih tusheniya: spravochnik. M.: Ass. «Pozhnauka», 2000. 757 с.

10. El'terman V.M. Ventilyaciya himicheskikh proizvodstv. M.: Himiya, 1980. 288 с.

11. Bogoslovskij V.N., Novozhilov V.I., Simakov B.D., Titov V.P. Otoplenie i ventilyaciya: ucheb. dlya vuzov. Ch. 2: Ventilyaciya. M.: Strojizdat, 1976. 439 с.

12. Krivcova V.I., Klyuchka Yu.P. Opredelenie vremeni do vozniknoveniya pozharovzryvoopasnyh koncentracij v pomeshchenii pri istechenii vodoroda iz sistemy ego hraneniya. Har'kov: NUGZU, 2012. № 32. S. 119–124

13. Puzach S.V., Lebedchenko O.S. Raspolozhenie vzryvo- i pozharoopasnyh uchastkov vodorodno-vozdushnoj smesi po vysote konvektivnoj kolonki, obrazuyushchejsya nad istochnikom natekaniya vodoroda v pomeshchenie // Pozharovzryvobezopasnost'. 2017. Т. 26. № 1. S. 18–24.

14. Rapoport F.M., Il'inskaya A.A. Laboratornye metody polucheniya chistykh gazov. M.: Goskhimizdat, 1963. 420 с.

15. Rok Krpan and Boštjan Končar. Simulation of turbulent wake at mixing of two confined horizontal flows science and technology of nuclear installations. Vol. 2018. «Jožef Stefan» institute, Ljubljana, Slovenia.

16. Chen, Goong; Xiong, Qingang; Morris, Philip J.; Paterson, Eric G.; Sergeev, Alexey Sergeev; Wang, Yi-Ching. «OpenFOAM for computational fluid dynamics» // Notices of the American Mathematical Society. 61 (4): 354–363.

# СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОГРАММИРОВАНИЯ ЛОГИЧЕСКИХ КОНТРОЛЛЕРОВ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ TEXT MINING

**Е.Н. Трофимец, кандидат педагогических наук, доцент.**

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

**А.К. Родин;**

**Д. Макарова.**

**Санкт-Петербургский горный университет**

Рассмотрены существующие технологии программирования логических контроллеров, являющихся одними из основных элементов современных автоматических систем пожарной сигнализации и пожаротушения. Предложен оригинальный подход к разработке алгоритмов функционирования логических контроллеров, отличающийся от известных использованием технологии Text Mining. Разработан алгоритм применения данной технологии в процессе разработки программного обеспечения контроллеров. Для оценки эффективности предложенного подхода сформулировано содержание трех групп испытательных экспериментов.

*Ключевые слова:* автоматизированные системы управления технологическими процессами, системы пожарной автоматики, программирование логических контроллеров, технология Text Mining

## IMPROVEMENT OF TECHNOLOGY OF PROGRAMMING OF LOGIC CONTROLLERS ON THE BASIS OF TEXT MINING TECHNOLOGY

E.N. Trofimets. Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCON of Russia.

A.K. Rodin; D. Makarova. Saint-Petersburg mining university

The existing technologies of programming of the logic controllers which are some of basic elements of modern automatic fire alarm systems and fire extinguishing are considered. The original development approach of algorithms of functioning of logic controllers differing from known for use of Text Mining technology is offered. The algorithm of use of this technology in development process of the software of controllers is developed. For assessment of efficiency of the offered approach keeping of three groups of test experiments is formulated.

*Keywords:* automated process control systems, systems of fire automatic equipment, programming of logic controllers, Text Mining technology

Программируемые логические контроллеры (ПЛК) получили широкое распространение в современных автоматических системах пожарной сигнализации и пожаротушения промышленных объектов различного назначения. Они обеспечивают сбор информации от пожарных извещателей, датчиков давления, концевых выключателей, датчиков контроля загазованности, ее обработку по заданным алгоритмам с автоматической выдачей команд управления. Контроллеры применяются в автоматических системах обнаружения и тушения пожаров для управления различными видами установок пожаротушения: газовыми, порошковыми, аэрозольными, установками дымоудаления и другими устройствами.

Контроллеры функционируют на основе программного обеспечения (ПО), разрабатываемого в соответствии с требованиями нормативных документов, заказчика и конфигурацией конкретного объекта защиты. Это, в свою очередь, требует со стороны

разработчика применения таких технологий проектирования и программирования контроллеров, которые обеспечивали бы возможность изменения информационной емкости и разветвленности контроллера, гибкого перестроения конфигурации автоматической системы обнаружения и тушения пожаров. Кроме того, в процессе написания алгоритмов функционирования контроллеров не исключено негативное влияние человеческого фактора, следовательно, для повышения их качества целесообразно роботизировать основные этапы написания алгоритмов и тем самым оставить кодировщику функции контроля и тестирования готового продукта.

### **Краткий обзор традиционных языков программирования ПЛК**

Программирование промышленных контроллеров несколько отличается от традиционного программирования, поскольку ПЛК исполняют бесконечную последовательность программных циклов, поэтому при программировании ПЛК используются флаги – булевы переменные признаков прохождения алгоритмом программы тех или иных ветвей условных переходов. Поэтому для программирования ПЛК программисту необходимо обладать определёнными знаниями и опытом.

В настоящее время для программирования ПЛК наибольшее распространение получили следующие шесть языков: LD, FBD, SFC, CFC, ST, IL [1–3].

Язык Ladder (LD) – является средой разработки, основанной на графике, который представляет собой подобие релейной схемы. По мнению разработчиков данного стандарта, использование такого рода программной среды существенно упрощает переобучение инженеров релейной автоматики на ПЛК. Основной плюс – быстрое действие системы с дискретным характером.

Язык Function Block Diagram (FBD) – язык, в котором так же задействовано графическое программирование. Все действия и функции занесены в функциональный блок, который, в свою очередь, имеет определенную последовательность между соединением входа и выхода данного блока. Каждый блок в отдельности может представлять определенную операцию (триггер, логическое «или» и т.д.). Если связать пару блоков, то они будут выполнять роль передачи в программе. Все переменные хранятся в специализированных блоках, а цепи выхода могут иметь связи с конкретными выходами контроллера или связи с глобальными переменными.

Язык Sequential Function Chart (SFC) – основан на графике и может быть использован с языками ST и IL. Принцип его построения схож с образом конечного автомата, данное условие относит его к самым мощным языкам программирования. В данном языке технологические процессы построены по типу лестницы, структура которых состоит из ступенек, которая ведет программу сверху вниз. Каждый шаг представляет собой конкретные операции, которые можно описать не только с помощью языка SFC, но и с помощью языков ST и IL. После завершения шага выполняется действие по передаче управления следующему шагу. Такие переходы между шагами могут быть двух видов. Первый вид – условный переход: в случае, если на шаге было выполнено условие без действия, то отсутствие действия является переходом на следующий шаг. Второй вид – безусловный переход: если были выполнены условия либо совершены все действия, то последнее действие является переходом на следующий шаг. К недостаткам SFC можно отнести активацию нескольких шагов не в параллельных потоках в процессе, из-за чего необходим глобальный контроль со стороны программиста.

Язык Continuous Flow Chart (CFC) – язык высокого уровня. Данный язык является явным продолжением языка FBD. Процесс разработки управляющей программы состоит в использовании библиотеки готовых блоков и размещения их на экране. Библиотеку готовых блоков можно редактировать и добавлять свои блоки. Самая важная часть разработки – это грамотное соединение блоков между собой. Каждый блок отвечает за управление определенной частью технологического процесса. Общая схема отображает весь технологический процесс, а программное обеспечение будет рассмотрено позднее.

Соответственно после завершения написания программного кода на любом стандартном языке его необходимо интерпретировать в более читабельный вид. Интерпретация кода сводится в документ, который отображает работу ПЛК в виде структурных блоков.

Язык Structured Text (ST) – язык высокого уровня, который схож с такими языками, как Pascal и Basic. Возможности данного языка безграничны, но интеграторы им почти не пользуются из-за отсутствия поддержки основными производителями ПЛК. Основными преимуществами перед другими языками является возможность интерпретировать более 16 типов данных, а также с циклическими вычислениями. Поскольку программы представлены в виде текста, что усложняет освоение технологии, небольшим недостатком считается отсутствие графической среды.

Язык Instruction List (IL) – синтаксис написания программы схож с Ассемблером, по функциональности схож с языком FBD. Отличие между ними необходимо написать самому блоку, и нет необходимости их связывать, достаточно указывать имя переменных. Блоки написаны на языке IL, имеют большую скорость работы и низкую требовательность к ресурсам, что является его плюсом.

В настоящее время самым распространенным языком программирования ПЛК является язык LD, второе место по распространенности занимает язык FBD.

### **Теоретические аспекты разработки алгоритмов функционирования ПЛК на основе семантико-синтаксического анализа и технологии TextMining**

В основе предлагаемого подхода к автоматическому написанию алгоритмов функционирования ПЛК лежит семантико-синтаксический анализ текстов и технология TextMining.

Семантически ориентированный подход используется для выявления близких по смыслу документов-дубликатов, который основан на использовании семантических сетей, получаемых при помощи семантико-синтаксического анализатора. При этом учитываются как лексические, так и семантические отношения в тексте.

Целью использования семантико-синтаксического анализа является получение формализованного представления структуры текстов, то есть выделение в них смысловых единиц и установление связей между ними. Результатом анализа является извлечения из текста составных частей, которые являются речевыми отрезками, обозначающими понятия: слова, словосочетания, фразы без вводных слов и знаков препинания.

К недостатку данного алгоритма можно отнести то, что алгоритм не гарантирует смыслового единства выраженных словосочетаний. Данный недостаток присущ и другим, схожим алгоритму синтаксического анализа текстов, алгоритмам. Для решения вопросов со смысловыми единицами создают частотные словари.

При составлении словарей необходимо подключить функцию автоматизированного включения часто встречающихся словосочетаний. Каждое новое словосочетание необходимо внести в состав предметной области для его последующей обработки. По данному словарю создается концептуальный словарь.

Схема создания автоматизированного составления словарей «Наименования и понятия»:

- формально-логический контроль словосочетаний для обнаружения и исправления орфографических ошибок;
- разделение словосочетаний на отдельные слова (по пробелам и разделительным знакам между ними) по необходимости;
- морфологический анализ слов корпуса текстов;
- членение корпуса текстов на предложения;
- семантико-синтаксический анализ текстов;
- выделение наименований понятий;
- автоматическое приведение наименований понятий к их канонической форме;
- формирование частотного словаря наименований понятий;

- лингвистический анализ частотного словаря наименований понятий (исключение ошибочной и малоинформативной лексики);
- формирование машинного представления концептуального словаря.

Семантико-синтаксический анализ текстов тесно связан с технологией Text Mining.

Технология Text Mining представляет собой одну из разновидностей методов Data Mining [4–6]. Такая технология глубинного анализа текстов способна «отфильтровывать» большие объемы неструктурированной информации и выявлять из них только самое значимое, сокращая затраты времени на получение необходимых знаний «вручную».

Text Mining (анализ текстов) – это набор статистических и лингвистических методов, а также методов машинного самообучения, способных моделировать и структурировать информационный контент; и текстовые источники в целях проведения исследований, анализа данных и бизнес-аналитики. Основным методом автоматической смысловой обработки текстов является процедура их семантико-синтаксического анализа, основанная на фразеологическом концептуальном анализе текстов, базирующаяся, в свою очередь, на мощном словаре наименований понятий.

Семантико-синтаксический анализ текстов и технология TextMining легли в основу предлагаемого подхода к программированию ПЛК, отличительной чертой которого является создание программного кода при помощи специализированного конфигулятора. Конфигуратор использует лучшие качества всех шести традиционных языков программирования ПЛК, рассмотренных выше. Использование конфигулятора позволяет сэкономить время специалистов, освобождая их от проработки дополнительной документации.

Рассмотрим технологический процесс производства контроллеров на примере одной из специализированных компаний по разработке автоматизированной системы управления технологическим процессом (АСУ ТП), в которой применяется специализированный конфигуратор (рис. 1).

На рис. 2 представлена структурная схема разработки программного обеспечения контроллеров.

Отдел проектирования разрабатывает полный набор документации, а также выдает техническое задание на разработку программного обеспечения. Отдел локальных систем управления (отдел ЛСУ) разрабатывает программное обеспечение для контроллеров газоперекачивающих установок. Отдел распределённых систем управления (отдел РСУ) разрабатывает программное обеспечение для контроллеров других функциональных систем и установок. Отдел тестирования проводит испытания программного обеспечения с целью проверки соответствия между реальным поведением программы и её ожидаемым поведением на конечном наборе тестов.

На рис. 3 представлена функциональная схема разработки программного обеспечения до внедрения технологии Text Mining.

Предлагаемое усовершенствование существующего технологического процесса разработки программного обеспечения контроллеров состоит во внедрении в этот процесс технологии Text Mining. Суть использования данной технологии в процессе разработки программного обеспечения состоит в поиске текстовой близости формализованного в виде специальной базы данных технического задания с накопленными в архиве документами-образцами. После нахождения совпадения в диапазоне от 80 % до 99 % соответствия алгоритму управления с исследуемой базой данных, необходимо откорректировать несоответствующие фрагменты при помощи программы. Если процент соответствия меньше 80 %, необходимо увеличить время для более глубокого поиска нужного алгоритма. Границы диапазона выбраны на основе опыта работы ручного создания алгоритмов АСУ: значение ниже нижней границы диапазона означает, что найденный алгоритм не соответствует заданному техническому заданию, а верхнее значение указывает на то, что при минимальной коррекции алгоритм готов к применению.

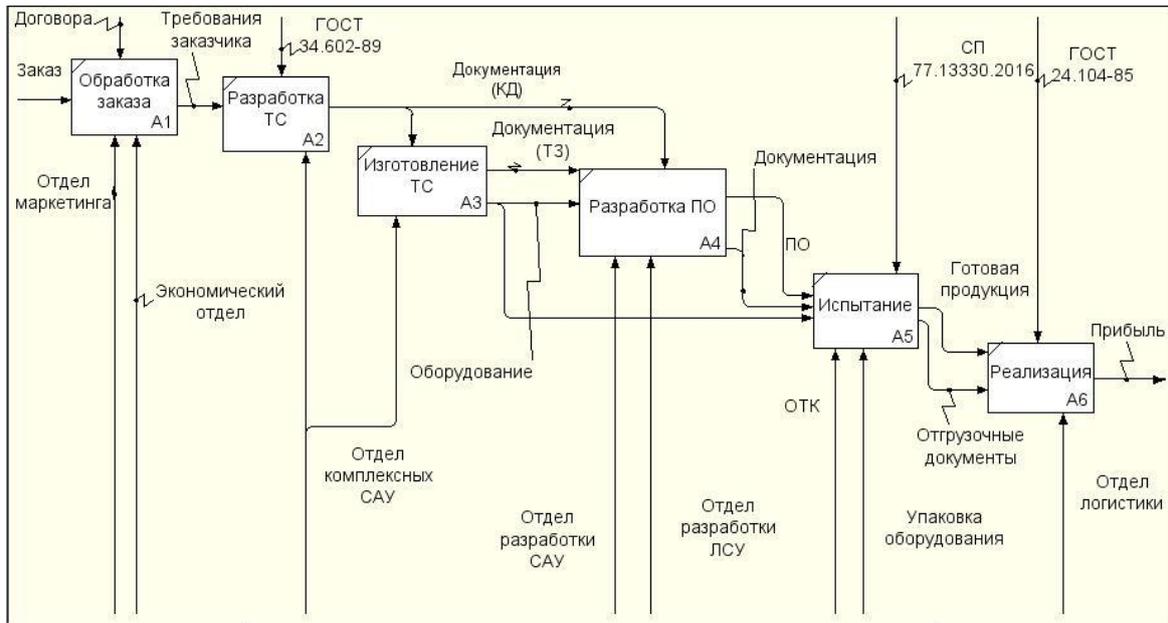


Рис. 1. Диаграмма декомпозиции технологического процесса производства контроллеров (ТС – техническое средство; КД – конструкторская документация; ТЗ – техническое задание; ПО – программное обеспечение; САУ – система автоматического управления; ОТК – отдел технического контроля; СП – свод правил)

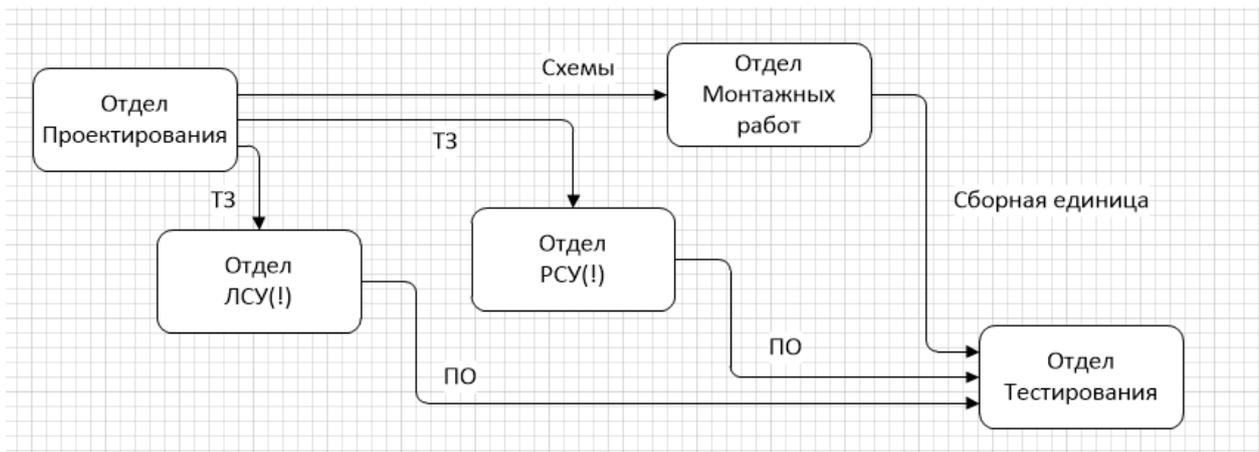


Рис. 2. Структурная схема разработки ПО контроллеров

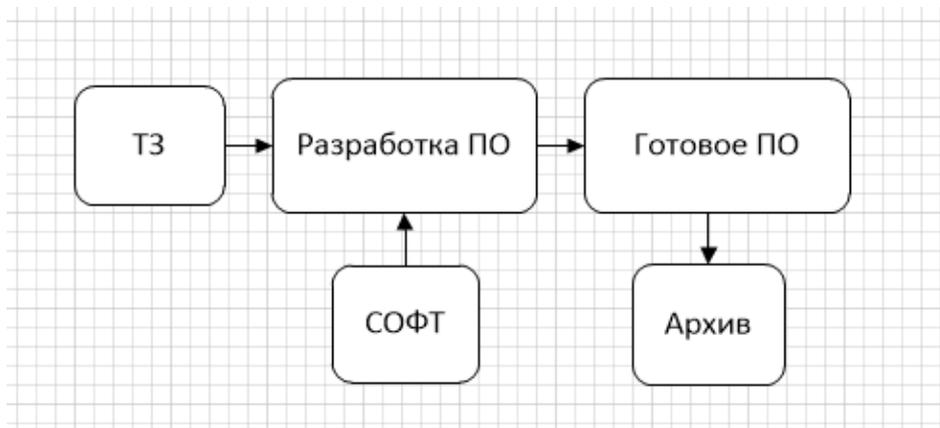


Рис. 3. Функциональная схема разработки программного обеспечения до внедрения технологии Text Mining

На рис. 4 представлен алгоритм сравнения новой базы данных (технического задания) с накопленными в архиве базами-образцами.

На рис. 5 представлена функциональная схема разработки программного обеспечения после внедрения в процесс разработки технологии Text Mining.

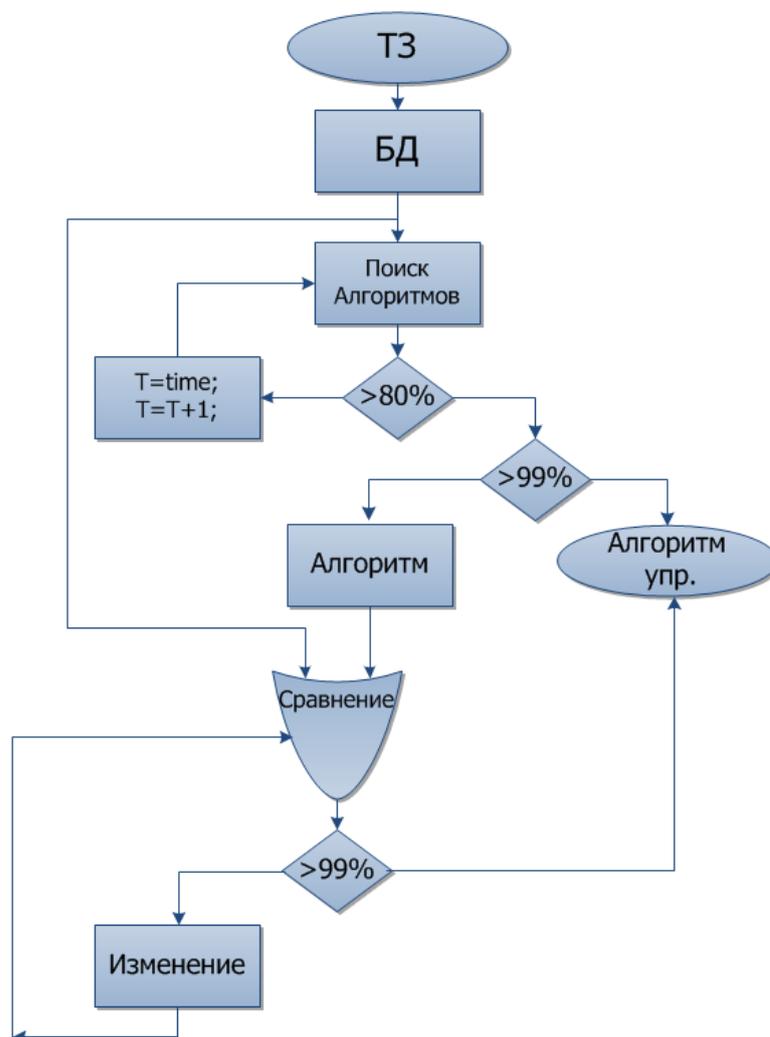


Рис. 4. Алгоритм использования технологии Text Mining в процессе разработки ПО контроллеров

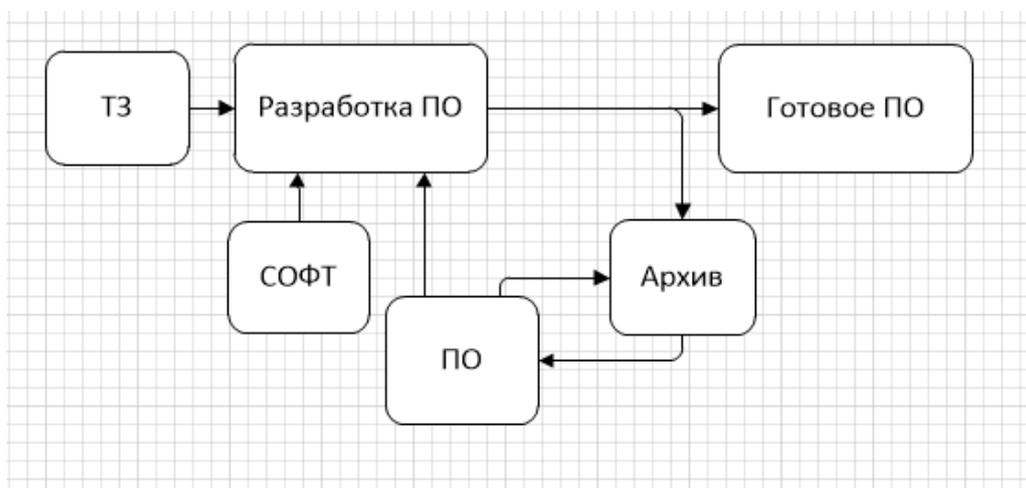


Рис. 5. Функциональная схема разработки ПО после внедрения технологии Text Mining

Как можно заметить, усовершенствованная схема разработки программного обеспечения усложнилась по сравнению с существующей (рис. 3). Однако это касается только вычислительных аспектов разработки, а со стороны программиста трудоемкость разработки существенно сокращается.

Для оценки эффективности предлагаемого подхода к разработке программного обеспечения контроллеров необходимо провести три группы экспериментов.

Первая группа экспериментов заключается в том, что экспертами создаются группы документов, похожих на документ-образец. Другая группа экспертов проводит ранжирование по степени смысловой близости к данному документу. Параллельно в автоматическом режиме эти же документы должны быть ранжированы с помощью программного обеспечения, реализующего технологию Text Mining. После этого будет проведен анализ результатов работы экспертов и программного обеспечения по критериям времени и процентам соответствия.

Вторая группа экспериментов заключается в том, что экспертами выбирается в массиве документов один документ-образец (рабочий алгоритм управления, который уже применяется на объекте управления). С помощью программного обеспечения, реализующего технологию Text Mining, в массиве документов проводится машинный поиск выбранного документа-образца. Задача эксперимента состоит в нахождении документа с максимальным процентом схожести. Наилучшим результатом работы программного обеспечения по поиску является нахождение самого документа-образца.

Третья группа экспериментов состоит в получении рабочего алгоритма управления на основе ранее подобранного документа-образца и созданной по техническому заданию базы данных с полным набором конфигураций контроллера. Эта группа экспериментов состоит

из следующих этапов:

- выполняется дублирование документа-образца;
- в скопированный документ (алгоритм управления) вносятся корректировки для полного соответствия с базой данных;
- производится повторное сравнение алгоритма управления с техническим заданием для выявления процента соответствия и при необходимости последующей доработки.

### **Литература**

1. Деменков Н.П. Языки программирования промышленных контроллеров. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. 172 с.
2. Петров И.В. Программируемые контроллеры. Стандартные языки и приемы прикладного проектирования. М.: Солон-Пресс, 2004. 256 с.
3. Сергеев А.И., Черноусова А.М., Русяев А.С. Программирование контроллеров систем автоматизации. Оренбург: ОГУ, 2016. 126 с.
4. Технологии анализа данных. Data Mining, Visual Mining, Text Mining, OLAP / А.А. Барсегян [и др.]. СПб.: БХВ-Петербург, 2007. 384 с.
5. Feldman R., Sanger J. The Text Mining Handbook. Cambridge University Press, 2006. 423 p.
6. Weiss S.M., Indurkha N., Zhang T. Fundamentals of Predictive Text Mining. Springer, 2010. 231 p.

### **References**

1. Demenkov N.P. Yazyki programmirovaniya promyshlennykh kontrollerov. M.: MGTU im. N.E. Baumana, 2004. 172 s.
2. Petrov I.V. Programmiruemye kontrollery. Standartnye yazyki i priemy prikladnogo proektirovaniya. M.: Solon-Press, 2004. 256 s.
3. Sergeev A.I., Chernousova A.M., Rusyaev A.S. Programmirovaniye kontrollerov sistem avtomatizatsii. Orenburg: OGU, 2016. 126 s.

4. Barsegyan A.A., Kupriyanov M.S. Stepanenko V.V., Kholod I.I. Tekhnologii analiza dannykh. Data Mining, Visual Mining, Text Mining, OLAP. SPb.: BHV-Peterburg, 2007. 384 s.
5. Feldman R., Sanger J. The Text Mining Handbook. Cambridge University Press, 2006. 423 p.
6. Weiss S.M., Indurkha N., Zhang T. Fundamentals of Predictive Text Mining. Springer, 2010. 231 p.

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ РАСЧЕТА РАЗВИТИЯ ДИНАМИКИ ОПАСНЫХ ФАКТОРОВ ПОЖАРА НА ОБЪЕКТАХ НЕФТЕГАЗОВОГО КЛАСТЕРА

**С.И. Шепелюк, кандидат военных наук, доцент.  
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России.  
С.М. Мурзин;  
А.А. Рязанов.  
Уральский институт ГПС МЧС России**

Проанализированы математические модели расчета динамики опасных факторов пожара. Сделан сравнительный анализ существующих математических моделей расчета динамики опасных факторов пожара. Выработаны рекомендации по их использованию применительно к объектам нефтегазового кластера.

*Ключевые слова:* потенциальный пожарный риск, индивидуальный пожарный риск, интегральная математическая модель, зонная математическая модель, полевая математическая модель, динамика опасных факторов пожара

## DETERMINATION OF THE OPTIMAL MATHEMATICAL MODEL FOR THE CALCULATION OF THE DEVELOPMENT DYNAMICS OF DANGEROUS FACTORS OF FIRE ON OBJECTS OF THE OIL AND GAS CLUSTER

S.I. Shepelyuk. Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia.  
S.M. Murzin; A.A. Ryazanov. Ural institute of State fire service of EMERCOM of Russia

Comparison of results of modeling of dynamics of the dangerous factors of the fire. The divergence of the results received by means of various models is revealed. Recommendations have been developed on their use in relation to the objects of the oil and gas cluster.

*Keywords:* potential fire risk, individual fire risk, integrated mathematical model, zonal mathematical model, field mathematical model, dynamics of dangerous factors of the fire

Базисным принципом расчета пожарных рисков является принцип соотнесения нормативной и расчетной величин пожарного риска.

Руководящие документы определяют величину пожарного индивидуального риска, возникающего в результате воздействия факторов пожара на объекте нефтегазового кластера (НГК), которая для людей, находящихся в общественно-деловой или жилой зонах, не должна превышать одну стомиллионную в год ( $1 \times 10^{-8}$ ).

Для объектов НГК, где обеспечение величины индивидуального пожарного риска, равной одной миллионной в год, невозможно в связи со спецификой работы технологических процессов, допускается увеличение индивидуального пожарного риска до одной десятитысячной в год ( $1 \times 10^{-4}$ ). В то же время должны быть предусмотрены меры по обучению личного состава действиям при пожаре и по социальной защите персонала, компенсирующие его работу в условиях повышенного риска.

В соответствии с Методикой определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах [1] математическим выражением индивидуального пожарного риска для работников производственного объекта является частота поражения

отдельного работника этого объекта наиболее опасными факторами взрыва, пожара за промежуток времени.

Для расчета индивидуального пожарного риска участки, на которые разделена территория объекта НГК, нумеруются:  $i=1, \dots, I$ .

Так же нумеруются работники данного объекта:  $m=1, \dots, M$ .

Так же обусловлено, что номер работника  $m$  определяет занимаемую должность работника, его категорию и другие особенности его профессиональной деятельности, необходимой для оценки пожарной безопасности. С учетом вышеперечисленной нумерации областей территории и работников величина риска определяется по формуле:

$$R_m = \sum_{i=1}^I q_{im} P(i),$$

где  $q_{im}$  – вероятность пребывания работника  $m$  в  $i$  области зоны производственного объекта НГК;  $P(i)$  – величина риска в  $i$  области зоны объекта НГК, год<sup>-1</sup>.

Величина риска  $R_m$  (год<sup>-1</sup>) для работника  $m$  при его пребывании в здании объекта НГК [1]:

$$R_m = \sum_{i=1}^N P_i q_{im},$$

где  $q_{im}$  – вероятность пребывания работника  $m$  в  $i$  здании;  $N$  – количество помещений на объекте.

В соответствии с Приказом МЧС РФ от 30 июня 2009 г. № 382 «Об утверждении Методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности» обоснуем математическую модель развития пожара на производственном объекте НГК.

Основные нормативные документы:

1. Федеральный закон от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» (ФЗ № 123-ФЗ).

2. ГОСТ 12.1.004–91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования.

3. Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах. Приложение к Приказу МЧС России от 10 июля 2009 г. № 404.

ФЗ № 123-ФЗ (ст. 9) к опасным факторам пожара относит [2]:

- искры и пламя;
- высокую концентрацию токсичных продуктов горения и термического разложения;
- высокую температуру окружающей среды;
- тепловой поток;
- низкую концентрацию кислорода;
- минимальную видимость в дыму.

Следует отметить, что тепловой поток как опасный фактор пожара отсутствует в ГОСТ 12.1.004–91.

В вышеперечисленных нормативных документах также не рассматриваются в качестве опасных факторов пожара:

- наличие мелкодисперсных частиц, вдыхание которых может привести к потере ориентации в пространстве и последующему удушью;
- токсичные продукты термического разложения и горения (акролеин, бензол, оксид серы, формальдегид).

Детерминистические математические модели для расчета термогазодинамических составляющих пожара подразделяются на три основные группы [3]:

1) интегральные (однозонные), в которых определяются зависимости среднеобъемных величин опасных факторов пожара от времени:  $ОФП_m=f(\tau)$ ;

2) зонные (зональные), в которых определяются:

– зависимость от времени среднеобъемных величин опасных факторов пожара в припотолочном слое:  $ОФП_2=f(\tau)$ ;

– зависимость от времени распределения термогазодинамических параметров по высоте конвективной колонки:  $ТГП_1=f(z,\tau)$ ;

3) полевые (дифференциальные) модели, в которых определяются поля величин опасных факторов пожара от времени:  $ОФП=f(x,y,z,\tau)$ .

Сущность интегрального метода состоит в том, что в оценке газовой среды используются среднеобъемные термодинамические параметры.

Среди математических методов моделирования интегральный метод наиболее часто применяется для расчета динамики опасных факторов пожара в силу его скорости и невысокой трудоемкости.

Однако интегральный метод обладает рядом существенных недостатков:

– область корректного применения интегральной модели ограничивается объемными пожарами;

– для моделирования локальных пожаров информативность интегрального метода оказывается недостаточной;

– величины опасных факторов пожара на уровне рабочей зоны не зависят от свойств, вида, места расположения горючесмазочных материалов и расположения помещения:

$$ОФП_{рз}=f(ОФП_{ср}, Z);$$

$$Z = \frac{h_{рз}}{H} \exp\left(1,4 \frac{h_{рз}}{H}\right),$$

где  $H$  – высота помещения;  $h_{рз}$  – высота рабочей зоны.

Интегральная модель применена в различных нормативных документах для определения оптимального времени эвакуации людей [3].

На практике интегральная модель реализуется [4]:

1) для примерных расчетов, чтобы выявить наиболее вероятный сценарий пожара;

2) для производственных площадей, при этом и размеры помещения схожи между собой;

3) для зданий и сооружений, обладающих развитой системой помещений, имеющих малый объем и простую геометрическую конфигурацию.

Аналитическое решение интегральной модели представлено в ГОСТ 12.1.004–91. Оптимальное время эвакуации можно рассчитать как произведение коэффициента безопасности на критическую продолжительность пожара.

Расчет ведется, исходя из предположения, что все опасные факторы пожара воздействуют на работника независимо друг от друга.

Предельная продолжительность пожара определяется по опасным факторам пожара:

– по достижению критически допустимого значения температуры:

$$\tau_{кр}^T = \left\{ \frac{B}{A} \ln \left[ 1 + \frac{70 - t_0}{(273 + t_0)Z} \right] \right\}^{\frac{1}{n}};$$

– по потере видимости:

$$\tau_{кр}^{lv} = \left\{ \frac{B}{A} \ln \left[ 1 - \frac{V \ln(1,05\alpha E)}{l_{вкк} B D_s Z} \right]^{-1} \right\}^{\frac{1}{n}};$$

– по минимально допустимому содержанию кислорода:

$$\tau_{kp}^{O_2} = \left\{ \frac{B}{A} \ln \left[ 1 - \frac{0,044}{\left( \frac{BL_{O_2}}{V} + 0,27 \right) Z} \right]^{-1} \right\}^{\frac{1}{n}} ;$$

– по газообразным токсичным продуктам горения:

$$\tau_{kp}^i = \left\{ \frac{B}{A} \ln \left[ 1 - \frac{VX}{BL_i Z} \right]^{-1} \right\}^{\frac{1}{n}} .$$

Размерный комплекс В, зависящий от теплоты сгорания материала и свободного объема помещения, кг, вычисляется:

$$B = \frac{353C_p V}{(1-\varphi)\eta \times Q} ;$$

$$Z = \frac{h}{H} \exp \left( 1,4 \frac{h}{H} \right) ;$$

$$h = h_{пл} + 1,7 - 0,5\delta .$$

Параметры А и n для случая кругового распространения пожара рассчитываются при n=3:

$$A = 1,05\psi_F v^2 .$$

Выбираем минимальное значение максимальной продолжительности пожара:

$$\tau_{KP} = \min \{ \tau_{kp}^T, \tau_{kp}^{HB}, \tau_{kp}^{O_2}, \tau_{kp}^{HG} \} .$$

Оптимальное время эвакуации людей рассчитывается по формуле:

$$\tau_{HB} = \frac{0,8\tau_{kp}}{60} .$$

В данной модели реализовано упрощение термогазодинамической картины пожара:

- коэффициент потери теплоты принимается постоянным;
- технологические проемы работают только на выход;
- удельный выброс газов является постоянным и не зависит от концентрации кислорода и т.д. [5].

Большая детализация развития пожара достигается в зонных моделях, которые основываются на предположении, что в условиях пожара в производственном помещении существуют одновременно два слоя: верхний – зона задымления и нижний – свободная зона, в которой воздух находится в спокойном состоянии. Подразумевается, что межзонные границы являются активными. В зонной модели оценка газовой среды определяется через средние параметры, как минимум, двух зон.

Самой распространенной является трехзонная модель, в которой помещение разбито на участки: конвективная колонка, припотолочный слой и зона холодного воздуха.

Используются, в основном, те же параметры, что и в интегральной модели.

Преимущества зонной модели [3]:

– используются закономерности теплового и гидродинамического взаимодействия струйного течения со строительными конструкциями с условным разбиванием на характерные области;

– простой расчет динамики опасных факторов пожара.

Недостатки:

– возникает необходимость использовать экспериментальную информацию или модель высшего уровня (полевой) для получения распределения параметров теплового массообмена по объемам секторов помещения;

– при реализации зонной модели приходится допускать значительное количество упрощений и априорных предположений о структуре и характеристиках газовых потоков; следовательно, если отсутствует экспериментально доказанная, достоверная и релевантная информация о структуре потоков, отсутствуют и основания для зонного моделирования;

– в случае сложной термогазодинамической картины пожара основные погрешности зонной модели не будут соответствовать реальным условиям; кроме того, при пожаре более востребованной является подробная информация о реальном пожаре, чем осредненные значения параметров моделируемых зон.

Область применения зонального метода [6]:

1) для производственных помещений, когда размер очага пожара существенно меньше размеров помещения;

2) для рабочих зон, расположенных на разных уровнях в пределах одного помещения (наклонный зрительный зал кинотеатра, антресоли и т.д.).

Наиболее подробное описание процессов теплового массообмена при пожаре на объектах НГК дают полевые модели. Базовый принцип полевой модели: выделение тысяч или десятков тысяч контрольных объемов, не связанных с моделируемой структурой потока. В данном случае динамика развития пожара определяется исключительно математическим расчетом, априорные предположения и упрощения исключены.

Главным превосходством полевых моделей являются искомые параметры полей температур, скоростей, давлений, концентраций компонентов газовой среды и частиц дыма по всему рабочему объему помещения.

Полевые модели являются сложнее, чем остальные в математическом описании, потому что состоят из системы двух- или трехмерных нестационарных дифференциальных уравнений в частных производных, что требует значительных вычислительных ресурсов компьютерной техники.

Так как ограничения интегральных моделей и допущения зонных моделей способны в ряде случаев привести к существенным искажениям и ошибкам при оценке пожарной опасности производственного объекта, то рекомендуется применять полевой метод:

1) для других случаев, если применимость или информативность зонных и интегральных моделей вызывает сомнение;

2) для помещений, где один из геометрических размеров гораздо больше или меньше остальных (тоннели, закрытые автостоянки большой площади и т.д.);

3) для помещений сложной планировки, а также помещений НГК с большим количеством внутренних комнат;

4) для помещений, в которых отсутствует верхний прогретый слой (основное допущение зонной модели) и вследствие этого вероятно образование рециркулярных потоков.

Современный уровень развития теории тепломассообмена и вычислительной математики позволяет достоверно проводить расчет динамики опасных факторов пожара на объектах со сложной геометрией, используя полевой метод как важный практический инструмент.

Методика определения величины пожарного риска не запрещает применение как полевой, так и интегральной математической модели протекания пожара, но сравнительный анализ данных моделей показал, что время наступления максимального значения по всем

опасным факторам пожара сильно отличаются. Так, при сравнении оптимального времени эвакуации персонала, полученного в ходе расчета по интегральной и полевой моделям, при одинаково заданных исходных данных получили несоответствие результатов, которое может привести к неправильной оценке пожарного риска.

Эта проблема требует более углубленных теоретических и экспериментальных исследований для корреляции указанных методов.

Сравнительный анализ существующих математических моделей расчета развития динамики опасных факторов пожара на объектах НГК показывает то, что для более точного прогнозирования развития пожара на объекте защиты целесообразно использовать полевую математическую модель.

Использование математической модели расчета развития динамики опасных факторов пожара на объектах НГК рекомендуется в случаях применительно к помещениям с такими параметрами, как: сложная планировка; большое число внутренних перегородок и преград; наличие областей разных по размерам, причем, одна из них значительно превосходит остальные; уникальная конфигурация или иные нестандартные примеры.

### **Литература**

1. Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах (утв. Приказом МЧС России от 10 июля 2009 г. № 404) // Пожарная безопасность. 2009. № 3.

2. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности: Федер. закон от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ . Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

3. Пузач С.В. Моделирование динамики опасных факторов пожара при расчете пожарного риска. М.: Акад. ГПС МЧС России, 2006.

4. Однолько А.А., Ситников И.В. Проблемы применения математических моделей, определяющих время блокирования путей эвакуации опасными факторами пожара при расчете пожарного риска // Инженерные системы и сооружения: Воронеж: Воронеж. гос. арх.-строит. ун-т. 2010. № 1 (2). С. 185–191.

5. Анализ математических моделей, описывающих динамику опасных факторов пожара, и программных продуктов, реализующих расчет и визуализацию моделируемого процесса / И.А. Суконникова [и др.] // Инженерные системы и сооружения: Воронеж. Воронеж. гос. арх.-строит. ун-т. 2012. № 4. С. 83–93.

6. Анализ математических моделей пожара, применяемых для расчета времени блокирования путей эвакуации опасными факторами пожара / И.В. Ситников [и др.] // Инженерные системы и сооружения. Воронеж: Воронеж. гос. арх.-строит. ун-т. 2012. № 1 (6). С. 81–87.

7. Щербакова К.С., Ситников И.В. Численное моделирование пожаров. Проблемы применения интегральной и полевой моделей. Воронеж: Воронеж. гос. арх.-строит. ун-т, 2011.

### **References**

1. Metodika opredeleniya raschetnyh velichin pozharnogo riska na proizvodstvennyh ob"ektah (utv. Prikazom MCHS Rossii ot 10 iyulya 2009 g. № 404) // Pozharnaya bezopasnost'. 2009. № 3.

2. Tekhnicheskij reglament o trebovaniyah pozharnoj bezopasnosti: Feder. zakon ot 22 iyulya 2008 g. № 123-FZ . Dostup iz sprav.-pravovoj sistemy «Konsul'tantPlyus».

3. Puzach S.V. Modelirovanie dinamiki opasnyh faktorov pozhara pri raschete pozharnogo riska. M.: Akad. GPS MCHS Rossii, 2006.

4. Odnol'ko A.A., Sitnikov I.V. Problemy primeneniya matematicheskikh modelej, opredelyayushchih vremya blokirovaniya putej evakuacii opasnymi faktorami pozhara pri raschete pozharnogo riska // Inzhenernye sistemy i sooruzheniya: Voronezh: Voronezh. gos. arh.-stroit. un-t. 2010. № 1 (2). S. 185–191.

5. Analiz matematicheskikh modelej, opisyyvayushchih dinamiku opasnyh faktorov pozhara, i programmnyh produktov, realizuyushchih raschet i vizualizaciyu modeliruemogo processa / I.A. Sukonnikova [i dr.] // Inzhenernye sistemy i sooruzheniya. Voronezh: Voronezh. gos. arh.-stroit. un-t. 2012. № 4. S. 83–93.

6. Analiz matematicheskikh modelej pozhara, primenyaemyh dlya rascheta vremeni blokirovaniya putej evakuacii opasnymi faktorami pozhara / I.V. Sitnikov [i dr.] // Inzhenernye sistemy i sooruzheniya. Voronezh: Voronezh. gos. arh.-stroit. un-t. 2012. № 1 (6). S. 81–87.

7. Shcherbakova K.S., Sitnikov I.V. Chislennoe modelirovanie pozharov. Problemy primeneniya integral'noj i polevoj modelej. Voronezh: Voronezh. gos. arh.-stroit. un-t, 2011.

# ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ НА РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ГОРЕНИЯ ПРИ ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ АВТОМАТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ ПОЖАРНОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ

**С.Ф. Лобова;**

**М.Ю. Принцева, кандидат технических наук.**

**Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Рассматриваются два подхода к моделированию распространения горения при оценке эффективности работы автоматической установки пожарной сигнализации. Первый способ моделирования распространения фронта горения посредством теплопередачи включает в себя использование термического анализа, второй способ моделирования основан на обобщенных справочных данных о значениях линейной скорости распространения фронта горения. Проведены расчеты начальной стадии пожара в развлекательном центре магазина. Проведена оценка влияния входных параметров на получаемые времена срабатывания автоматической установки пожарной сигнализации.

*Ключевые слова:* численное моделирование, автоматическая установка пожарной сигнализации, дымовой датчик, термогравиметрический анализ, термоаналитические кривые, кинетические параметры, энергия активации, предэкспоненциальный множитель, порядок реакции

## ESTIMATION OF THE INFLUENCE OF THE INITIAL DATA ON THE RESULTS OF THE MODELING OF THE FIRE SPREAD DURING THE AUTOMATIC FIRE ALARM SYSTEM EFFECTYVITY ANALYSIS

S.F. Lobova; M.Yu. Printseva.

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

The article discusses two approaches to modeling the spread of combustion in assessing the performance of the automatic fire alarm system. The first method of modeling the propagation of the combustion by heat transfer involves the use of TGA, the second method of modeling is based on generalized reference data on the values of the linear velocity of propagation of the combustion. The initial stage of the fire in the entertainment center of the store has been calculated. The influence of the input parameters on the response times of the automatic fire alarm system has been explored.

*Keywords:* numerical modeling, automatic fire alarm systems, smoke detector, thermo-gravimetric analysis, termo analytic curves, kinetic parameters, activation energy, pre-exponential factor, reaction order

В рамках производства нормативной пожарно-технической экспертизы нередко ставятся вопросы, связанные с оценкой эффективности работы систем противопожарной защиты. Некоторые из них требуют проведения полномасштабного численного эксперимента, моделирующего динамику распространения пожара в условиях, имевших место на момент пожара.

Одной из главных задач моделирования динамики распространения пожара является корректное задание процесса горения, который в большей степени зависит от задаваемых свойств пожарной нагрузки и способов моделирования распространения фронта горения.

Согласно Методике определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности [1], свойства горючей нагрузки следует принимать по данным экспериментальных исследований или справочной литературе. В последнем случае значения свойств должны быть не менее приведенных в табл. 1. При отсутствии данных значения свойств допускается принимать по табл. 1. При этом для всех помещений, кроме стоянок легковых автомобилей, рекомендуется принимать круговое распространение пожара.

Очевидно, такой способ моделирования динамики распространения горения приведет к значительным погрешностям определения значений параметров начальной стадии пожара, поскольку в первые его минуты горит определенный вид материала, а не все материалы одновременно, обширная номенклатура которых соответствует типовой усредненной пожарной нагрузке, характерной для помещения рассматриваемого класса функциональной пожарной опасности [1]. Полученные погрешности вычислений автоматически распространяются на определяемые параметры работы систем противопожарной защиты, в частности, автоматической установки пожарной сигнализации (АУПС). Соответственно, возникает необходимость оценить степень влияния применяемых способов моделирования процесса распространения горения на параметры, необходимые для оценки эффективности работы систем противопожарной защиты.

В данной статье приводятся два способа моделирования распространения горения: моделирование динамики распространения пожара посредством передачи тепла от источника зажигания и процесса пиролиза и задание распространения фронта горения радиально с заданной линейной скоростью согласно работе [1].

Моделирование динамики пожара выполнялось с использованием специализированного компьютерного кода FDS версия 5 в оболочке PyroSim. Данная программа разработана Национальным институтом стандартов и технологий США (NIST) и создана специально для решения задач по проблемам пожарной безопасности [2].

В большинстве случаев АУПС формирует управляющие сигналы на остальные системы противопожарной защиты при срабатывании двух пожарных извещателей.

Для определения времени срабатывания АУПС было проведено математическое моделирование начальной стадии пожара.

### Физическая постановка задачи

В расчете предполагалось, что очагом пожара являлась поролоновая яма развлекательного парка в здании торгового центра. Характеристики реакции горения в начальный момент времени были взяты для пенополиуретана. Вид 3D модели представлен на рис. 1.

Зелеными точками (SD1–SD12) на рис. 1 обозначены места расположения дымовых датчиков. Согласно представленным характеристикам извещателей ДИП-34А порог срабатывания датчика составляет 0,05–2,0 дБ/м. Инерционность срабатывания датчиков не превышает 10,0 с.

Часть параметров пожарной нагрузки для материала – пенополиуретана представлена в табл. 1 [3].

Таблица 1. Параметры пожарной нагрузки для пенополиуретана [3]

Параметр	Единица измерения	Значение
Типовая горючая нагрузка		Пенополиуретан
Q – низшая теплота сгорания	МДж/кг	27,2
Количество тепла, выделяющееся с единицы поверхности	кДж/м <sup>2</sup>	1900
Максимальный выход сажи	кг/кг	0,227
Максимальный выход СО	кг/кг	0,031

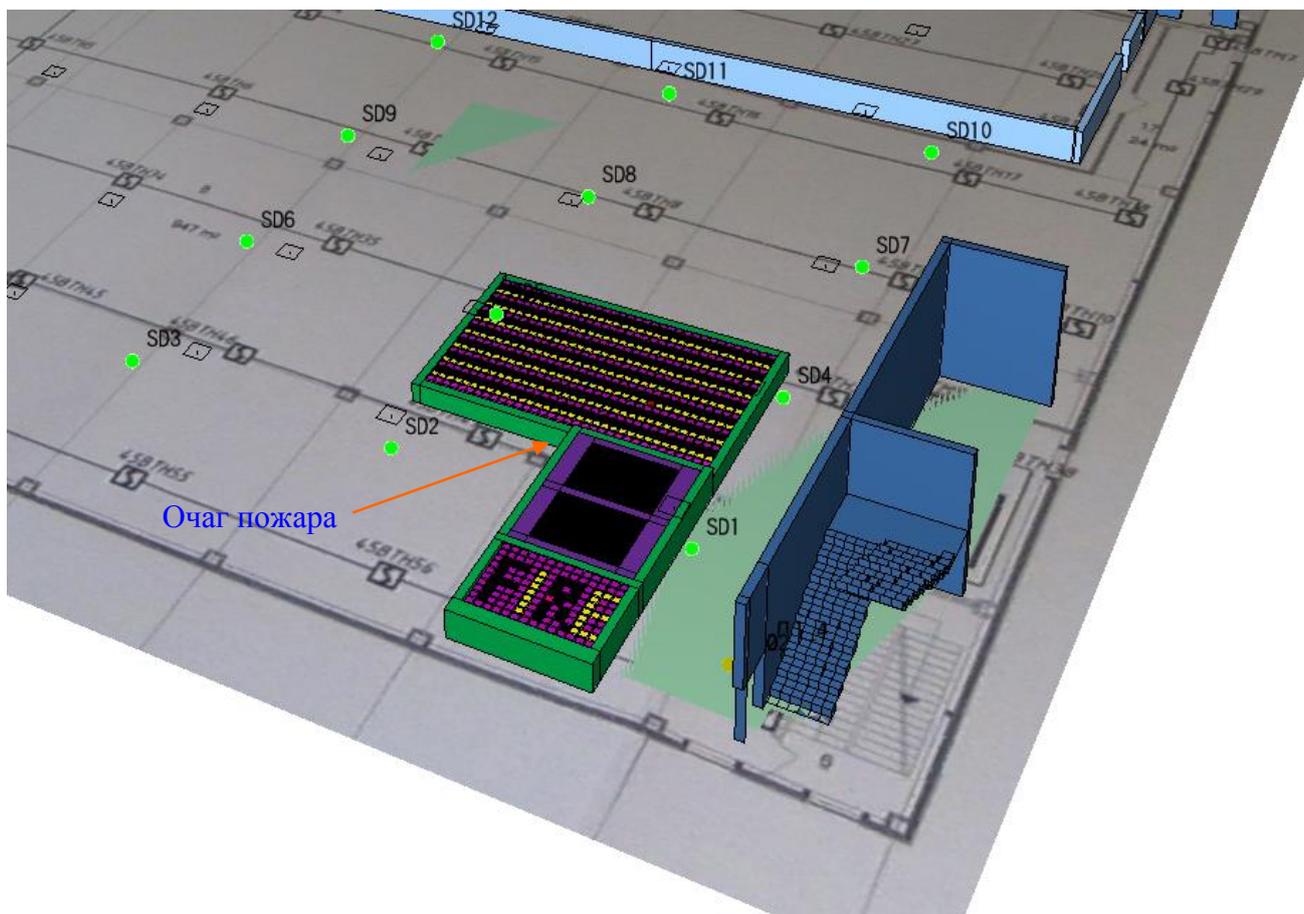


Рис. 1. Расчетная модель части развлекательного центра ТРЦ  
(1 способ задания очага пожара)

Для определения параметров термоокислительной деструкции кубиков из пенополиуретана были проведены исследования методом термического анализа. По полученным в ходе исследования термоаналитическим кривым (ТГ, ДТГ и ДСК) были рассчитаны кинетические параметры термоокислительной деструкции материала – энергия активации, порядок реакции и предэкспоненциальный множитель.

Значение энергии активации определялось расчетным путем по потере массы навески материала при нагревании с заданной скоростью в определенном температурном интервале. Значение эффективной энергии активации рассчитывалось по методу Бройдо [4].

На полученной термогравиметрической кривой, снятой со скоростью 10 °С/мин, в атмосфере воздуха отмечались значения потери массы навески ( $\Delta m$ ) в процентах с шагом 5 °С в интервале температур максимальной скорости разложения материала от 220 до 300 °С (рис. 2). В табл. 2 представлены исходные данные для расчета энергии активации.

Значение двойного логарифма  $\ln \left[ \ln \frac{100}{100 - \Delta m} \right]$  вычислялось для каждой температуры и строился график прямолинейной зависимости  $\ln \left[ \ln \frac{100}{100 - \Delta m} \right]$  от обратной температуры, применяя аппроксимацию по методу наименьших квадратов.

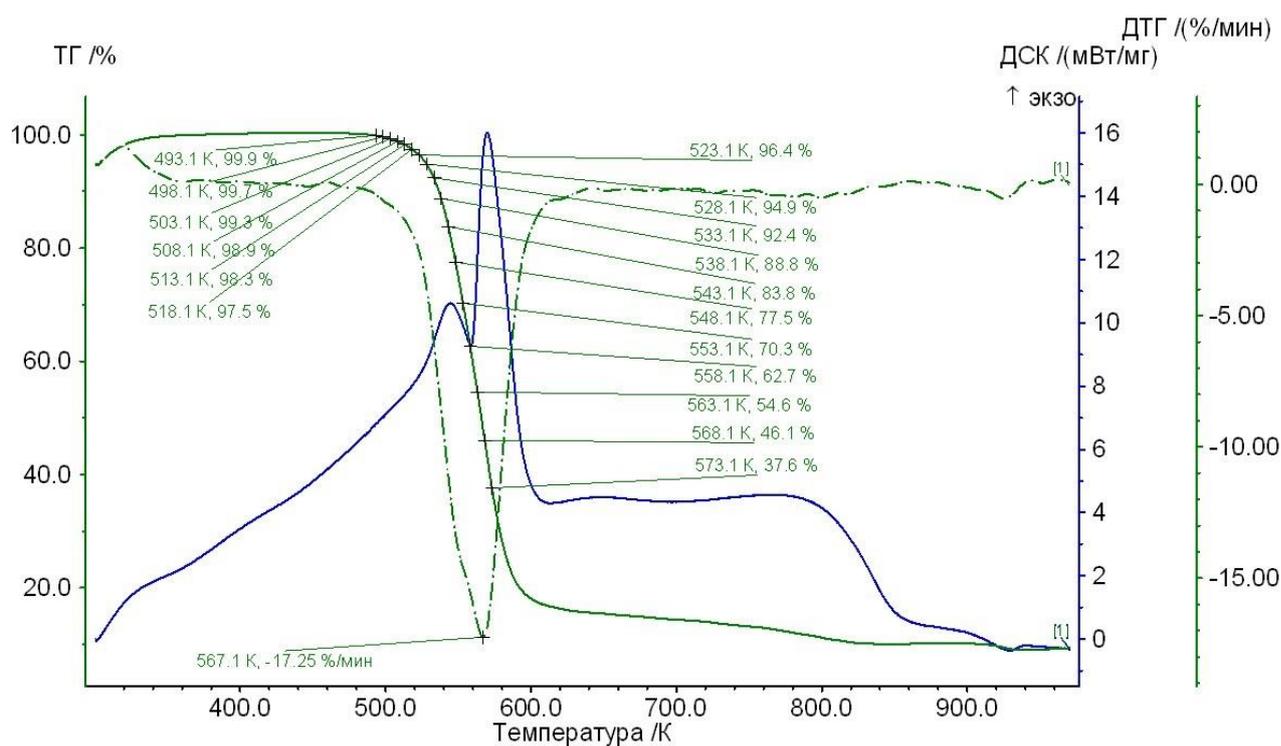


Рис. 2. ТГ, ДТГ и ДСК кривые представленного на исследование материала

Таблица 2. Исходные данные для расчета энергии активации термической деструкции представленного на исследование материала

Т, К	10 <sup>3</sup> /Т, К	100-Δm, %	ln(ln(100/(100-Δm)))
493	2,028	99,9	-6,91
498	2,008	99,7	-5,81
503	1,988	99,3	-4,96
508	1,969	98,9	-4,50
513	1,949	98,3	-4,07
518	1,931	97,5	-3,68
523	1,912	96,4	-3,31
528	1,894	94,9	-2,95
533	1,876	92,4	-2,54
538	1,859	88,8	-2,13
543	1,842	83,8	-1,73
548	1,825	77,5	-1,37
553	1,808	70,3	-1,04
558	1,792	62,7	-0,76
563	1,776	54,6	-0,50
568	1,761	46,1	-0,26
573	1,745	37,6	-0,02

При этом на оси абсцисс откладывалась величина ( $10^3/T$ ), где  $T$  – значения температуры при испытании в К, а на оси ординат – величины  $\ln\left[\ln\frac{100}{100-\Delta m}\right]$  (рис. 3).

Тангенс угла наклона ( $\alpha$ ) вычислялся с точностью до 0,1 построенной прямой линии к оси ординат  $\text{tg}\alpha=22,6$ .

Значение энергии активации ( $E_a$ ), кДж/моль, вычисляли по формуле:

$$E_a=R \cdot \text{tg}\alpha=187,8 \text{ кДж/моль},$$

где  $R$  – универсальная газовая постоянная;  $R=8,31 \text{ Дж/(моль}\cdot\text{К)}$ .

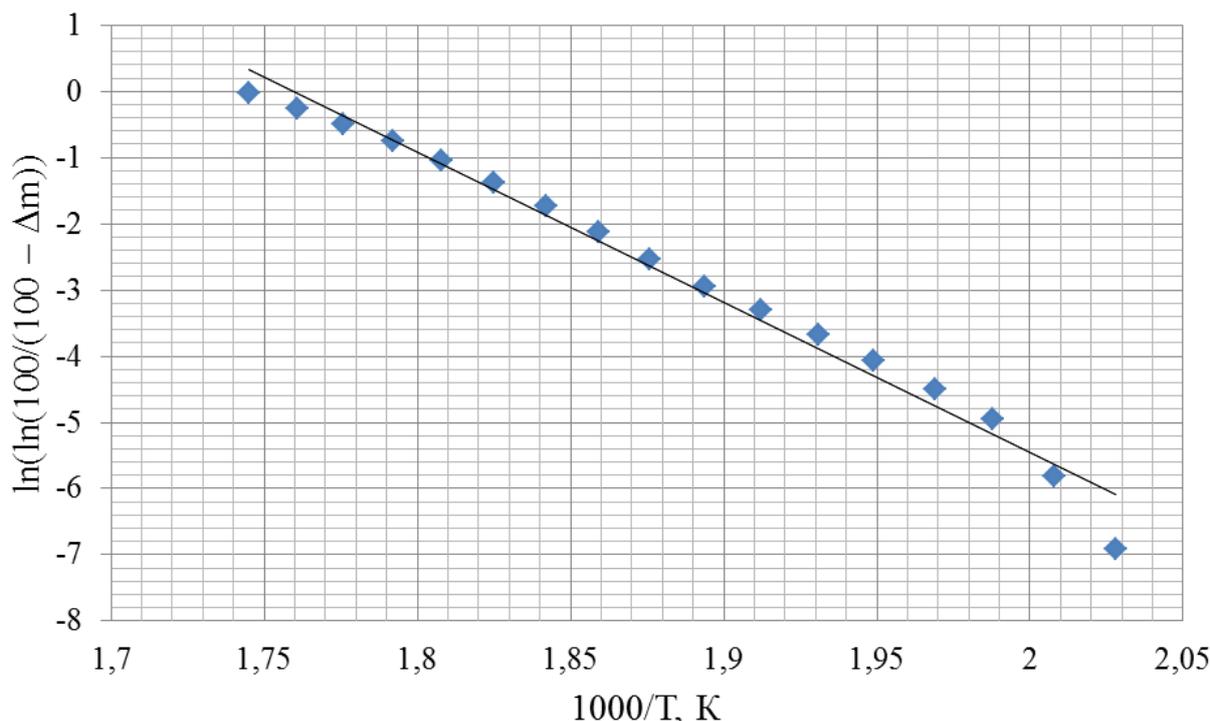


Рис. 3. График зависимости двойного логарифма от обратной температуры

Порядок реакции определялся из кривых ТГ и ДТГ [4], снятых со скоростью  $10 \text{ }^\circ\text{C/мин}$  в атмосфере воздуха (рис. 4). Для этого была построена логарифмическая зависимость скорости процесса разложения материала ( $\lg R$ ) от потери массы ( $\lg \Delta m$ ) (рис. 5).

На полученной ТГ и ДТГ кривой отмечались значения потери массы навески ( $\Delta m$ ) в мг и значения скорости разложения образца в мг/с в интервале температур от  $240$  до  $290 \text{ }^\circ\text{C}$  с шагом  $10 \text{ }^\circ\text{C}$ . В табл. 3 и на рис. 4, 5 представлены исходные данные для расчета порядка реакции.

Таблица 3. Исходные данные для расчета порядка реакции и предэкспоненциального множителя

$T, \text{ К}$	$\Delta m, \text{ мг}$	$\lg \Delta m$	$10^3/T, \text{ К}$	$R \cdot 10^{-3}, \text{ мг/с}$	$\lg R$
513	0,05	-1,301	1,949	0,67	-3,17
523	0,09	-1,046	1,912	1,17	-2,93
533	0,20	-0,699	1,876	2,67	-2,57
543	0,43	-0,367	1,842	5,00	-2,30
553	0,79	0,102	1,808	6,50	-2,19
563	1,22	0,086	1,776	7,50	-2,12

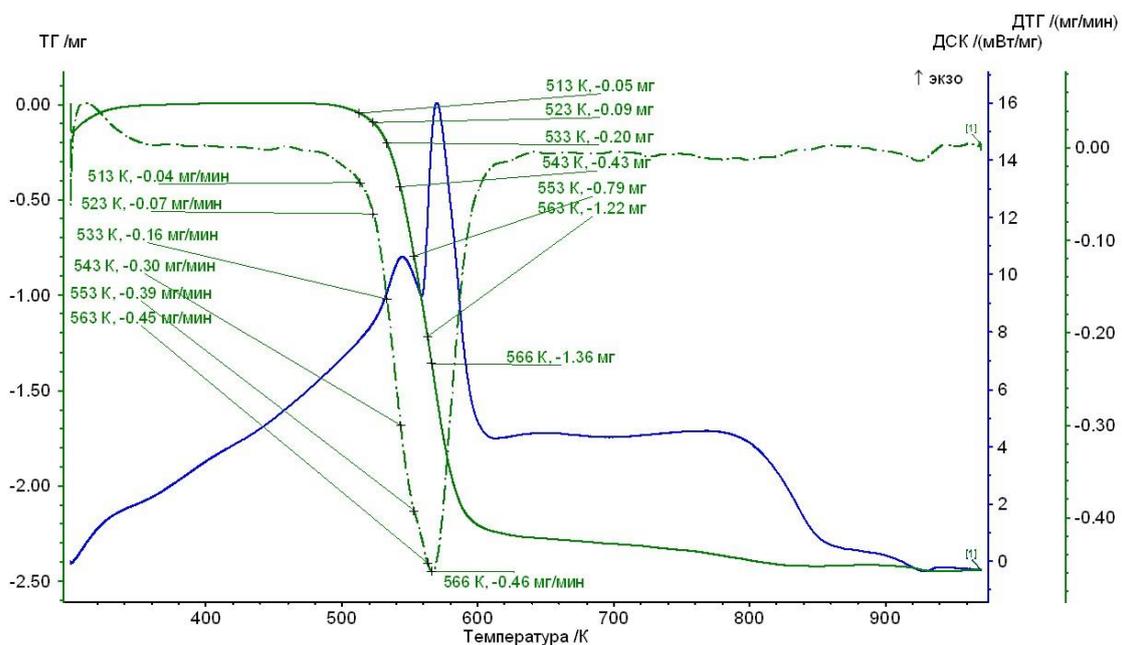


Рис. 4. ТГ, ДТГ и ДСК кривые представленного на исследование материала

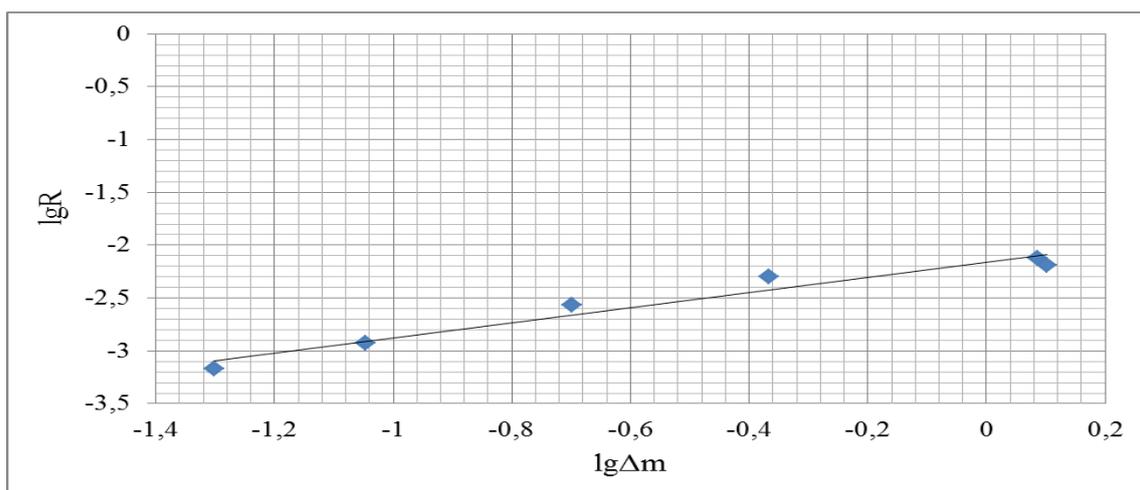


Рис. 5. Логарифмическая зависимость скорости процесса разложения образца (R) от потери массы материала ( $\Delta m$ )

Из логарифмической зависимости определялся порядок реакции  $n$ :

$$n = \text{tg} \cdot \beta = \Delta \lg R / \Delta \lg \Delta m = 1.$$

Эти расчеты подтверждают данные, что механизм термической деструкции полимеров часто имеет первый порядок реакции [5].

Предэкспоненциальный множитель рассчитывался из уравнения Аррениуса:

$$k(T) = A \cdot \exp(-E_a/RT),$$

где  $k(T)$  – константа скорости реакции при одной из температур. В данном случае была взята температура максимальной скорости разложения материала 566 К, поскольку закон действующих масс выражается уравнением:

$$V = k \cdot C, \text{ тогда } k = V/C = 0,00578 \text{ с}^{-1},$$

где  $V$  – скорость реакции разложения при 566 К, мг/с (из ДТГ кривой образца  $V=0,0077$  мг/с);  $C$  – количество вещества в данный момент времени, мг ( $C=C_0-\Delta C=2,692-1,360=1,332$  мг).

Следовательно, значение предэкспоненциального множителя составило:

$$A=k(T)/\exp(-E_a/RT)=0,00578/\exp(-187800/8,31\cdot 566)=0,00578/\exp(-39,93)=0,00578/4,556\cdot 10^{-18}=1,27\cdot 10^{15}\text{ с}^{-1}.$$

Исходя из термокинетических кривых, полученных методом термического анализа, представленные на исследования кубики из пенополиуретана имеют следующие кинетические параметры термоокислительной деструкции: энергию активации  $E_a=187,8$  кДж/моль, порядок реакции  $n=1$  и предэкспоненциальный множитель  $A=1,27\cdot 10^{15}\text{ с}^{-1}$ .

Полученные значения энергии активации, порядка реакции и предэкспоненциального множителя были использованы при моделировании начальной стадии пожара для задания процесса пиролиза кубиков из пенополиуретана.

### Результаты моделирования

На рис.6, 7 представлены различные стадии развития пожара.

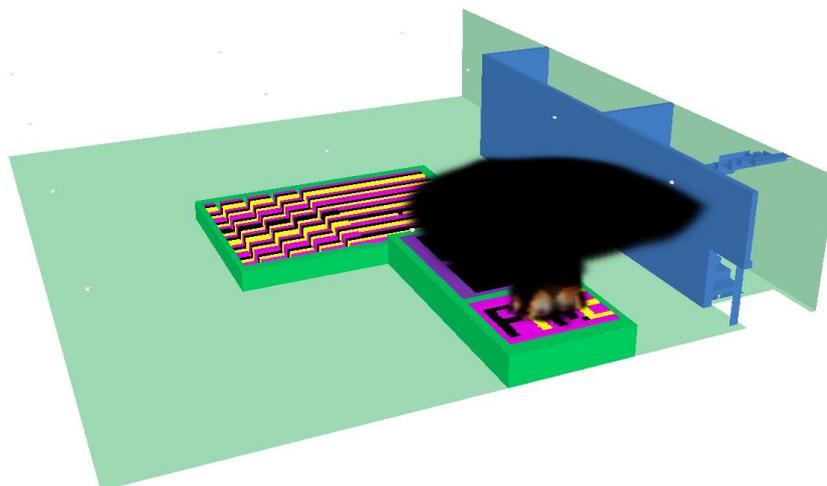


Рис. 6. Начальная стадия пожара, 8 сек. от момента начала горения

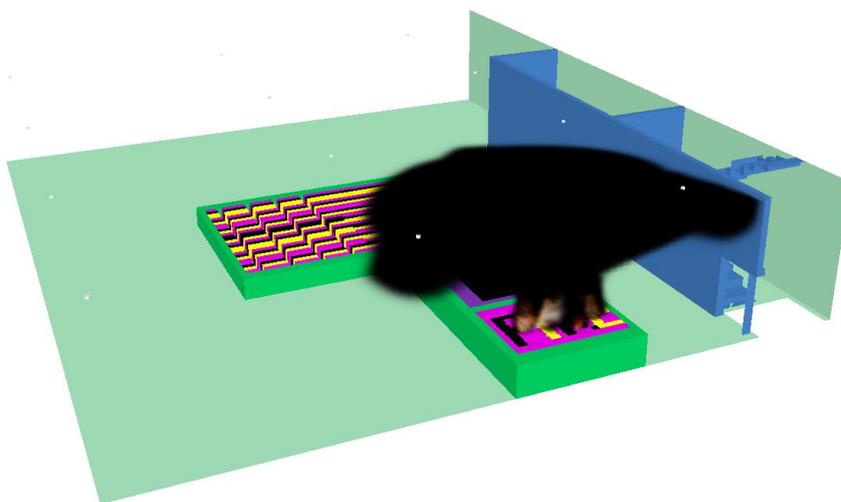


Рис. 7. Начальная стадия пожара, 10 сек. от момента начала горения

В табл. 4, 5 представлены показания датчиков (SD1 и SD2), сработавших первыми, и итоговое время срабатывания АУПС.

Таблица 4. Показания датчиков, сработавших первыми

s	%/m	%/m
FDS Time	SD1	SD2
0,00	0,00	0,00
2,02	0,00	0,00
4,01	0,00	0,00
6,01	0,00	0,00
8,00	0,22	0,00
10,01	49,31	9,39
12,00	99,11	91,58
14,00	100,00	99,99
16,01	100,00	100,00
18,01	100,00	100,00
20,00	100,00	100,00

Анализируя данные табл. 4, в случае рассматриваемой аварийной ситуации первый извещатель первый раз срабатывает через 8–10 сек. после начала горения при условии его настройки на затухание, равное 1,2–4,7 %/м. Второй извещатель срабатывает в тот же временной интервал 8–10 сек. при тех же настройках чувствительности датчика.

Таблица 5. Итоговые значения времен срабатывания АУПС

Расположение очага пожара	Порог затухания, дБ/м (%/м)	Расчетное время срабатывания 1-го извещателя, с	Расчетное время срабатывания 2-го извещателя, с	Инерционность срабатывания (max), с	Итоговое расчетное время срабатывания АУПС, с (мин)
Поролоновая яма	0,05 (1,2)–2,0 (4,7)	8–10	8–10	10,0	20 (0,33)

Далее было проведено моделирование динамики распространения пожара с использованием модели радиального распространения фронта горения с заданной линейной скоростью по усредненной пожарной нагрузке, характерной для помещения рассматриваемого класса функциональной пожарной опасности Ф3.1 (магазины) [1]. Вид 3D модели представлен на рис. 8.

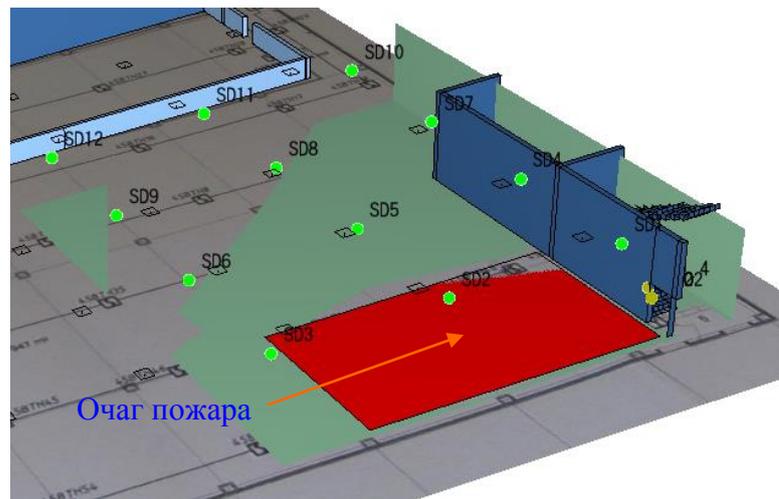


Рис. 8. 3D модель части развлекательного центра (2 способ задания очага пожара)

На рис. 9, 10 представлены различные стадии развития пожара.

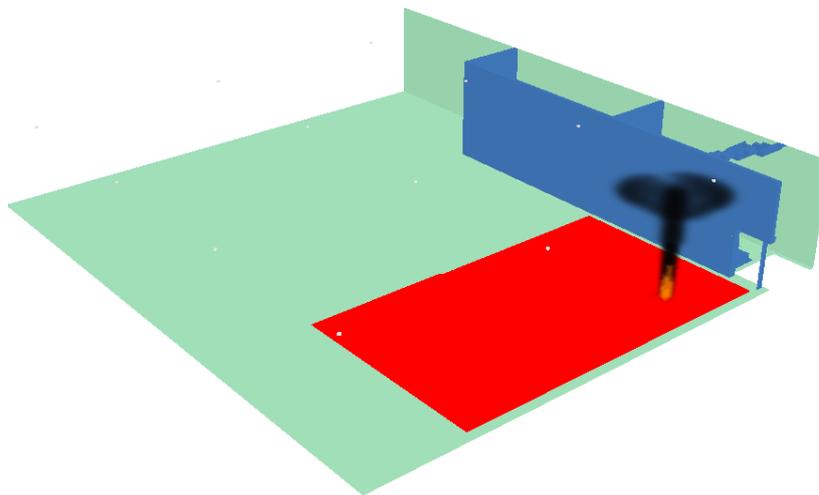


Рис. 9. Начальная стадия пожара (20 сек. от момента начала горения)

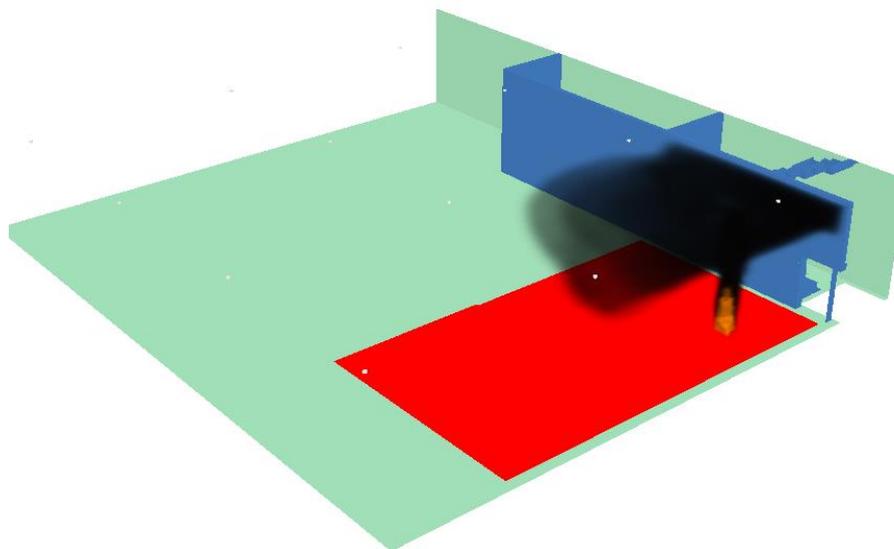


Рис. 10. Начальная стадия пожара (50 сек. от момента начала горения)

В табл. 6, 7 представлены показания датчиков (SD1 и SD2), сработавших первыми, и итоговое время срабатывания АУПС.

Таблица 6. Показания датчиков, сработавших первыми

s	%/м	%/м
FDS Time	SD1	SD2
0,00	0,00	0,00
5,05	0,00	0,00
10,04	0,00	0,00
15,02	0,00	0,00
20,01	5,36	0,00
25,02	68,86	0,00
30,00	88,45	0,00
35,00	94,29	0,00
40,00	98,63	0,82
45,00	99,54	24,32
50,00	99,76	65,67
55,00	99,90	86,72
60,00	99,97	94,85

В случае рассматриваемой аварийной ситуации первый извещатель первый раз срабатывает через 15–20 сек. после начала горения при условии его настройки на затухание равное 1,2–4,7 %/м. Второй извещатель срабатывает во временном интервале 40–45 сек. при тех же настройках чувствительности датчика.

Таблица 7. Итоговые значения времен срабатывания АУПС

Расположение очага пожара	Порог затухания, дБ/м (%/м)	Расчетное время срабатывания 1-го извещателя, с	Расчетное время срабатывания 2-го извещателя, с	Инерционность срабатывания (max), с	Итоговое расчетное время срабатывания АУПС, с (мин)
Поролоновая яма	0,05 (1,2)–2,0 (4,7)	15–20	40–45	10,0	55 (0,92)

Сравнивая результаты двух расчетов, приведенные в табл. 5, 7, можно заключить, что время срабатывания дымовых датчиков и, соответственно, системы в целом находится в зависимости от способа задания распространения горения по пожарной нагрузке. Так, в первом случае при использовании модели пиролиза горючего вещества получаем срабатывание АУПС на 20 сек. от момента начала горения, во втором случае при использовании радиального распространения фронта горения по модельной пожарной нагрузке система срабатывает на 55 сек.

Таким образом, можно сделать вывод, что при оценке эффективности работы автоматической системы пожарной сигнализации, требующей моделирование начальной стадии пожара, необходимо учитывать погрешность используемого подхода к моделированию параметров, определяющих процесс распространения фронта горения.

## Литература

1. Пособие по применению «Методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности». Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
2. National Institute of Standards and Technology // NIST. URL:<https://www.nist.gov/services-resources/software/fds-and-smokeview> (дата обращения: 22.05.2019).
3. Quintiere J.G. Principles of Fire Behavior. New York: Delmar Publishers, 1997. 258 с.
4. Broido A. A Simple, sensitive graphical method of treating thermogravimetric analysis data // J. Polym. Sci. 1969. Pt A-2. Vol. 7. № 10. P. 1761–1773.
5. Павлова С.А., Журавлева И.В., Толчинский Ю.И. Термический анализ органических и высокомолекулярных соединений (методы аналитической химии). М.: Химия, 1983. 120 с.
6. СП 5.13130.2009. Системы противопожарной защиты установки пожарной сигнализации и пожаротушения автоматические нормы и правила проектирования. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

## References

1. Posobie po primeneniyu «Metodiki opredeleniya raschetnyh velichin pozharnogo riska v zdaniyah, sooruzheniyah i stroeniyah razlichnyh klassov funkcional'noj pozharnoj opasnosti». Dostup iz sprav.-pravovoj sistemy «Konsul'tantPlyus».
2. National Institute of Standards and Technology // NIST. URL:<https://www.nist.gov/services-resources/software/fds-and-smokeview> (data obrashcheniya: 22.05.2019).
3. Quintiere J.G. Principles of Fire Behavior. New York: Delmar Publishers, 1997. 258 с.
4. Broido A. A Simple, sensitive graphical method of treating thermogravimetric analysis data // J. Polym. Sci. 1969. Pt A-2. Vol. 7. № 10. P. 1761–1773.
5. Pavlova S.A., Zhuravleva I.V., Tolchinskij Yu.I. Termicheskiy analiz organicheskikh i vysokomolekulyarnyh soedinenij (metody analiticheskoy himii). M.: Himiya, 1983. 120 s.
6. SP 5.13130.2009. Sistemy protivopozharnoj zashchity ustanovki pozharnoj signalizacii i pozharotusheniya avtomaticheskie normy i pravila proektirovaniya. Dostup iz sprav.-pravovoj sistemy «Konsul'tantPlyus».

# МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ КАНДИДАТОВ НА ВАКАНТНУЮ ДОЛЖНОСТЬ В СИСТЕМЕ МЧС РОССИИ

**А.П. Корольков, кандидат технических наук, профессор;**

**А.А. Балобанов;**

**А.И. Сапелкин.**

**Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Рассматривается необходимость внедрения современных систем обработки информации в области кадровых потоков на основе применения математических методов. Разработана модель отбора и оценки кандидатов на вакантную должность в системе МЧС России.

*Ключевые слова:* математическая модель, метод анализа иерархий, отбор и оценка кандидатов, вакантная должность в системе МЧС России

## MODEL EVALUATION OF CANDIDATES FOR THE VACANT POSITION IN THE SYSTEM OF EMERCOM OF RUSSIA

A.P. Korolkov; A.A. Balobanov; A.I. Sapelkin.

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

The article discusses the need for the introduction of modern information processing systems in the field of personnel flows based on the use of mathematical methods. A model of selection and evaluation of candidates for a vacant position in the EMERCOM of Russia.

*Keywords:* mathematical model, method of analysis of hierarchies process, selection and evaluation of candidates, vacant position in the EMERCOM of Russia

Выбор наиболее подходящего для вакантной должности работника (выбор оптимального решения) является крайне важной задачей для руководства любой организации. При условиях постоянного увеличения информационного потока и повсеместной информатизации различных сфер появляется необходимость внедрения современных методов кадровой работы (кадрового подбора), что подразумевает под собой автоматизацию процесса в системе МЧС России. В связи с этим возникает потребность построения системы поддержки принятия решений (СППР). Более эффективной станет работа с кандидатами, выдвигающими свои кандидатуры на замещение вакантных должностей, поскольку появится возможность более детальной проверки по различным критериям, связанным с решением конкретных функциональных задач [1].

Аттестация и проверка сотрудников предполагаемой должности довольно трудоемкий процесс. Информационно-техническая система возьмет на себя ряд наиболее сложных проблем и поможет повысить эффективность работы аттестационной комиссии.

Требуется построить подсистему отбора и оценки кандидата на вакантную должность на основе анализа различных методов принятия решений, которая позволит получать объективную информацию с ориентацией на неподготовленного пользователя.

Для решения данной задачи может быть использован подход, основанный на методе анализа иерархий. Построение математической модели включает реализацию нескольких этапов [2, 3]:

1 этап – построение иерархической структуры задачи многокритериального выбора. Схема иерархической структуры задачи многокритериального выбора приведена на рисунке.

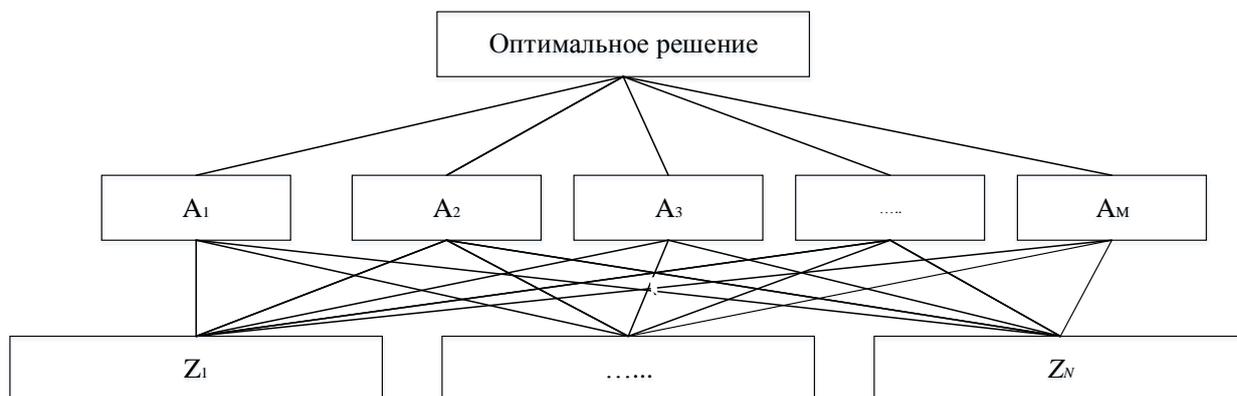


Рис. Схема иерархической структуры задачи многокритериального выбора

2 этап – предварительное ранжирование критериев (парное экспертное сравнение элементов каждого уровня):

$$A = |a_{ij}|, i, j = 1, 2, \dots, M ;$$

$$a_{ji} = \frac{1}{a_{ij}} .$$

Степень предпочтения расставляется экспертами, согласно, их суждений от 1 до 9 (начиная от равной предпочтительности и заканчивая абсолютным предпочтением одного из показателей).

В общем виде расшифровка задачи выглядит следующим образом:  $M$  – количество критериев,  $M=1, 2, \dots, n$ ;  $N$  – количество кандидатов,  $N=1, 2, \dots, n$ ;  $A$  – наименование критериев;  $Z$  – наименование кандидатов;  $a, b$  – весовой показатель критериев.

Пример решения 1 части задачи сравнения показателей критериев представлен в табл. 1.

Таблица 1. Матрица суждений сравнения показателей критериев

Сравнение критериев	$A_1$	$A_2$	....	$A_M$	Компоненты собственного вектора $W$	Компоненты нормализованного вектора приоритетов $\bar{W}$
$A_1$	$a_{11}$	$a_{12}$	....	$a_{1M}$	$W_1 = \sqrt[M]{a_{11} \times a_{12} \times \dots \times a_{1M}}$	$\bar{W}_{11} = \frac{W_1}{S}$
$A_2$	$a_{21}$	$a_{22}$	....	$a_{2M}$	$W_2 = \sqrt[M]{a_{21} \times a_{22} \times \dots \times a_{2M}}$	$\bar{W}_{12} = \frac{W_2}{S}$
....	....	....	....	....	....	....
$A_M$	$a_{M1}$	$a_{M1}$	....	$a_{MM}$	$W_M = \sqrt[M]{a_{M1} \times a_{M2} \times \dots \times a_{MM}}$	$\bar{W}_{1M} = \frac{W_M}{S}$
	$S_1$	$S_2$	....	$S_M$		
$S = W_1 + W_2 + \dots + W_M$						

3 этап – определение вектора-строки столбцовых сумм матрицы суждений:

$$S_1 = a_{11} \times a_{12} \times \dots \times a_{1M} ;$$

$$S_2 = a_{21} \times a_{22} \times \dots \times a_{2M};$$

$$\dots$$

$$S_M = a_{M1} \times a_{M2} \times \dots \times a_{MM}.$$

4 этап – определение вектора приоритетов:

$$W_1 = \sqrt[M]{a_{11} \times a_{12} \times \dots \times a_{1M}};$$

$$W_2 = \sqrt[M]{a_{21} \times a_{22} \times \dots \times a_{2M}};$$

$$\dots$$

$$W_M = \sqrt[M]{a_{M1} \times a_{M2} \times \dots \times a_{MM}}.$$

5 этап – определение вектора-строки столбцовых сумм компонентов собственного вектора матрицы суждений:

$$S = W_1 + W_2 + \dots + W_M.$$

6 этап – определение нормализованного собственного главного вектора матрицы суждений:

$$\bar{W}_{11} = \frac{W_1}{S};$$

$$\bar{W}_{12} = \frac{W_2}{S};$$

$$\dots$$

$$\bar{W}_{1M} = \frac{W_M}{S}.$$

7 этап – определение максимальных собственных значений матрицы суждения:

$$\lambda_{\max} = S_1 \times W_{11} + S_2 \times W_{12} + \dots + S_M \times W_{1M}.$$

8 этап – определение индексов согласованности и отношений согласованности для матрицы суждения:

$$ИС = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}. \quad (1)$$

9 этап – согласованность положительной обратносимметричной матрицы эквивалентна требованию:

$$\lambda_{\max} = n.$$

10 этап – заметим, что  $\lambda_{\max} \geq n$  всегда верно, поэтому:

$$(\lambda_{\max} - n) > 0.$$

11 этап – определение отношения согласованности:

$$OC = \frac{IC}{CC}, \quad (2)$$

где  $CC$  – индекс случайной согласованности.

В табл. 2 представлена числовая зависимость индекса случайной согласованности от количества сравниваемых показателей.

Таблица 2. Значения случайной согласованности для случайных матриц [2]

Порядок матрицы $n$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Случайная согласованность	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

$OC \leq 0,1$  – если данное отношение не выполняется, то возвращаемся к пункту «попарное экспертное сравнение элементов каждого уровня».

12 этап – заполнение матрицы попарных значений для матриц следующего уровня.

Пример решения 2 части задачи оценки кандидатов, а именно сравнения показателей альтернатив, представлен в табл. 3.

Таблица 3. Матрица суждений сравнения показателей альтернатив по каждому критерию

Сравнение кр	$Z_1$	$Z_2$	....	$Z_M$	Компоненты собственного вектора $W$	Компоненты нормализованного вектора приоритетов $\bar{W}$
$Z_1$	$b_{11}$	$b_{12}$	....	$b_{1N}$	$W_1 = \sqrt[N]{b_{11} \times b_{12} \times \dots \times b_{1N}}$	$\bar{W}_{11} = \frac{W_1}{S}$
$Z_2$	$b_{21}$	$b_{22}$	....	$b_{2N}$	$W_2 = \sqrt[N]{b_{21} \times b_{22} \times \dots \times b_{2N}}$	$\bar{W}_{12} = \frac{W_2}{S}$
....	....	....	....	....	....	....
$Z_N$	$b_{N1}$	$b_{N1}$	....	$b_{NN}$	$W_N = \sqrt[N]{b_{N1} \times b_{N2} \times \dots \times b_{NN}}$	$\bar{W}_{1N} = \frac{W_N}{S}$
	$S_1$	$S_2$	....	$S_N$		
$S = W_1 + W_2 + \dots + W_N$						

13 этап – определение вектора-строки столбцовых сумм матрицы суждений:

$$S_1 = b_{11} \times b_{12} \times \dots \times b_{1N};$$

$$S_2 = b_{21} \times b_{22} \times \dots \times b_{2N};$$

$$\dots$$

$$S_M = b_{M1} \times b_{M2} \times \dots \times b_{MN}.$$

14 этап – определение вектора приоритетов:

$$W_1 = \sqrt[N]{b_{11} \times b_{12} \times \dots \times b_{1N}};$$

$$W_2 = \sqrt[N]{b_{21} \times b_{22} \times \dots \times b_{2N}} ;$$

$$W_N = \sqrt[N]{b_{N1} \times b_{N2} \times \dots \times b_{NN}} .$$

15 этап – определение вектора-строки столбцовых сумм компонентов собственного вектора матрицы суждений:

$$S = W_1 + W_2 + \dots + W_N .$$

16 этап – определение нормализованного собственного главного вектора матрицы суждений:

$$\bar{W}_{11} = \frac{W_1}{S} ;$$

$$\bar{W}_{12} = \frac{W_2}{S} ;$$

$$\dots$$

$$\bar{W}_{1N} = \frac{W_N}{S} .$$

17 этап – определение максимальных собственных значений матрицы суждения:

$$\lambda_{n\max} = S_1 \times W_{11} + S_2 \times W_{12} + \dots + S_N \times W_{1N} .$$

18 этап – определение индексов согласованности и отношений согласованности для матрицы суждения (используя формулу 1).

19 этап – определение отношения согласованности (используя формулу 2).

$OS \leq 0,1$  – если данное отношение не выполняется, то возвращаемся к пункту «парное экспертное сравнение элементов каждого уровня».

Данная операция с этапа 12 повторяется в соответствии с количеством критериев отбора ( $n$  матриц =  $n$  повторений операций).

20 этап – определение общего вектора приоритетов:

$$\bar{W}_{M+1} = B \times \bar{W}_M ,$$

где  $B$  – матрица компонент нормированных векторов приоритетов альтернатив первого уровня;  $\bar{W}_M$  – нормированный вектор приоритета критериев второго уровня:

$$\bar{W}_{M+1} = \begin{Bmatrix} W_{M+11} \\ W_{M+12} \\ \dots \\ W_{M+1N} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} W_{11} & W_{12} & \dots & W_{M1} \\ W_{21} & W_{22} & \dots & W_{M2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ W_{1N} & W_{2N} & \dots & W_{MN} \end{Bmatrix} .$$

21 этап – выбор оптимальной альтернативы:

$$P_{opt} : \max \{ W_{M+11}; W_{M+12}; \dots; W_{M+1N} \} .$$

Рассмотренная модель оценки кандидатов на вакантную должность в системе МЧС России позволяет на основе метода анализа иерархий более эффективно решать задачу автоматизации процесса подбора кадров в системе МЧС России.

Использование подсистемы оценки кандидатов позволит, ориентируясь на неподготовленного сотрудника кадровых органов, работая с субъективной информацией [4], получить возможность получения более обоснованного решения и сократить время на принятие решения.

### **Литература**

1. Методические рекомендации по организации кадровой работы в системе МЧС России (утв. ВрИО зам. министра МЧС России И.И. Кобзевым 11 янв. 2019 г.). Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

2. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. М.: Радио и связь, 1993. 320 с.

3. ГОСТ Р 57412–2017. Компьютерные модели в процессах разработки, производства и эксплуатации изделий. Общие положения. М.: Стандартинформ, 2018.

4. Методика отбора и оценки кандидатов для замещения вакантной должности в системе МЧС России / А.А. Балобанов [и др.] // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2019. № 1. С. 76–82.

### **References**

1. Metodicheskie rekomendacii po organizacii kadrovoj raboty v sisteme MCHS Rossii (utv. VrIO zam. ministra MCHS Rossii I.I. Kobzevym 11 yanv. 2019 g.). Dostup iz sprav.-pravovoj sistemy «Konsul'tantPlyus».

2. Saati T. Prinyatie rashchenij. Metod analiza ierarhij. M.: Radio i svyaz', 1993. 320 s.

3. GOST R 57412–2017. Komp'yuternye modeli v processah razrabotki, proizvodstva i ekspluatacii izdelij. Obshchie polozheniya. M.: Standartinform, 2018.

4. Metodika otbora i ocenki kandidatov dlya zameshcheniya vakantnoj dolzhnosti v sisteme MCHS Rossii / A.A. Balobanov [i dr.] // Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MCHS Rossii». 2019. № 1. S. 76–82.

# РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ НАХОЖДЕНИЯ КРАТЧАЙШЕГО МАРШРУТА СЛЕДОВАНИЯ СПЕЦТРАНСПОРТА МЧС РОССИИ К МЕСТУ ВЫЗОВА НА ОСНОВЕ АЛГОРИТМА «ПОИСКА В ШИРИНУ BFS»

**С.Н. Терёхин, доктор технических наук, профессор;**

**А.В. Вострых;**

**И.В. Скуртул.**

**Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Выявлена одна из самых актуальных задач повседневной деятельности оперативных служб МЧС России, а именно выбор оптимального пути доставки сил и средств пожарно-спасательных подразделений к месту вызова. С помощью алгоритма BFS (от англ. breadth-first search) и программной реализации с помощью модели распределённых вычислений MapReduce представлено решение возникающих проблем, связанных с выполнением нормативных регламентов и скорейшего прибытия к месту происшествий в ситуации невозможности использования или отсутствия навигационных средств. Произведена итерационная работа алгоритма на примере Невского района Санкт-Петербурга с учетом кривизны дорог и наличия проблемных участков. Приведен проект программы, строящей оптимальные пути доставки сил и средств.

*Ключевые слова:* силы и средства, подразделения МЧС России, фреймворк MapReduce, оптимальный маршрут следования, алгоритм BFS

## THE DECISION OF THE TASKS OF FINDING THE SHORTEST ROUTE OF THE INVESTIGATION OF THE SPECIAL TRANSPORT OF EMERCOM OF RUSSIA TO THE PLACE OF THE CALL ON THE BASIS OF THE ALGORITHM OF SEARCH IN BFS WIDTH

S.N. Terekhin; A.V. Vostrykh; I.V. Skurtul.

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

Revealed one of the most urgent tasks of the daily activities of operational services EMERCOM of Russia, namely the choice of the best way to deliver forces and means of fire and rescue units to the place of call. Using the BFS algorithm (from the English breadth-first search) and the software implementation using the MapReduce distributed computing model, a solution is presented to emerging problems related to the implementation of regulatory procedures and early arrival to the site of incidents in a situation of inability to use or lack of navigation tools. An iterative algorithm was performed using the example of Nevsky District of Saint-Petersburg, taking into account the curvature of roads and the presence of problem areas. A draft program is presented that builds the best ways to deliver forces and equipment.

*Keywords:* forces and resources, units of EMERCOM of Russia, framework MapReduce, optimal route, BFS algorithm

Сегодня, в быстро растущей динамике движения и строительства современных мегаполисов проблемы защиты населения от происшествий природного и техногенного характера являются наиболее приоритетными. Пожарно-спасательные подразделения МЧС России ежедневно совершают сотни выездов на происшествия различного характера и сложности, больше половины из которых в нашей стране приходится на городскую территорию [1].

Особенностью городской среды является высокоплотный поток движения автотранспорта, вызванный стремительным ростом как количества населения в городах, так и числом водителей. В такой ситуации возникновение пробок, заторов и аварий на дорогах практически непредсказуемо и может внезапно препятствовать подразделениям спасателей, следующих к месту вызова. Используемые в настоящее время устройства навигации и картографические приложения обладают рядом серьёзных недостатков, которые недопустимы в работе оперативных подразделений МЧС России, когда каждая минута может стоить человеческих жизней.

Дающие сбои алгоритмы картографических приложений не гарантируют безотказной работы. Они больше специализированы на сферы услуг, такие как такси, предоставляя не всегда кратчайшие маршруты следования в целях коммерческой выгоды. Ситуации со сбоями в интернет-соединении также могут привести к внезапным трудностям, когда все надежды были направлены на эти сервисы, поэтому разработка программного обеспечения, позволяющего предоставлять оптимальные маршруты следования к месту происшествия для подразделений МЧС России, является достаточно актуальной в настоящее время [2].

Сложность задачи выбора оптимального маршрута доставки сил и средств заключается как в постоянном увеличении количества объектов, находящихся в зоне прикрытия определённого подразделения МЧС России [2–4], так и в постоянно растущей дорожной сети, что приводит к росту числа комбинаций путей, ведущих к месту происшествия. Поэтому основной идеей являться заблаговременное отсечение заведомо ложных маршрутов с учётом проблематичных участков дорог, железнодорожных переездов, количества светофоров и даже поворотов на пути следования, которые снижают скорость пожарно-спасательной техники и, как следствие, увеличивают время прибытия.

В качестве инструмента нахождения оптимальных маршрутов на графе выбран алгоритм «поиск в ширину BFS» [5]. Обход графа в ширину является итеративным алгоритмом. Он работает следующим образом: на каждой итерации производится работа с некоторым множеством вершин, начиная с первой (начальной вершины). От неё находят минимальные расстояния до всех прилегающих к ней смежных вершин. Самой первой вершине  $n_0$  присваиваем значение 0 (рис. 1). Далее рассматриваем все вершины, к которым можно перейти за один шаг от  $n_0$ , это  $n_1, n_2, n_3$ , выделенные оранжевым цветом, и присваиваем им значение 1.

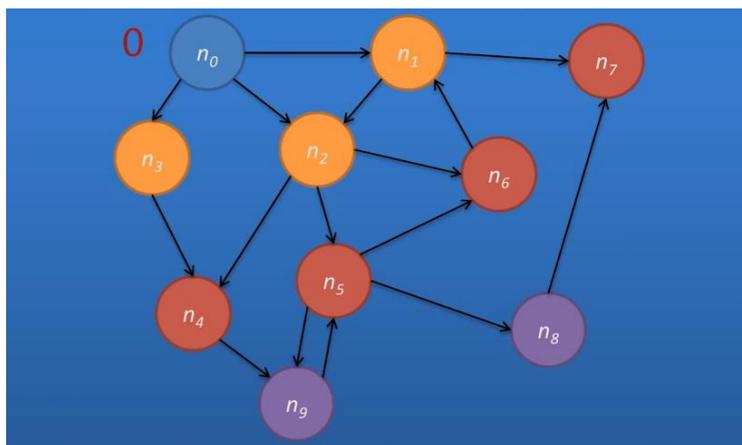


Рис. 1. Параллельный поиск в ширину BFS, начальный этап

На следующей итерации переходим к следующим вершинам, расположенным в одном шаге от  $n_1, n_2, n_3$ , получаем  $n_4, n_5, n_6, n_7$ , присваиваем им значение 2 и выделяем бордовым цветом. На последней итерации, в рассматриваемом примере, переходим от множества вершин  $n_4, n_5, n_6, n_7$  к вершинам, находящимся также на расстоянии одного ребра – это  $n_8$  и  $n_9$ , присваивая им значение 3 и выделяя фиолетовым цветом. Таким образом, пройдя 4 множества (фронта) вершин:

- 1)  $n_0$ ;
- 2)  $n_1, n_2, n_3$ ;
- 3)  $n_4, n_5, n_6, n_7$ ;
- 4)  $n_8$  и  $n_9$  обход завершается (рис. 2).

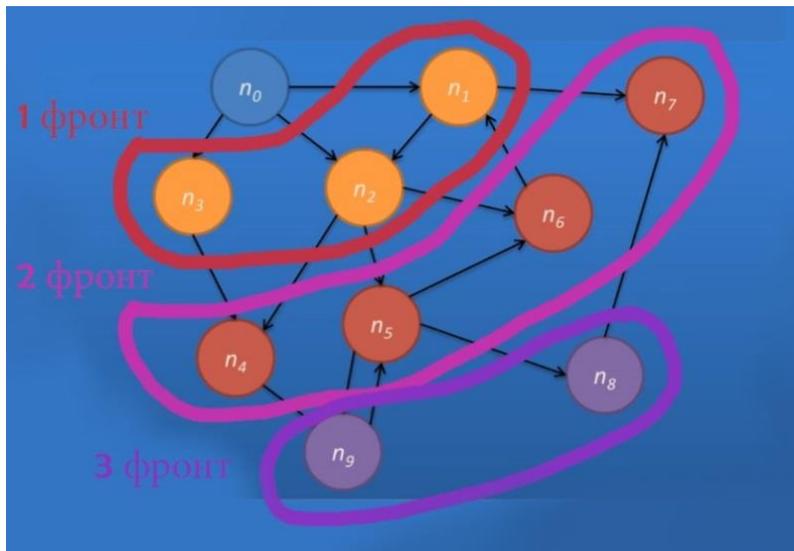


Рис. 2. Распределение вершин по трём фронтам алгоритма BFS

Теперь реализуем алгоритм поиска в ширину с помощью модели распределённых вычислений MapReduce.

MapReduce – это фреймворк, используемый для параллельных вычислений над большими наборами данных в компьютерных кластерах. Вычисления MapReduce проводят на двух этапах: Map и Reduce, названных по аналогии с функциями высшего порядка map и reduce. На Map-шаге производится предварительная обработка входных данных. Для этого главный узел (master node) получает входные данные задачи, разделяет их на части и передает рабочим узлам (worker node) для предварительной обработки. На Reduce-шаге производится свёртка предварительно обработанных данных. Главный узел получает ответы от рабочих узлов и на их основе формирует результат – решение задачи рис. 3.

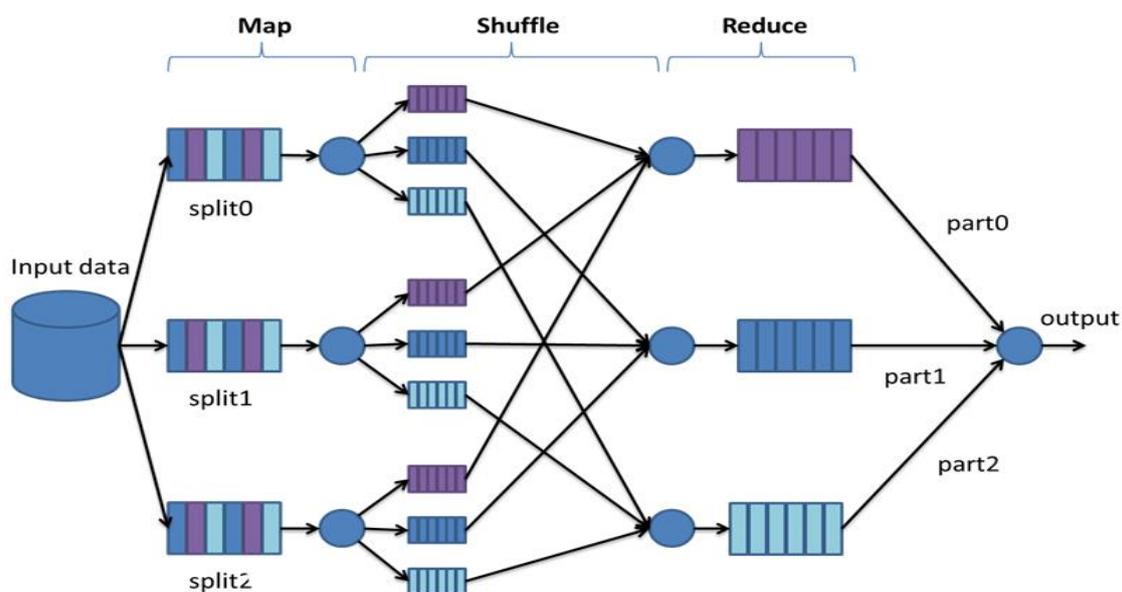


Рис. 3. Схематичное представление работы модели MapReduce

Основное преимущество фреймворка заключается в возможности распределенно производить операции предварительной обработки и свертки, которые работают независимо друг от друга и могут производиться параллельно. Аналогично, множество рабочих узлов может осуществлять свертку [6].

Используем модель MapReduce для расчётов многочисленных вариантов графа возможных путей следования подразделений МЧС России к месту происшествия. Данные будут представляться в виде ключей (*key*) и значений (*value*). В качестве ключа возьмём номер вершины: вершина  $n$  (1, 2, 3, 4...) рис. 4. *Value*:  $d$  (расстояние от начала), *adjacency list* (вершины, доступные из  $n$ ). Инициализация для всех вершин, кроме первой (начальной),  $d = \infty$ .

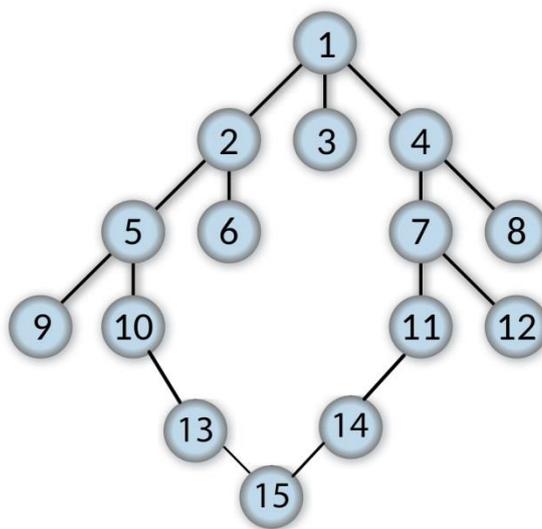


Рис. 4. Примерный граф путей следования пожарно-спасательных подразделений к месту происшествия

Запись первого поля имеет вид:  $1 \rightarrow [0, \{2, 3, 4\}]$ ,

где 1 – номер вершины; 0 – минимальное расстояние до рассматриваемой вершины; {2, 3, 4} – список смежных вершин.

Общая запись имеет вид:

1  $\rightarrow$  [0, {2, 3, 4}]

2  $\rightarrow$  [ $\infty$ , {5, 6}]

3  $\rightarrow$  [ $\infty$ , {}]

4  $\rightarrow$  [ $\infty$ , {7, 8}]

5  $\rightarrow$  [ $\infty$ , {9, 10}]

.....

Так из вершины 2 возможен переход в вершины 5 и 6; вершина 3 не имеет исходящих вершин, потому ей присваивается пустой список {} и т.д. (рис. 5). Изначально, зная, что из первой вершины в первую расстояние равно нулю, присваиваем ей значение 0, остальным вершинам присваиваем  $\infty$ . Проводя итерации эти значения будут постепенно меняться, таким образом, пройдя весь граф получим минимальные расстояния до каждой из вершин. Программная реализация mapper будет иметь вид:

mapper (key, value):

emit (key, value)

$\forall m \in \text{value.adjacency\_list}$ : emit (m, value.d+1).

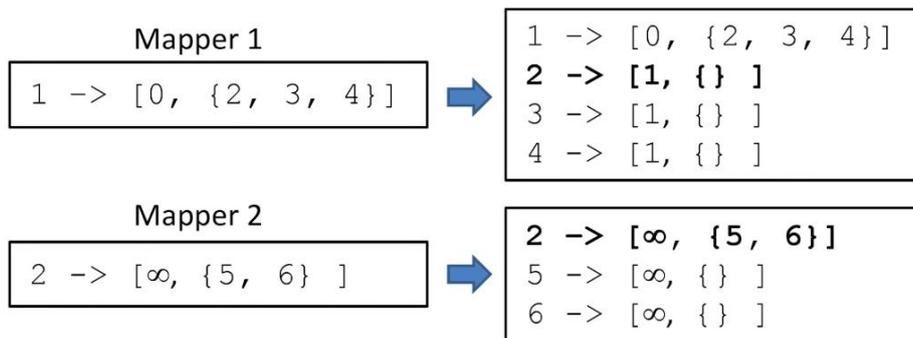


Рис. 5. Визуализация алгоритма в MapReduce

Псевдокод программной реализации алгоритма BFS будет иметь вид:

```

class Reducer
method Reduce (nid m, [d1, d2, ...])
  dmin ← ∞ //минимальное расстояние равно бесконечности
  M ← ∅ //структура графа пока пустая
  For all d ∈ counts [d1, d2, ...] do //перебираем все значения d
  If IsNode (d) then //если это значение хранит список смежностей
  M ← d //тогда запоминаем это значение
  Else if d < dmin then //если расстояние меньше данного
  dmin ← d //то обновляем расстояние
  M.Distance ← dmin //запоминается минимальное расстояние
  Emit (nid m, node M)
  
```

Таким образом, перебрав все значения, получим структуру графа (список смежностей для вершин) и минимальное расстояние до каждой вершины.

Для выполнения алгоритма необходимо запускать несколько итераций (рис. 6). Выход одной программной задачи будет являться входом для другой. На начальном этапе имеем расстояние первой вершины, равное 0, и список смежных вершин. На второй итерации получим расстояние до вершины 2, 3, 4, равное 1, до остальных расстояния остаются равными ∞.

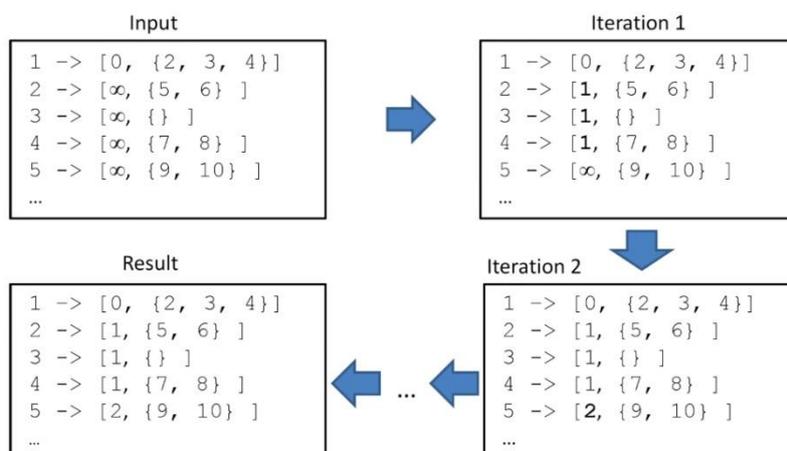


Рис. 6

На следующей итерации на вход берётся новая полученная структура, с помощью которой находим расстояние до вершины 5, получаем значение 2 и т.д. На последней итерации получаем минимальное расстояние до каждой вершины и структуру графа.

Количество итераций будет равно диаметру графа. Алгоритм останавливается после того, как будут получены все расстояния. Для реализации этого необходимо использовать механизм счётчиков в MapReduce (если ещё остались неизвестные расстояния, до каких-либо вершин, то запускается следующая итерация, если нет, то счётчик останавливается). С помощью счётчиков в конце задачи выводится, сколько оказалось неизвестных расстояний до вершин.

Основным преимуществом реализации алгоритма поиска в ширину BFS на MapReduce (в отличии, например, от алгоритма Дейкстры) является возможность обработать граф с большим объёмом данных [7]. Так как в решаемой задаче рассматриваются многочисленные объекты как с массовым пребыванием людей, потенциально опасные объекты, так и жилые здания и широкий спектр комбинаций дорог, по которым можно до них добраться, то данная реализация как нельзя лучше подойдёт для поиска оптимальных путей следования подразделений МЧС России к месту вызова.

Рассмотренный алгоритм будет применяться дважды, первый раз в представленной выше форме:  $\forall m \in value.adjacency\_list: emit(m, value.d+1)$  для оценки выбранного маршрута по количеству точек (поворотов, светофоров), которые являются количеством отдельных рёбер. По результатам расчётов можно будет судить о степени труднодоступности пути.

Вторая реализация будет расширена следующей записью:  $\forall m \in value.adjacency\_list: emit(m, value.d+w_p)$  и критерием остановки алгоритма (итерации завершаются, когда минимальный путь у каждой вершины больше не меняется). С помощью этого становится возможным присвоение каждому ребру определённого веса (длина участка дороги). Этим получим возможность просчитывать кратчайшие пути из всех возможных для выбора оптимального маршрута.

Рассмотрим реализацию алгоритма поиска в ширину на примере имитации пожарной тревоги в общеобразовательной школе № 350. В соответствии с расписанием выезда к месту происшествия будут направлены силы и средства пожарно-спасательной части № 40 Невского района. Смоделируем возможные пути доставки спасателей к месту вызова (рис. 7).

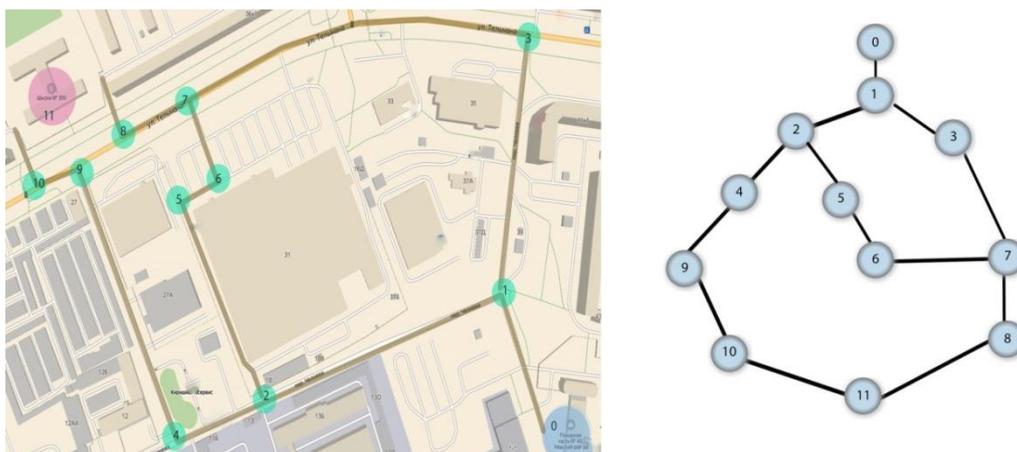


Рис. 7. Граф путей следования пожарно-спасательных подразделений

В процессе моделирования выделено три возможных маршрута доставки сил и средств пожарно-спасательного подразделения:

- 1) 0-1-3-7-8-11;
- 2) 0-1-2-5-6-7-8-11;
- 3) 0-1-2-4-9-10-11;

Произведя расчёты, оказалось, что протяжённость маршрутов равна соответственно 1) 920 м; 2) 870 м; 3) 910 м (рис. 8).

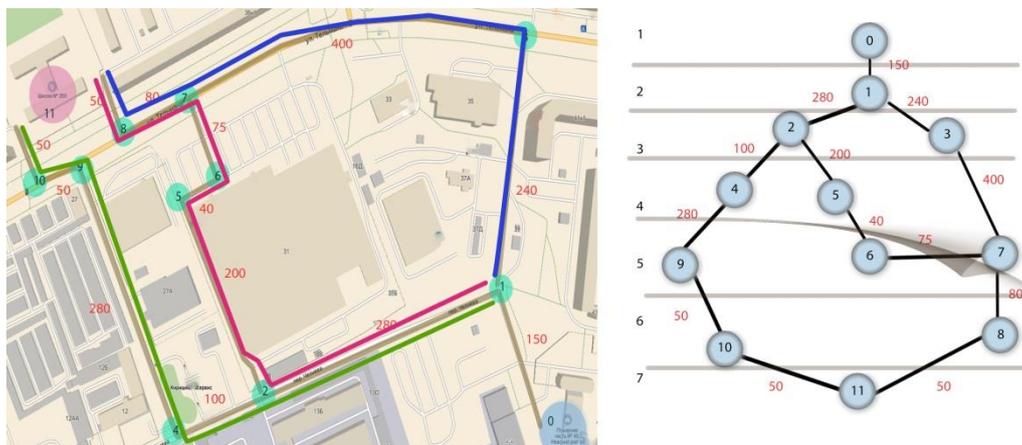


Рис. 8. Возможные маршруты следования с расстояниями

Полученные на первом программном этапе результаты оказались недостаточными для однозначного выбора маршрута, расстояния получились примерно одинаковыми.

Теперь, переходя ко второму программному этапу расчётов оценки оптимальности маршрутов, определим трудоёмкость пути по количеству поворотов и светофоров, влияющих на скорость передвижения:

- 1) 1 светофор, 3 поворота;
- 2) 0 светофоров, 7 поворотов;
- 3) 0 светофоров, 4 поворота.

Таким образом, 3 вариант будет предпочтительнее, по причине отсутствия светофоров, практически наименьшему количеству поворотов и расстоянию до места происшествия.

Приведенный пример на реальных объектах Невского района Санкт-Петербурга показал эффективность и гибкость алгоритма поиска в ширину BFS для определения оптимальных маршрутов следования подразделений МЧС России к возможному месту происшествия. На его основе возможно создание программного продукта с использованием ресурсов фреймворка MapReduce, языка «HTML» и стилей «CSS3» [8, 9] и данных с различных информационных систем [10]. Работа программы будет заключаться в поиске кратчайшего маршрута доставки сил и средств подразделений МЧС России с учётом не только расстояния, но и трудоёмкости маршрута (количества поворотов и светофоров) в случае отсутствия интернет-соединения.

### Литература

1. МЧС России. Чрезвычайные ситуации. Статистика чрезвычайных ситуаций за 2003–2018 гг. // МЧС России. URL: [http://www.mchs.gov.ru/activities/stats/Chrezvichajnie\\_situacii](http://www.mchs.gov.ru/activities/stats/Chrezvichajnie_situacii) (дата обращения: 12.05.2019).
2. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности: Федер. закон Рос. Федерации от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
3. Об утверждении Боевого устава подразделений пожарной охраны, определяющего порядок организации тушения пожаров и проведения аварийно-спасательных работ: Приказ МЧС России от 16 окт. 2017 г. № 444. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
4. Об утверждении Положения о пожарно-спасательных гарнизонах: Приказ МЧС России от 25 окт. 2017 г. № 467. Доступ из информ.-правового портала «Гарант».

5. Левитин А.В. Метод уменьшения размера задачи: Поиск в ширину // Алгоритмы. Введение в разработку и анализ. М.: Вильямс, 2006. 576 с.
6. Dean and S. Ghemawat. MapReduce: Simplified Data Processing on Large Clusters. In OSDI'04, 6th Symposium on Operating Systems Design and Implementation, Sponsored by USENIX, in cooperation with ACM SIGOPS. 2004. S. 137–150.
7. Решение задачи выбора оптимального маршрута следования сил и средств подразделений МЧС России к месту возникновения происшествий с помощью алгоритма Дейкстры / М.В. Буйневич [и др.] // Проблемы управления рисками в техносфере. 2018. № 3 (47). С. 68–79.
8. Дакетт Дж. HTML и CSS. Разработка и дизайн веб-сайтов. М.: Эксмо, 2013. 480 с.
9. Дакетт Дж. Javascript и jQuery. Интерактивная веб-разработка. М.: Эксмо, 2017. 640 с.
10. Терехин С.Н., Вострых А.В. Информационно-управляющая система на основе риск-ориентированного метода обеспечения пожарной безопасности субъекта Российской Федерации. Современные технологии обеспечения гражданской обороны и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций: сб. ст. по материалам X Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. уч. Воронеж, 2019. 507 с.

### References

1. MCHS Rossii. Chrezvychajnye situacii. Statistika chrezvychajnyh situacij za 2003–2018 gg. // MCHS Rossii. URL: [http://www.mchs.gov.ru/activities/stats/Chrezvichajnie\\_situacii](http://www.mchs.gov.ru/activities/stats/Chrezvichajnie_situacii) (data obrashcheniya: 12.05.2019).
2. Tekhnicheskij reglament o trebovaniyah pozharnoj bezopasnosti: Feder. zakon Ros. Federacii ot 22 iyulya 2008 g. № 123-FZ. Dostup iz sprav.-pravovoj sistemy «Konsul'tantPlyus».
3. Ob utverzhdenii Boevogo ustava podrazdelenij pozharnoj ohrany, opredelyayushchego poryadok organizacii tusheniya pozharov i provedeniya avarijno-spatatel'nyh rabot: Prikaz MCHS Rossii ot 16 okt. 2017 g. № 444. Dostup iz sprav.-pravovoj sistemy «Konsul'tantPlyus».
4. Ob utverzhdenii Polozheniya o pozharno-spatatel'nyh garnizonah: Prikaz MCHS Rossii ot 25 okt. 2017 g. № 467. Dostup iz inform.-pravovogo portala «Garant».
5. Levitin A.V. Metod umen'sheniya razmera zadachi: Poisk v shirinu // Algoritmy. Vvedenie v razrabotku i analiz. M.: Vil'yams, 2006. 576 s.
6. Dean and S. Ghemawat. MapReduce: Simplified Data Processing on Large Clusters. In OSDI'04, 6th Symposium on Operating Systems Design and Implementation, Sponsored by USENIX, in cooperation with ACM SIGOPS. 2004. S. 137–150.
7. Reshenie zadachi vybora optimal'nogo marshruta sledovaniya sil i sredstv podrazdelenij MCHS Rossii k mestu vznikoveniya proisshestvij s pomoshch'yu algoritma Dejks'try / M.V. Bujnevich [i dr.] // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2018. № 3 (47). S. 68–79.
8. Dakett Dzh. HTML i CSS. Razrabotka i dizajn veb-sajtov. M.: Eksmo, 2013. 480 s.
9. Dakett Dzh. Javascript i jQuery. Interaktivnaya veb-razrabotka. M.: Eksmo, 2017. 640 s.
10. Terekhin S.N., Vostryh A.V. Informacionno-upravlyayushchaya sistema na osnove risk-orientirovannogo metoda obespecheniya pozharnoj bezopasnosti sub"ekta Rossijskoj Federacii. Sovremennye tekhnologii obespecheniya grazhdanskoj oborony i likvidacii posledstvij chrezvychajnyh situacij: sb. st. po materialam X Vseros. nach.-prakt. konf. s mezhdunar. uch. Voronezh, 2019. 507 s.

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕГРЕССИОННОГО АНАЛИЗА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ГИБЕЛИ ЛЮДЕЙ ПРИ ПОЖАРАХ ОТ ВРЕМЕНИ ПРИБЫТИЯ ПЕРВОГО ПОЖАРНОГО ПОДРАЗДЕЛЕНИЯ НА ПОЖАР

**Е.В. Бобринев, кандидат биологических наук,  
старший научный сотрудник;**

**А.А. Кондашов, кандидат физико-математических наук;**

**Е.Ю. Удавцова, кандидат технических наук.**

**Всероссийский Ордена «Знак Почета» научно-исследовательский институт противопожарной обороны МЧС России**

Проанализирована зависимость гибели и травматизма людей при пожарах от среднего времени прибытия первого подразделения пожарной охраны к месту пожара в Москве и Санкт-Петербурге. Проведено сравнение количества погибших при пожарах в 2013–2018 гг. с аналогичными данными за 2000–2010 гг. Обсуждены пути снижения риска гибели при пожарах.

*Ключевые слова:* оперативное реагирование, тушение пожаров, временные характеристики, пожарно-спасательные подразделения

## THE USE OF REGRESSION ANALYSIS OF INDICATORS OF LOSS OF LIFE IN FIRES FROM THE TIME OF ARRIVAL OF THE FIRST FIRE DIVISION THE FIRE

E.V. Bobrinev; A.A. Kondashov; E.Yu. Udavtsova.

All-Russia research institute for fire protection of EMERCOM of Russia

The dependence of death and injury of people in fires on the average time of arrival of the first fire Department to the fire in Moscow and Saint. Petersburg is analyzed. A comparison of the number of people killed by fire in 2013–2018 with similar data for 2000–2010. Discussed ways to reduce the risk of death in fires.

*Keywords:* rapid response, fire fighting, time characteristics, fire and rescue units

Одной из наиболее часто употребляемых характеристик опасности пожаров является количество смертельных случаев в результате воздействия опасных факторов пожара [1–6].

В соответствии со ст. 79 Технического регламента «О требованиях пожарной безопасности» [7], а также ГОСТ 12.1.004–91 [8], нормативное значение индивидуального пожарного риска регламентируется на уровне не выше  $10^{-6}$  в год.

Это значит, что в течение года от воздействия опасных факторов пожара в стране может погибнуть не более одного человека на миллион жителей.

Решение проблемы гибели людей при пожарах требует реализации комплекса научных, технических и организационных задач. Гибель людей при пожарах относится к случайным событиям со сложными причинно-следственными связями. Один из показателей, влияющих на количество погибших при пожарах людей – это «среднее время прибытия первого пожарного подразделения на пожар».

Снижение среднего времени прибытия первого пожарного подразделения на пожар непосредственно влияет на тяжесть последствий пожара (снижение количества погибших и пострадавших, а также уменьшение материального ущерба) [9–12].

В настоящем исследовании предпринята попытка изучить зависимость риска гибели при пожарах от времени прибытия первого пожарного подразделения на пожар методами регрессионного анализа [13].

В табл. 1 представлены сведения о количестве пожаров, количестве погибших и травмированных на пожарах и прямом материальном ущербе от пожаров в Санкт-Петербурге в зависимости от времени прибытия первого подразделения пожарной охраны к месту пожара за период 2013–2018 гг. [14]. Следует отметить неестественно резкое снижение показателей обстановки с пожарами для времени прибытия более 10 мин.

Таблица 1

Время прибытия первого подразделения пожарной охраны к месту пожара	Кол-во пожаров, ед.	Зарегистрировано погибших людей, чел.	Кол-во травмированных людей, чел.	Прямой ущерб, руб.
1 мин	200	11	11	3,7
2 мин	331	15	18	56,6
3 мин	746	16	47	23,3
4 мин	1703	58	151	129,9
5 мин	3388	133	251	612,3
6 мин	3911	154	305	592,8
7 мин	1855	73	153	264,0
8 мин	1626	72	98	144,0
9 мин	1033	57	58	425,9
10 мин	1185	58	97	3356,9
11 мин	83	4	5	2411,1
12 мин	55	3	6	37,2
13 мин	42	3	7	1,6
14 мин	34	5	3	8,3
15 мин	24	1	5	10,1
16–20 мин	71	3	2	36,3
21–30 мин	26	1	3	1,2
более 30 мин	14	0	3	0,05

На рис. 1 представлена зависимость количества погибших на 100 пожаров от времени прибытия первого подразделения к месту пожара в Санкт-Петербурге, а на рис. 2 показан результат аппроксимации данной зависимости в интервале времени прибытия от 3 до 13 мин с использованием линейной функции:

$$N_{гиб} = 0,3578t_{приб} + 1,6469, \quad (1)$$

коэффициент корреляции  $R=0,912$ .

Как следует из полученной зависимости, при увеличении времени прибытия первого подразделения на место пожара с 1 мин до 10 мин количество погибших на 100 пожаров возрастает с 2,0 до 5,2 человек, или в 2,6 раза.

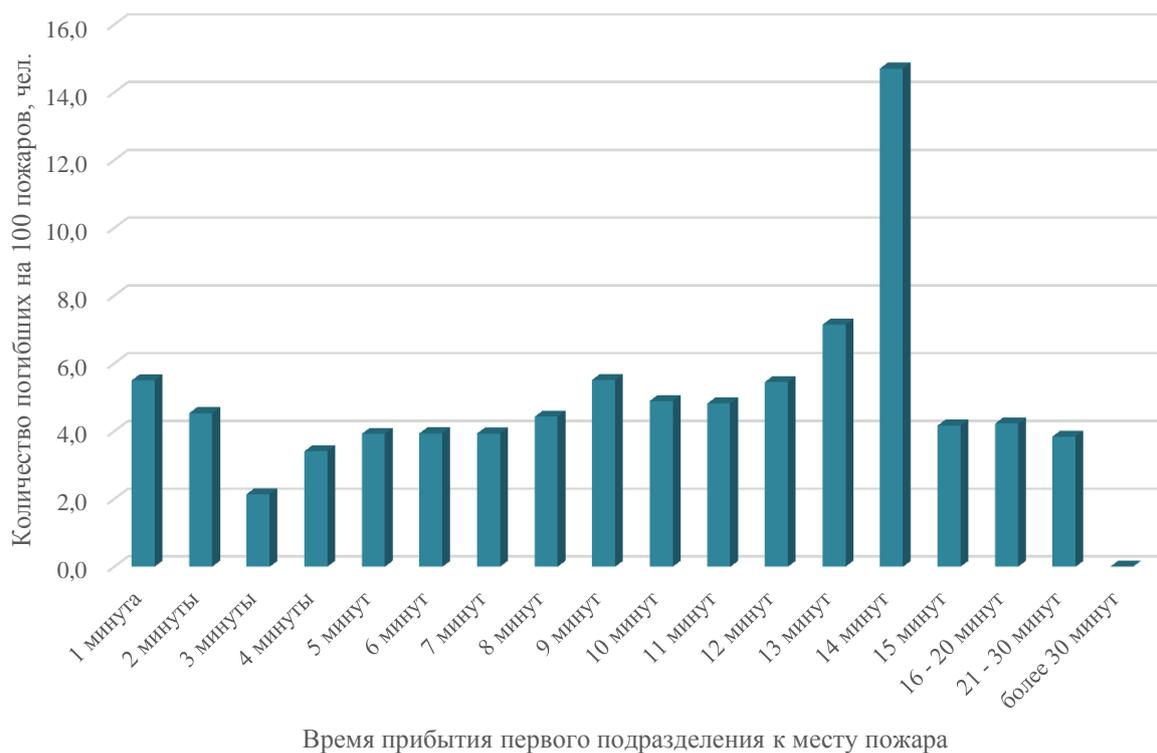


Рис. 1

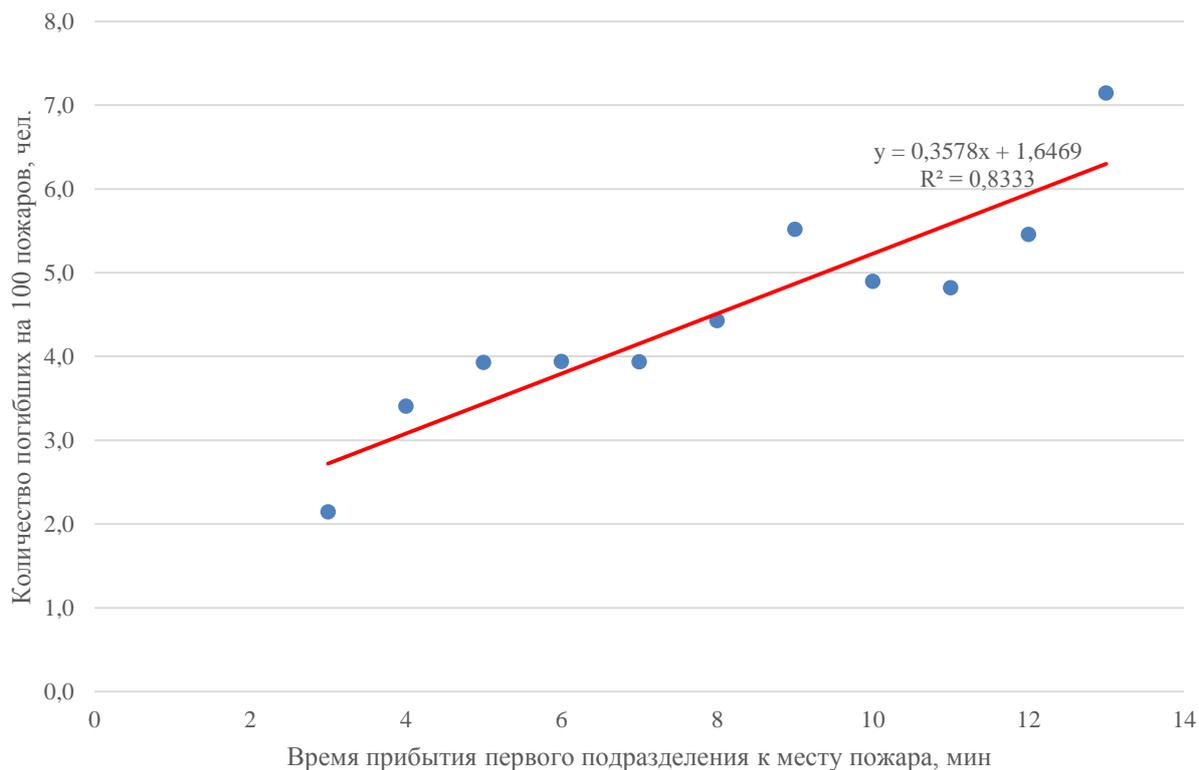


Рис. 2. Результат аппроксимации зависимости количества погибших на 100 пожаров от времени прибытия первого подразделения к месту пожара в Санкт-Петербурге методом наименьших квадратов

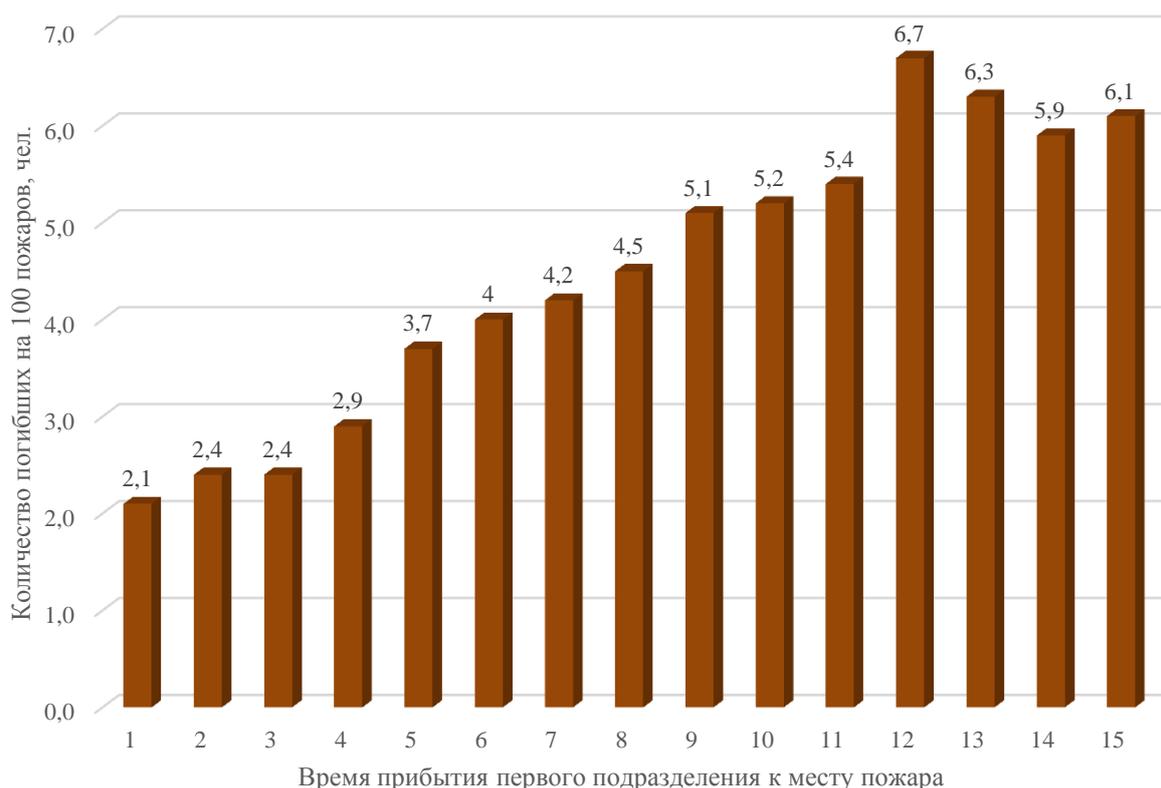


Рис. 3

Для сравнения на рис. 3 приведена зависимость количества погибших на 100 пожаров от времени прибытия первого подразделения к месту пожара в Москве из статьи [9]. Для анализа авторы использовали статистические данные за 11 лет с 2000 по 2010 гг. Данная зависимость описывается линейной функцией:

$$N_{гиб} = 0,3593t_{приб} + 1,6538, \quad (2)$$

коэффициент корреляции  $R=0,992$ .

Интересно отметить, что зависимость (2) совпадает в пределах статистических погрешностей с зависимостью (1) для Санкт-Петербурга, приведенной на рис. 2.

В табл. 2 представлены сведения о количестве пожаров, количестве погибших и травмированных на пожарах и прямом материальном ущербе от пожаров в Москве в зависимости от времени прибытия первого подразделения пожарной охраны к месту пожара за период 2013–2018 гг. Снова следует отметить резкое падение показателей обстановки с пожарами для времени прибытия более 10 мин.

На рис. 4 представлена зависимость количества погибших на 100 пожаров от времени прибытия первого подразделения к месту пожара в Москве, а на рис. 5 показан результат аппроксимации данной зависимости в интервале времени прибытия от 3 до 10 мин с использованием линейной функции:

$$N_{гиб} = 0,2214t_{приб} + 0,9238 \quad (3)$$

где  $N_{гиб}$  – количество погибших в расчете на 100 пожаров, чел.;  $t_{приб}$  – время прибытия первого караула к месту пожара, мин; коэффициент корреляции  $R=0,913$ .

Как следует из полученной зависимости, при увеличении времени прибытия первого подразделения на место пожара с 1 мин до 10 мин количество погибших на 100 пожаров возрастает с 1,4 до 3,2 человек или в 2,3 раза.

Таблица 2

Время прибытия первого подразделения пожарной охраны к месту пожара	Кол-во пожаров, ед.	Зарегистрировано погибших людей, чел.	Кол-во травмированных людей, чел.	Прямой ущерб, руб.
1 мин	388	8	21	152,5
2 мин	1143	17	91	94,1
3 мин	2607	34	194	214,2
4 мин	4483	82	354	666,5
5 мин	5320	110	489	781,0
6 мин	5134	132	537	1973,6
7 мин	4191	106	394	717,6
8 мин	3051	82	303	732,6
9 мин	2206	70	217	797,6
10 мин	1751	48	191	1193,0
11 мин	517	23	49	8,3
12 мин	285	4	56	16,8
13 мин	220	2	17	136,9
14 мин	239	6	24	210,6
15 мин	181	4	20	44,5
16–20 мин	905	39	69	35,1
21–30 мин	416	20	31	0,9
более 30 мин	112	2	4	12,0

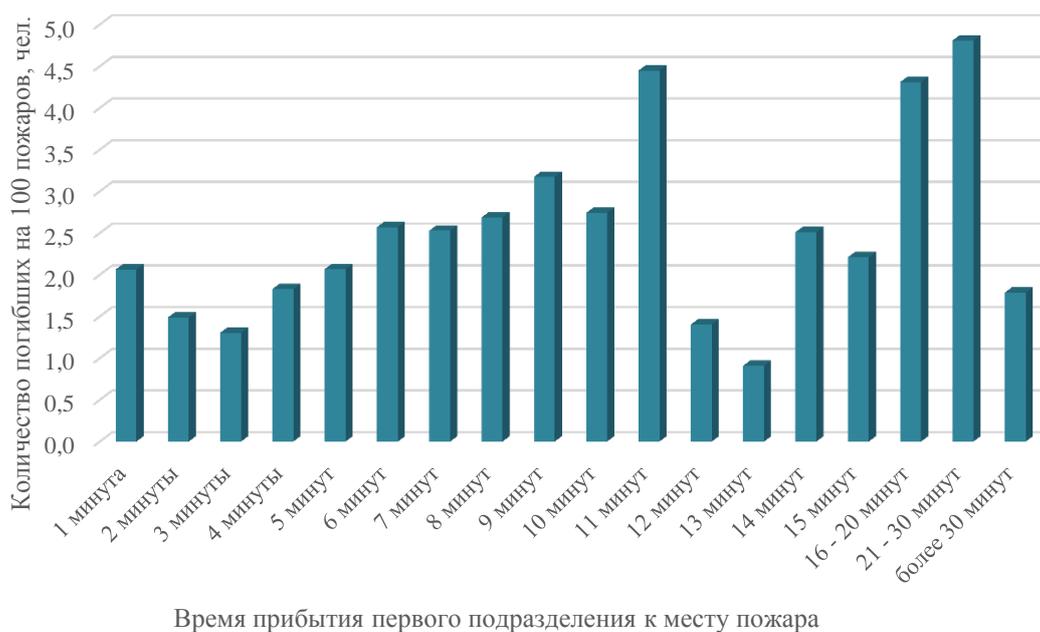
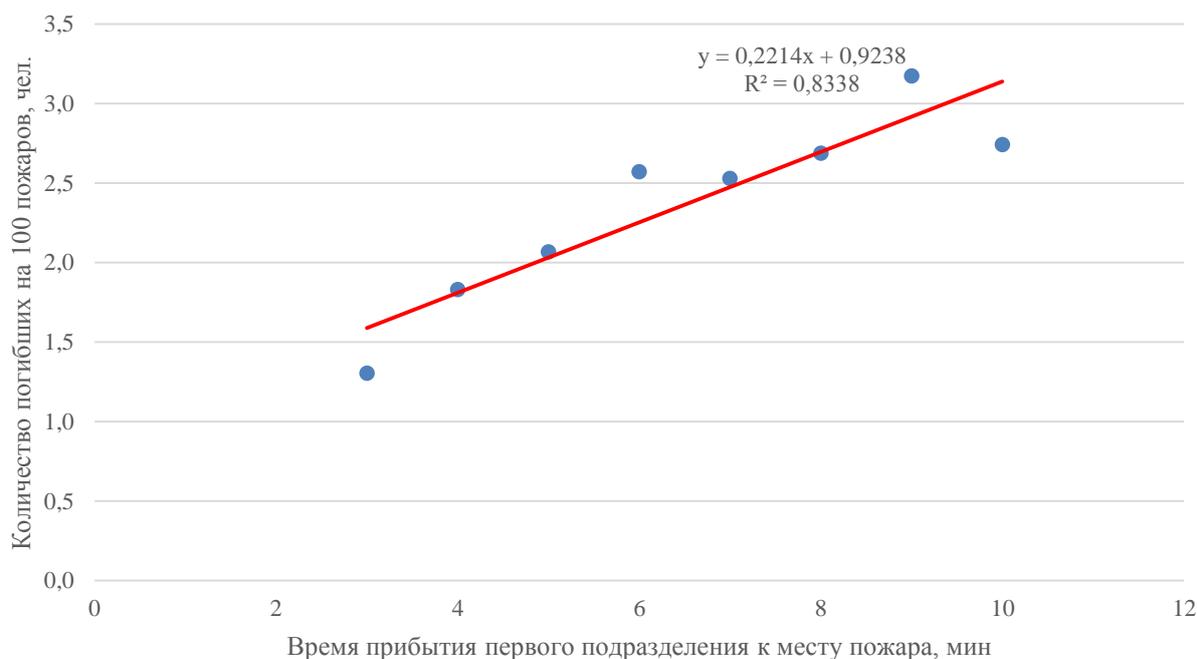


Рис. 4



**Рис. 5. Результат аппроксимации зависимости количества погибших на 100 пожаров от времени прибытия первого подразделения к месту пожара в Москве методом наименьших квадратов**

Следует отметить, что зависимость для Москвы (3), полученная в настоящей работе для данных за период с 2013 по 2018 гг., дает существенно меньшие значения количества погибших на 100 пожаров, чем зависимость (2) из работы [9].

На основании полученных зависимостей можно оценить время от момента возникновения пожара до момента поступления сообщения о пожаре в пожарную часть. В момент возникновения пожара риск гибели человека равен нулю. По мере развития пожара этот риск увеличивается и к моменту прибытия первого подразделения для времени прибытия одна минута для Москвы по данным статьи [9] составляет 2,1 погибших на 100 пожаров. Если экстраполировать зависимость количества погибших на пожарах от времени прибытия к моменту начала пожара, то координата точки пересечения прямой (2) с осью абсцисс даст время от момента начала пожара до поступления сообщения о пожаре. Искомое время составляет  $t_0=4,6$  мин для данных [9] за период 2000–2010 гг. Аналогичное время, определенное из формулы (3) для данных за период 2013–2018 гг., составляет  $t_0=4,2$  мин.

Таким образом, возможны несколько подходов для решения проблемы снижения риска гибели людей на пожарах:

1. Посредством снижения времени прибытия подразделений пожарной охраны к месту возникновения пожара.

Для этого необходимо строительство новых и реконструкция существующих депо, оснащение их современной техникой и пожарно-техническим вооружением. Как показывают проведенные расчеты, сокращение времени прибытия на одну минуту приведет к уменьшению риска гибели примерно на 0,3 человека на 100 пожаров.

2. Посредством оборудования жилых помещений автономными пожарными извещателями, что позволит сократить время от начала пожара до прибытия подразделений пожарной охраны к месту возникновения пожара.

3. Посредством оборудования жилых помещений первичными средствами пожаротушения, что позволит уменьшить количество пожаров.

## Литература

1. Динамика и анализ рисков гибели детей и взрослых при пожарах в СССР за 1946–1990 гг. / Н.Н. Брушлинский [и др.] // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. 2009. № 3. С. 72–78.
2. Статистический анализ гибели и травмирования людей при пожарах в странах мира и России (2008–2012 гг.) / Н.Н. Брушлинский [и др.] // Медико-биологические и социально-психологические проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях. 2015. № 2. С. 30–37.
3. Риски гибели и вреда здоровью городского и сельского населения России при пожарах (1996–2015 гг.) / В.И. Евдокимов [и др.] // Медико-биологические и социально-психологические проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях. 2016. № 4. С. 5–17.
4. Яцукевич А.Н. Анализ гибели людей на пожарах в Беларуси за 2005–2010 гг. // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. 2011. № 2 (30). С. 54–65.
5. Кайбичев И.А., Кайбичева Е.И. Всемирный индекс гибели людей при пожарах // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. 2014. Т. 1. № 1 (5). С. 153–158.
6. Гармышев В.В. Оценка риска гибели людей при пожарах в Сибирском федеральном округе // XXI век. Техносферная безопасность. 2016. Т. 1. № 2 (2). С. 119–132.
7. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности: Федер. закон от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ // Собр. законодательства Рос. Федерации. 2008. № 30. Ч. 1. С. 3579.
8. ГОСТ 12.1.004–91\*. Пожарная безопасность. Общие требования. М.: Стандарт, 1992. 82 с.
9. Фактор времени / Н.Н. Брушлинский [и др.] // Пожарное дело. 2012. № 4. С. 26–29.
10. Ищенко А.Д. О готовности пожарных подразделений к выездам в случаях гибели и травмирования людей при пожарах // Технологии техносферной безопасности. 2013. Вып. № 1 (47).
11. Максимов А.В. Анализ оперативной деятельности подразделений ГПС МЧС России // Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты). 2015. № 1 (13). С. 67–73.
12. Алексеев С.П. О снижении времени прибытия первого пожарного подразделения к месту пожара // Технологии техносферной безопасности. 2015. Вып. № 2 (60).
13. Дрейпер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ. Множественная регрессия. 3-е изд. М.: Диалектика, 2007. 912 с.
14. Статистика пожаров за 2018 год. URL: <https://sites.google.com/site/statistikapozaro/home/rezultaty-rascetov/operativnyye-dannye-po-pozaram>. (дата обращения: 29.01.2019 г.).

## References

1. Dinamika i analiz riskov gibeli detej i vzroslyh pri pozharah v SSSR za 1946–1990 gg. / N.N. Brushlinskij [i dr.] // Pozhary i chrezvychajnye situacii: predotvrashchenie, likvidaciya. 2009. № 3. S. 72–78.
2. Statisticheskij analiz gibeli i travmirovaniya lyudej pri pozharah v stranah mira i Rossii (2008–2012 gg.) / N.N. Brushlinskij [i dr.] // Mediko-biologicheskie i social'no-psihologicheskie problemy bezopasnosti v chrezvychajnyh situacijah. 2015. № 2. S. 30–37.
3. Riski gibeli i vreda zdorov'yu gorodskogo i sel'skogo naseleniya Rossii pri pozharah (1996–2015 gg.) / V.I. Evdokimov [i dr.] // Mediko-biologicheskie i social'no-psihologicheskie problemy bezopasnosti v chrezvychajnyh situacijah. 2016. № 4. S. 5–17.
4. Yacukevich A.N. Analiz gibeli lyudej na pozharah v Belarusi za 2005–2010 gg. // CHrezvychajnye situacii: preduprezhdenie i likvidaciya. 2011. № 2 (30). S. 54–65.
5. Kajbichev I.A., Kajbicheva E.I. Vsemirnyj indeks gibeli lyudej pri pozharah // Pozharnaya bezopasnost': problemy i perspektivy. 2014. T. 1. № 1 (5). S. 153–158.
6. Garmyshev V.V. Ocenka riska gibeli lyudej pri pozharah v Sibirskom federal'nom okruge // XXI vek. Tekhnosfernaya bezopasnost'. 2016. T. 1. № 2 (2). S. 119–132.

7. Tekhnicheskij reglament o trebovaniyah pozharnoj bezopasnosti: Feder. zakon ot 22 iyulya 2008 g. № 123-FZ // Sobr. zakonodatel'stva Ros. Federacii. 2008. № 30. Ch. 1. S. 3579.
8. GOST 12.1.004–91\*. Pozharnaya bezopasnost'. Obshchie trebovaniya. M.: Standart, 1992. 82 s.
9. Faktor vremeni / N.N. Brushlinskij [i dr.] // Pozharnoe delo. 2012. № 4. S. 26–29.
10. Ishchenko A.D. O gotovnosti pozharnyh podrazdelenij k vyezdam v sluchayah gibeli i travmirovaniya lyudej pri pozharah // Tekhnologii tekhnosfernoj bezopasnosti. 2013. Vyp. № 1 (47).
11. Maksimov A.V. Analiz operativnoj deyatel'nosti podrazdelenij GPS MCHS Rossii // Prirodnye i tekhnogennye riski (fiziko-matematicheskie i prikladnye aspekty). 2015. № 1 (13). S. 67–73.
12. Alekseev S.P. O snizhenii vremeni pribytiya pervogo pozharnogo podrazdeleniya k mestu pozhara // Tekhnologii tekhnosfernoj bezopasnosti. 2015. Vyp. № 2 (60).
13. Drejper N., Smit G. Prikladnoj regressionnyj analiz. Mnozhestvennaya regressiya. 3-e izd. M.: Dialektika, 2007. 912 s.
14. Statistika pozharov za 2018 god. URL: <https://sites.google.com/site/statistikapozaro/home/rezultaty-rascetov/operativnye-dannye-po-pozaram>. (data obrashcheniya: 29.01.2019 g.).

# СЕГМЕНТАЦИЯ ПОЛУТОНОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ НА ОСНОВЕ ДИСПЕРСИОННОГО АНАЛИЗА

**М.С. Крюкова;**

**Ш.С. Фахми, доктор технических наук.**

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

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

**Российской академии наук;**

**Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)**

Рассматривается комбинированный метод обнаружения и бинаризации лесных пожаров видеопотока на основе порогового анализа интенсивности яркостей пикселей исходного изображения в реальном времени. Предложен математический аппарат бинаризации на основе анализа внутригрупповых и межгрупповых дисперсий. Приведены результаты тестирования различных видеопотоков, полученные со спутников, беспилотников и специальных вышек видеонаблюдения за лесными пожарами. Рассчитаны количественные показатели эффективности систем сегментации изображений лесных пожаров: сложность алгоритмов, скорость обработки и средняя сложность вычислительных затрат.

*Ключевые слова:* обнаружение, сегментация, бинаризация, видеосистема, лесные пожары, дисперсия

## SEGMENTATION OF GRAY SCALE IMAGES OF FOREST FIRES ON THE BASIS OF VARIANCE ANALYSIS

M.S. Kryukova; Sh.S. Fahmi.

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

Solomenko institute of transport problems of the Russian Academy of sciences;

The first electrotechnical university

The paper considers a combined method of detection and binarization of forest fires video stream based on the threshold analysis of the intensity of the brightness of the pixels of the original image in real time. Proposed a mathematical apparatus of binarization based on the analysis of intragroup and intergroup variances. The results of testing various video streams are presented received from satellites, drones and special surveillance towers for forest fires. Quantitative indicators of efficiency of forest fire image segmentation systems are obtained: complexity of algorithms, processing speed and average complexity of computational costs.

*Keywords:* detection, segmentation, binarization, video systems, forest fires, dispersion

Технологии обнаружения объектов, в частности лесных пожаров (ЛП), являются важной темой в области компьютерного зрения, обработки изображений и распознавания образов для систем обеспечения контроля и безопасности жизнедеятельности человека. Камеры являются широко используемыми сенсорными устройствами из-за информационных свойств, малой стоимости, практичности и защиты от помех. Приборы с зарядовой связью, комплементарные металлооксидные полупроводники и другие видеодатчики могут воспринимать информацию об окружающей среде, собирать видеoinформацию и передавать ее компьютеру [1, 2].

Одна из наиболее актуальных задач компьютерного зрения в области мониторинга – это задача обнаружения ЛП, оценка рисков и их классификация. В рамках этой задачи

требуется определить, принадлежит ли некоторый объект (в данном случае, пожар) на изображении к определенному классу (ЛП). Примером такой задачи является задача об обнаружении и распознавании очагов и мест возгорания на изображениях и классификации их в зависимости от степени и уровня возгорания [3, 4]. Изображения могут быть получены из разных камер видеонаблюдения: беспилотников, спутников дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) или других камер слежения за состояниями лесов.

Поскольку требования к качеству результатов анализа видеoinформации высоки, то проблема сегментации изображений всегда актуальна и востребована при обработке изображений и распознавании образов.

Сегментация изображения – это процесс разделения изображения на различные области. Одним из специальных эффективных инструментов сегментации является использование порогового подхода (threshold) [5, 6]. Поиск подходящего значения порога яркости на основе гистограммы распределения яркостей пикселей позволяет классифицировать их по двум группам (например, передний план и фон). В результате группировки каждая группа изображений будет представлена набором пикселей и изолирована от остальной части сцены, следовательно, цель состоит в том, чтобы найти критическое значение порога, позволяющее разделить объект от фона с учетом функции распределения интенсивности пикселей.

### **Постановка задачи исследования**

Наиболее часто встречающийся способ выбора значения порога сегментации – это фиксация значения оттенков серого в качестве порога и классификация каждого оттенка серого путем проверки текущего значения яркости пикселя выше или ниже уровня значения. Далее порог должен находиться в глобальном минимуме гистограммы для обеспечения операции среза исходного изображения с помощью управляющей бинарной маски. После вычисления значений порогов для сегментации необходимо выполнить переход обратно от фрагментов гистограммы к сегментам изображения одновременно с фильтрацией и удалением шумов и помех для четкого выделения границ и уровней горения.

Следует подчеркнуть, что для четкого изображения гистограмма имеет глобальный минимум между двумя пиками распределения яркостей пикселей (рис. 1). Поэтому оптимальное пороговое значение можно найти в интервале между пиками в области минимумов на гистограмме распределения яркостей пикселей [7].

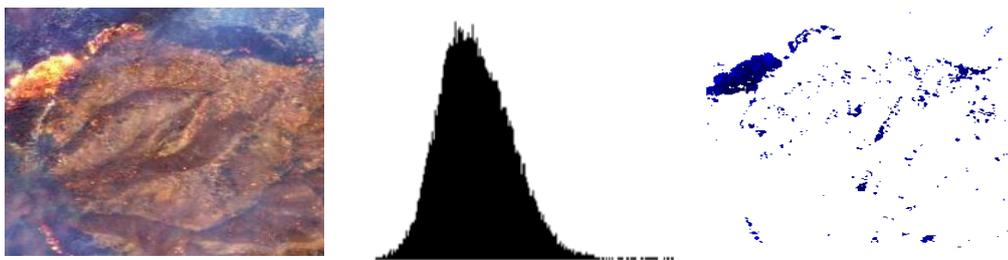
На практике часто гистограмма изображений ЛП имеет мультимодальный характер распределения (рис. 1) и для сегментации предложенный алгоритм должен учитывать каждый из четко выраженных максимумов (вершин пиков). Чтобы найти подходящий порог, необходимо определить пики на гистограмме, затем осуществить поиск минимумов – границ на основе дисперсионного анализа [8].

Для реализации алгоритма поиска порога на основе концепции подобия между уровнями серого допускаются следующие предположения:

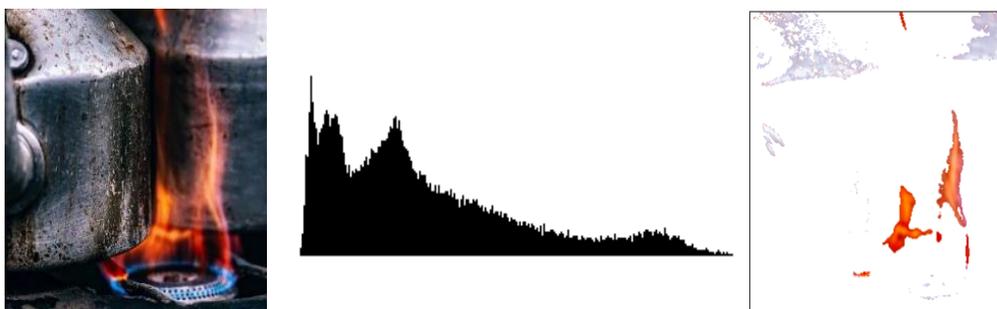
- а) существует значительный контраст между объектами и фоном;
- б) наличие максимумов (мод) на гистограмме и изображений является полутоновым.

Теоретически оптимальное пороговое значение может быть определено по правилу Байеса, если известно распределение пикселей обоих классов [9].

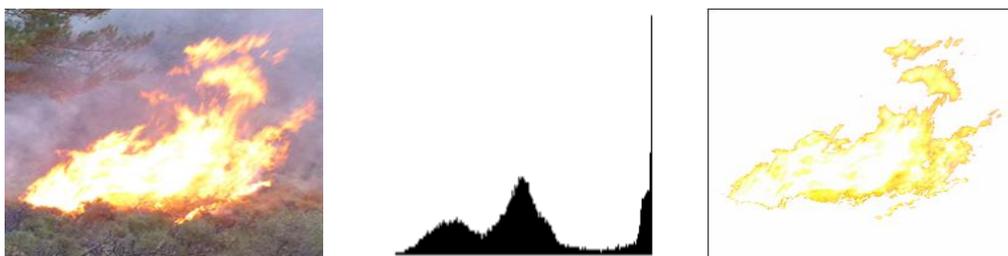
Например, если гистограмма имеет только один пик (рис. 1 а), то сегментация представляет собой разделение изображения на две области: пожар (отображена на рис. 1 а синим цветом) и непожар (белый фон). Однако часто на практике на гистограмме имеет место быть более двух пиков распределений (рис. 1 б–д), и часто они перекрываются и почти невозможно определить границу между пиками из-за многоуровневого порога, следовательно, задача разделения объекта от фона становится сложной и для её решения необходима дополнительная обработка, основанная на учете дисперсии и формы распределений классов изображений [10, 11].



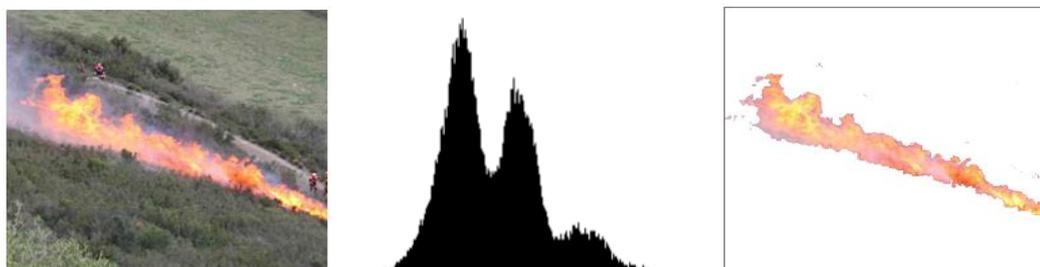
а) ЛП со спутника ДЗЗ, одномодальная гистограмма и сегментация



б) Пожар в помещении, мультимодальная гистограмма и сегментация



в) ЛП с вышки наблюдения, трехмодальная гистограмма и сегментация



г) ЛП с беспилотника, трехмодальная гистограмма и сегментация



д) Пожар в помещении, трехмодальная гистограмма и сегментация

Рис. 1. Примеры построения гистограмм и сегментации изображений

## Методика перехода от гистограммы к дендрограмме изображений

Проблема многоуровневого порога и анализа гистограммы тесно связана с проблемой кластеризации и с точным определением границ разделения изображения на несколько классов [12, 13]. В данной работе используется итеративное объединение кластеров для формирования дендрограммы на основе автоматического объединения попарно соседних групп (однородные области по яркости) гистограммы полутонового изображения (рис. 2).

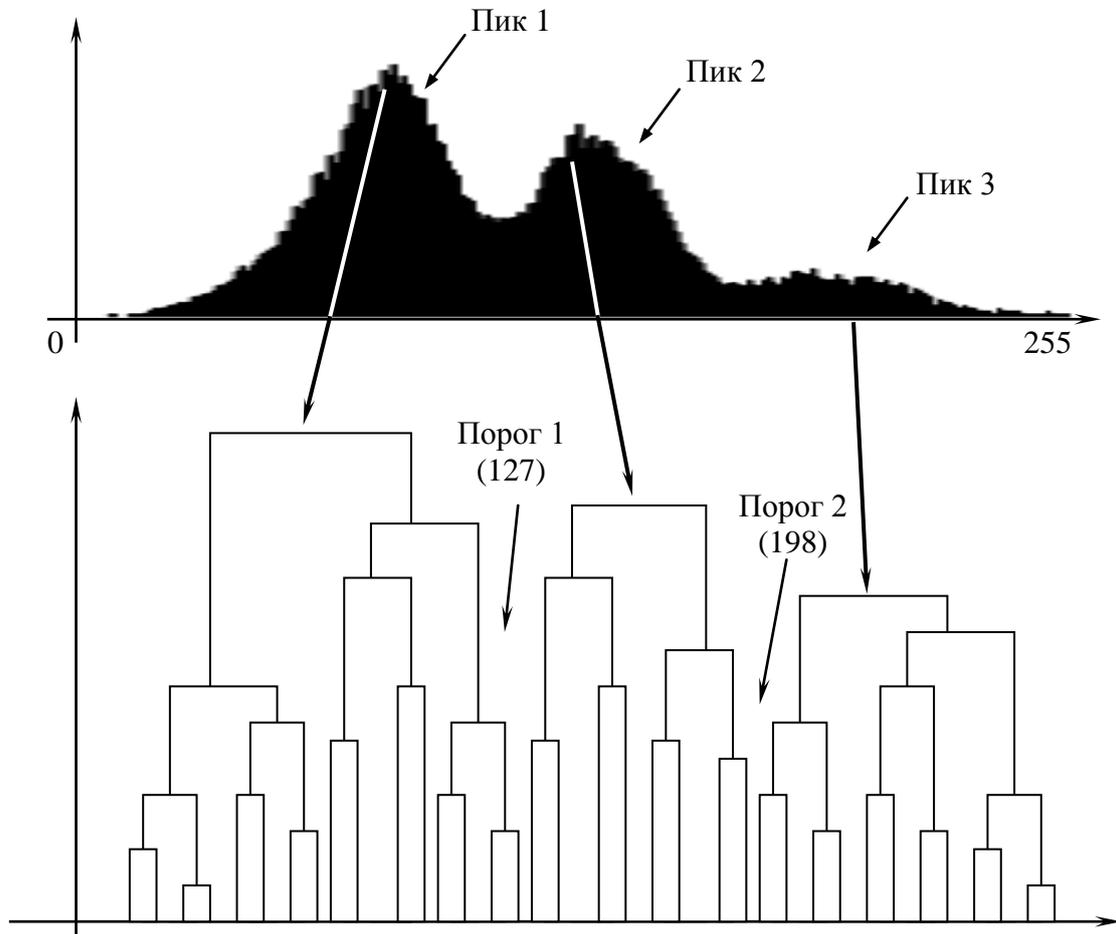


Рис. 2. Гистограмма изображения рис. 1 г и дендрограмма формирования порогов

Три Гауссовых кластера с сильно отличающейся кривизной порождают проблему в интерпретации принадлежности пикселей.

Изначально предполагается, что каждому уровню серого присваивается определенный кластер. Если в изображении используется  $K$  уровней серого, то можно предположить, что существует  $K$  классов:  $C_1, C_2, \dots, C_K$ , то есть на изображении имеется  $T_k$  уровней серого, соответствующих  $C_k$  кластерам и удовлетворяющих условию  $T_1 < T_2 < \dots < T_K$ . Для удобства описания параметров системы сегментации изображений ЛП добавим  $T_0=0$ .

Для определения расстояния между двумя распределениями  $A$  и  $B$ , определяемые как функция  $d(AB)$ , на гистограмме используется дискриминантный анализ [9]. Чем меньше значение расстояния, тем лучше пара яркостей пикселей для слияния. Поэтому ближайшая пара по значению яркости определяется как пара, которую можно объединить. Поскольку алгоритм порогового значения может быть обобщен для решения многоуровневой пороговой задачи, исходную задачу можно считать многоуровневой пороговой задачей [14].

## Методика объединения яркостей по гистограмме изображений

Для работы алгоритма необходимо установить начальные значения для интервала яркостей исходного полутонового изображения  $1 \leq k \leq K$  следующим образом:

–  $P_n = P_r(C_n)$  – вероятность класса  $n$ . При этом известно, что  $\sum_{k=1}^K P_k = 1$ ;

–  $P_r(z/C_n)$  – функция плотности вероятности уровня серого  $z$  в классе  $n$ . Значение интенсивности пикселей  $z$  находится в диапазоне  $[0, L-1]$ .

Алгоритм пороговой обработки включает:

1. Вычисление среднего значения кластера  $k$ ,  $m_k = T_k$ , где  $m_k$  – номер шага  $k$ -го кластера;  $P_k = h(T_k)$ , где  $h(z)$  – функция плотности вероятности  $z$ .

2. Вычисление расстояния между соседними кластерами, обозначенными  $k_1$  и  $k_2$ , следующим образом:

$$Dist_{k_1 k_2} = \frac{P_{k_1} P_{k_2} [m_{k_1} - m_{k_2}]^2}{\sigma_{k_1 k_2}^2},$$

где  $\sigma_{k_1 k_2}^2$  – общая дисперсия кластеров  $k_1$  и  $k_2$ , если они объединены.

$$M_{k_1 k_2} = \frac{P_{k_1} m_{k_1} + P_{k_2} m_{k_2}}{P_{k_1} + P_{k_2}}, \quad m_k = \sum_{z=T_{k-1}+1}^{T_k} z P_r(z/C_k) = \frac{1}{P_k} \sum_{z=T_{k-1}+1}^{T_k} z h(z);$$

$$P_k = P_r(C_k) = \sum_{z=T_{k-1}+1}^{T_k} h(z), \quad \sigma_{k_1 k_2}^2 = \sum_{z=T_{k-1}+1}^{T_k} [z - M_{k_1 k_2}]^2 h(z),$$

где  $M_{k_1 k_2}$  – среднее значение объединенных кластеров  $k_1$  и  $k_2$ .

3. Нахождение наиболее похожих кластеров  $k_i$  и  $k_j$ , где  $i < j$ , выбрав наименьшее значение вычисленного расстояния. Объединение кластеров  $k_i$  и  $k_j$  и формирование вместо них кластера  $k_i$ , назначение  $T_j$  с  $T_j+1$  для любого  $j > i$ . На заключительном этапе получим два кластера с пороговым значением  $T_i$ .

4. Перейти к пунктам 2, 3 и выполнить их в общей сложности  $K-2$  раз, алгоритм закончен.

### Математический аппарат дисперсионного анализа

Пусть пиксели данного изображения представлены в  $L$  серых уровнях  $[1, 2, \dots, L]$ . Число пикселей на уровне  $i$  обозначается  $n_i$ , а общее число пикселей  $N = n_1 + n_2 + \dots + n_L$  для упрощения гистограммы серого уровня нормализуется и рассматривается как распределение вероятностей:

$$p_i = \frac{n_i}{N}, \quad \sum p_i = 1.$$

Теперь предположим, что исходное изображение имеет две области (пожар, то есть объект, и не пожар, то есть фон), тогда необходимо разделить пиксели на два класса  $C_0$  и  $C_1$  (фон и объекты или наоборот) с порогом на уровне  $k$ ;  $C_0$  обозначает пиксели с уровнями  $[1, \dots, k]$ , а  $C_1$  – пиксели с уровнями  $[k+1, \dots, L]$ . Тогда вероятности возникновения класса и средние уровни класса, соответственно, задаются:

$$\omega_0 = P_r(C_0) = \sum_{i=0}^k p_i = \omega(k) \quad \text{и} \quad \omega_1 = P_r(C_1) = \sum_{i=n+1}^L p_i = 1 - \omega(k); \quad (1)$$

$$\mu_0 = \sum_{i=1}^k iP_r(i/C_0) = \sum_{i=1}^k \frac{ip_i}{\omega_0} = \frac{\mu(k)}{\omega(k)}, \quad \mu_1 = \sum_{i=k+1}^L iP_r(i/C_1) = \sum_{i=k+1}^L \frac{ip_i}{\omega_1} = \frac{\mu_T - \mu(k)}{1 - \omega(k)}, \quad (2)$$

где  $\omega(k) = \sum_{i=0}^k p_i$  и  $\mu(k) = \sum_{i=0}^k ip_i$  – нулевые и накопительные моменты первого порядка

гистограммы до  $k$ -го уровня, соответственно,  $\mu_T = \mu(L) = \sum_{i=0}^L ip_i$  – общая средняя интенсивность яркости исходного изображения, где  $i$  – значение яркости, а  $p_i$  – вероятность появления  $i$  яркости на изображении.

Можно легко проверить следующее соотношение для любого выбора  $k$ :

$$\omega_0\mu_0 + \omega_1\mu_1 = \mu_T, \quad \omega_0 + \omega_1 = 1.$$

Отклонения в классе задаются:

$$\begin{aligned} \sigma_0^2 &= \sum_{i=0}^k (i - \mu_0)^2 P_r(i/C_0) = \sum_{i=0}^k (i - \mu_0)^2 p_i(i/\omega_0); \\ \sigma_1^2 &= \sum_{i=k+1}^L (i - \mu_1)^2 P_r(i/C_1) = \sum_{i=k+1}^L (i - \mu_1)^2 p_i(i/\omega_1). \end{aligned} \quad (3)$$

Они требуют кумулятивных моментов второго порядка (статистики). Для оценки «точности» порога (на уровне  $k$ ) введем следующие дискриминантные критериальные меры (или меры классовой отделимости), используемые в дискриминантном анализе [7]:

$$\lambda = \frac{\sigma_B^2}{\sigma_W^2}, \quad k = \frac{\sigma_T^2}{\sigma_W^2}, \quad \mu = \frac{\sigma_B^2}{\sigma_T^2}, \quad (4)$$

где  $\sigma_W^2 = \omega_0\sigma_0^2 + \omega_1\sigma_1^2$ ,  $\sigma_B^2 = \omega_0(\mu_0 - \mu_T)^2 + \omega_1(\mu_1 - \mu_T)^2 = \omega_0\omega_1(\mu_1 - \mu_0)^2$  ( $\omega_0 + \omega_1 = 1$ ).

Формулы:  $\omega_0\mu_0 + \omega_1\mu_1 = \mu_T$ ,  $\omega_0 + \omega_1 = 1$ ,  $\sigma_T^2 = \sum_{i=k+1}^L (1 - \mu_T)^2 p_i$  являются

дисперсией внутри класса, дисперсией между классами и общей дисперсией уровней соответственно. Тогда задача сводится к задаче оптимизации для поиска порога  $k$ , который максимизирует одну из объектных функций (критерий меры) по формуле (3). Эта точка зрения мотивирована гипотезой о том, что хорошо обмолоченные классы будут разделены на серые уровни, и, наоборот, порог, дающий лучшее разделение классов на серых уровнях, будет лучшим порогом.

Дискриминантные критерии, максимизирующие  $\lambda$  по формуле (4)  $k$  и  $\mu$  соответственно, при этом эквивалентны друг другу  $k=\lambda+1$  и  $\mu=\lambda/(\lambda+1)$  в терминах  $\lambda$ , поскольку всегда выполняется следующее основное соотношение:

$$\sigma_B^2 + \sigma_W^2 = \sigma_T^2.$$

Замечено, что  $\sigma_B^2$  и  $\sigma_W^2$  являются функциями порогового уровня  $k$ , но  $\sigma_T^2$  не зависит от  $k$ . Также отмечается, что  $\sigma_W^2$  основывается на статистике второго порядка (дисперсии

классов), а  $\sigma_B^2$  на статистике первого порядка (средние классы). Поэтому  $\eta$  является простейшей мерой по отношению к  $k$ . Таким образом, можно принимать  $\eta$  в качестве критерия для оценки «точности» (или отделимости) порога на уровне  $k$ .

Оптимальный порог  $k^*$ , который максимизирует  $\eta$  или эквивалентно максимизирует  $\sigma_B^2$ , выбирается в следующем последовательном поиске по формуле (3) с использованием простых кумулятивных величин (2) или (1):

$$\mu(k) = \frac{\sigma_B^2(k)}{\sigma_T^2}, \quad \sigma_B^2(k) = \frac{[\mu_T \omega(k) - \mu(k)]^2}{\omega(k)[1 - \omega(k)]}$$

и оптимальный порог  $k^*$  является:

$$\sigma_B^2(k^*) = \max \sigma_B^2(k) \text{ при } i \leq k < L.$$

Из задачи диапазон  $k$ , по которому ищется максимум, может быть ограничен:

$$S^* = \{k; \omega_0 \omega_1 = \omega(k)[1 - \omega(k)] > 0, 0 < \omega(k) < 1\},$$

назовем его эффективным диапазоном гистограммы серого уровня.

Из определения в работе [8] критериальная мера  $\sigma_B^2$  (или  $\eta$ ) принимает минимальное значение нуля для такого  $k$ , где  $k \in S - S^* = \{k; \omega(k) = 0 \text{ или } 1\}$  (то есть делает все пиксели либо  $S_1$ , либо  $S_0$ , следовательно, результат всегда принимает положительное и ограниченное значение для  $k \in S^*$  и максимум всегда существует).

### Результаты сегментации изображений ЛП

Для оценки эффективности предложенного метода сегментации применяем изображения ЛП четырех классов (рис. 1 а–г): а) ЛП со спутника ДЗЗ; б) пожар в помещении; в) ЛП с вышки видеонаблюдения; г) ЛП с беспилотника. Разработка и тестирование программ моделирования алгоритмов проводились на языке С++ среды Visual C++ для Visual Studio 2015.

В результате тестирования были получены следующие количественные оценки (табл.):

- $f_1$  – число изображений, подвергавшихся обработке;
- $f_2$  – скорость обработки (сек.) и указана в интервале (*min–max*);
- $f_3$  – сложность алгоритма (операции/пиксел) и указана в интервале (*min–max*);
- $f_4$  – средняя вычислительная сложность.

Таблица. Результаты моделирования и оценка алгоритмов сегментации

Видеопотоки	Количественные оценки алгоритмов сегментации изображений ЛП			
	$f_1$	$f_2$	$f_3$	$f_4$
а) ЛП со спутника ДЗЗ	230	$(13-36) \cdot 10^{-3}$	23–34	28
б) пожар в помещении	190	$(5-16) \cdot 10^{-3}$	16–30	21
в) пожар с вышки наблюдения	221	$(23-43) \cdot 10^{-3}$	22–32	27
г) ЛП с беспилотника	318	$(65-89) \cdot 10^{-3}$	16–25	18

Из этих экспериментальных результатов можно заключить, что предлагаемый метод выделения границ ЛП обеспечивает лучшую производительность, то есть переход к обработке видеoinформации возможен, где требуется не менее 25 кадров в секунду.

ЛП считаются одной из серьезных проблем для различных стран. Поэтому, чтобы предотвратить эту трагедию, заинтересованность в инвестировании и продвижении научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ постоянно растет. В данной работе проведены исследования по обнаружению и качественному выделению границ ЛП, полученных из различных источников видеонаблюдения.

Разработанное программное обеспечение и математический алгоритм оптимального определения порога серого уровня полутоновых мультимодальных изображений с использованием дисперсионного анализа на основе сходства уровней серого позволяют выделить границы ЛП в сложных условиях шума и помех многоуровневого порога, следовательно, избежать проблемы выбора порога при локальных минимумах.

Важная особенность предложенного метода заключается в том, что использование дисперсионного анализа позволяет учесть различные зоны, которые заведомо не могут содержать признаков пожара (горы, озера, моря и т.д.), следовательно, приводят к снижению вероятности ложной тревоги без уменьшения вероятности правильного обнаружения ЛП. При этом исследования показали, что система обнаружения пожара в цветовых видеопоследовательностях эффективна, так как использует информацию, полученную как через цветовые, так и временные вариации для обнаружения огня в реальном времени.

В заключение нужно отметить, что трехуровневый порог раскрывает больше информации об изображениях по сравнению с двухуровневым порогом сегментации. Таким образом, можно предположить, что детализация изображений будет увеличиваться с увеличением уровня порога. В перспективе целесообразно рассмотреть некоторые другие усовершенствованные методы пороговой сегментации с целью достижения более высокого качества разделения объектов от фона при детализации и выявлении мелких объектов изображений.

### Литература

1. Xinyu Zhang, Hongbo Gao, Chong Xue, Jianhui Zhao and Yuchao Liu. Real-time vehicle detection and tracking using improved histogram of gradient features and Kalman filters // *International Journal of Advanced Robotic Systems*, January-February 2018. pp. 1–9. DOI: 10.1177/1729881417749949.
2. Kuo YC, Pai NS, Li YF. Vision-based vehicle detection for a driver assistance system. *Comput Math Appl* 2011; 61(8). pp. 2096–2100.
3. Исследование и разработка метода и алгоритмов обнаружения лесных пожаров / Ш.С. Фахми [и др.] // Технологии построения когнитивных транспортных систем: материалы Всерос. науч.-практ. конф. СПб.: ФГБУН Институт проблем транспорта им. Н.С. Соломенко РАН, 2018. С. 115–124.
4. Крюкова М.С., Шидловский А.Л., Фахми Ш.С. Оценка показателей качества видеосистемы обнаружения лесных пожаров // *Проблемы управления рисками в техносфере*. 2018. № 2 (46). С. 63–73.
5. Gonzalez R.C., Woods R.E. *Digital Image Processing*. Addison-Wesley Publishing Company, 1993.
6. Васюков В.Н., Бондаренко В.В. Адаптивный выбор порога при контрастном обнаружении объектов неопределенной формы на неровном фоне // *Доклады Академии наук высшей школы Российской Федерации*. 2013. № 2 (21). С. 34–45.
7. Tobias O.J., Seara R. Image segmentation by histogram thresholding using fuzzy sets. *IEEE Trans. On Image Processing*. 2002. Vol. 11. pp. 1457–1465.
8. Видеосистемы на кристалле обнаружения лесных пожаров / Н.В. Шаталова [и др.] // *Транспорт России: проблемы и перспективы – 2016: материалы Междунар. науч.-практ. конф.* 2016. С. 252–259.

9. Костикова Е.В., Крюкова М.С., Фахми Ш.С. Основы моделирования сложных систем: методы и технологии системного анализа. СПб.: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России, 2019. 224 с.

10. Обнаружение и распознавание транспортных средств / Н.В. Шаталова [и др.] // Транспорт России: проблемы и перспективы – 2016: материалы Междунар. науч.-практ. конф. 2016. С. 187–193.

11. Шагаров С.С., Зубакин И.А., Фахми Ш.С. Адаптивные алгоритмы кодирования видеoinформации // Приборы. 2010. № 4 (118). С. 28–31.

12. Фахми Ш.С. Полигональная рекурсивная обработка видеoinформации // Вопросы радиоэлектроники. Сер.: Техника телевидения. 2008. № 1. С. 42–51.

13. Зубакин И.А., Фахми Ш.С., Цыцулин А.К. Решения уравнения связи // Вопросы радиоэлектроники. Сер.: Техника телевидения. 2008. № 2. С. 9–27.

14. Точность, скорость и сложность устройств кодирования изображений по опорным точкам / М.М. Альмахрук [и др.] // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2016. Т. 16. № 4. С. 678–688.

## References

1. Xinyu Zhang, Hongbo Gao, Chong Xue, Jianhui Zhao and Yuchao Liu. Real-time vehicle detection and tracking using improved histogram of gradient features and Kalman filters // International Journal of Advanced Robotic Systems, January-February 2018. pp. 1–9. DOI: 10.1177/1729881417749949.

2. Kuo YC, Pai NS, Li YF. Vision-based vehicle detection for a driver assistance system. Comput Math Appl 2011; 61(8). pp. 2096–2100.

3. Issledovanie i razrabotka metoda i algoritmov obnaruzheniya lesnyh pozharov / Sh.S. Fahmi [i dr.] // Tekhnologii postroeniya kognitivnyh transportnyh sistem: materialy Vseros. nauch.-prakt. konf. SPb.: FGBUN Institut problem transporta im. N.S. Solomenko RAN, 2018. S. 115–124.

4. Kryukova M.S., Shidlovskij A.L., Fahmi SH.S. Ocenka pokazatelej kachestva videosistemy obnaruzheniya lesnyh pozharov // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2018. № 2 (46). S. 63–73.

5. Gonzalez R.C., Woods R.E. Digital Image Processing. Addison-Wesley Publishing Company, 1993.

6. Vasyukov V.N., Bondarenko V.V. Adaptivnyj vybor poroga pri kontrastnom obnaruzhenii ob"ektov neopredelennoj formy na nerovnom fone // Doklady Akademii nauk vysshej shkoly Rossijskoj Federacii. 2013. № 2 (21). S. 34–45.

7. Tobias O.J., Seara R. Image segmentation by histogram thresholding using fuzzy sets. IEEE Trans. On Image Processing. 2002. Vol. 11. pp. 1457–1465.

8. Videosistemy na kristalle obnaruzheniya lesnyh pozharov / N.V. Shatalova [i dr.] // Transport Rossii: problemy i perspektivy – 2016: materialy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. 2016. S. 252–259.

9. Kostikova E.V., Kryukova M.S., Fahmi Sh.S. Osnovy modelirovaniya slozhnyh sistem: metody i tekhnologii sistemnogo analiza. SPb.: S.-Peterb. un-t GPS MCHS Rossii, 2019. 224 s.

10. Obnaruzhenie i raspoznavanie transportnyh sredstv / N.V. Shatalova [i dr.] // Transport Rossii: problemy i perspektivy – 2016: materialy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. 2016. S. 187–193.

11. Shagarov S.S., Zubakin I.A., Fahmi Sh.S. Adaptivnye algoritmy kodirovaniya videoinformacii // Pribory. 2010. № 4 (118). S. 28–31.

12. Fahmi Sh.S. Poligonal'naya rekursivnaya obrabotka videoinformacii // Voprosy radioelektroniki. Ser.: Tekhnika televideniya. 2008. № 1. S. 42–51.

13. Zubakin I.A., Fahmi Sh.S., Cyculin A.K. Resheniya uravneniya svyazi // Voprosy radioelektroniki. Ser.: Tekhnika televideniya. 2008. № 2. S. 9–27.

14. Tochnost', skorost' i slozhnost' ustrojstv kodirovaniya izobrazhenij po opornym tochkam / M.M. Al'mahruk [i dr.] // Nauchno-tekhnicheskij vestnik informacionnyh tekhnologij, mekhaniki i optiki. 2016. T. 16. № 4. S. 678–688

# **ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭМИССИИ УГЛЕВОДОРОДОВ И САМОВОЗГОРАНИЯ ПОЖАРООПАСНЫХ ПОЛИГОНОВ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА И ПОТРЕБЛЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ИНТЕРВАЛЬНОГО АНАЛИЗА**

**А.Г. Хайдаров, кандидат технических наук, доцент;**

**П.О. Габриэль.**

**Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет).**

**Д.В. Бруснянин, кандидат технических наук.**

**Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Разработана модель для прогнозирования изменения температуры, химического состава и эмиссии углеводородов для полигона отходов производства и потребления. Для решения модели используется метод конечных элементов и программное обеспечение COMSOL Multiphysics®. В данной модели были задействованы закон Дарси для жидкого и газообразного состояния, биохимические процессы, протекающие в аэробных и анаэробных условиях, а также теплообмен в пористых средах.

Требования практики совместно с достижениями интервального анализа сделали возможным рассмотрение задачи с позиции интервального подхода. Сейчас интенсивность таких исследований прикладного характера увеличивается.

*Ключевые слова:* отходы производства и потребления, метод конечных элементов, закон Дарси, биохимические процессы, интервальный анализ

## **PREDICTING OF THE EMISSION OF HYDROCARBONS AND SELF-IGNITION OF FIRE-HAZARDOUS LANDFILLS USING INTERVAL ANALYSIS**

**A.G. Haydarov; P.O. Gabriel. Saint-Petersburg state institute of technology (technical university).**

**D.V. Brusyanin. Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia**

A 3D model was developed for the landfill. The presented model solved by finite element method with software COMSOL Multiphysics®. This model include Darcy's law for the liquid and gas phase, biochemical processes occurring in aerobic and anaerobic conditions and heat transfer in porous media.

The requirements of practice, together with the achievements of interval analysis, made it possible to consider the problem from the standpoint of the interval approach. Now the intensity of such applied research is increasing.

*Keywords:* production and consumption waste, finite element method, Darcy law, biochemical processes, interval analysis

Обращение с отходами производства и потребления зависит от ряда факторов (морфологии отходов, агрегатного состояния, физико-химических свойств субстрата и степени опасности для здоровья населения и среды обитания человека).

В Российской Федерации утилизация отходов основана на захоронении основной массы отходов на полигонах и неорганизованных свалках. Большая часть отходов после попадания в рабочее тело полигона становится анаэробной из-за быстрого расхода кислорода. Пористая структура полигонов и наличие органосодержащих компонентов

способствуют активному протеканию биохимических процессов. Протекание процессов происходит с большим выделением тепла (экзотермические процессы) [1].

Разложение отходов сопровождается образованием биогаза, который выделяется при отсутствии кислорода (анаэробно). Горючесть и взрывоопасность свалочного газа зависят в первую очередь от содержания в нем метана. Для биогаза, состоящего из нескольких горючих компонентов, справедливы пределы воспламеняемости метана. Метан в смеси с воздухом воспламеняется в пределах 5–15 об. %. Взрыву препятствуют некоторые компоненты биогаза, такие как азот и двуокись углерода. При наличии нескольких горючих компонентов, например метана и водорода, вероятность взрыва может увеличиваться, а под воздействием азота и оксида углерода – снижаться [2].

Для более эффективной утилизации отходов применяется рециркуляция фильтрата, а также скорость биораспада отходов производства и потребления увеличивается за счет вентилирования полигона и, соответственно, роста аэробных микроорганизмов.

В связи со сложной структурой отходов, возникновением и выделением газов, выделением фильтрата и экзотермической природы, процессы, происходящие внутри аэробной свалки, достаточно сложны. В данной статье разработана динамическая трехмерная модель, которая отражает процессы, происходящие внутри свалочного тела [3–6].

Одной из проблем при создании данной модели является неопределенность в исходных данных, что вызвано ошибками измерений, округления, приближенным представлением и другими факторами. Учет неопределенностей, которые в качестве исходных данных используют измерения, остается актуальным и в настоящее время. Из-за отсутствия данных о погрешностях и их распределениях проверка таких предположений и учет влияния неопределенностей исходных данных на конечные результаты был невозможным. Проблема неопределенности исходных данных обусловила развитие математических исследований, методов и алгоритмов, являющихся частью интервального анализа.

### Теория и методика расчета

Уравнения модели были решены с помощью метода конечных элементов (МКЭ) с использованием программного обеспечения для моделирования COMSOL Multiphysics®. В данной модели были задействованы закон Дарси для жидкого и газообразного состояния, биохимические процессы, теплообмен в пористых средах [7].

На рис. 1 представлена блок-схема, показывающая этапы формирования модели.

Нижеуказанные уравнения модели описывают движение газа и фильтрата через отходы производства и потребления. Воздух подается с низа биореактора и двигается вверх по направлению к месту выхода газа наверху биореактора. Фильтрат подается с верха биореактора и течет вниз к коллектору внизу биореактора. На рис. 2 показано схематическое изображение биореактора. Состояние газа во время его движения по биореактору меняется как в пространственном, так и во временном отношении. Аэробный биораспад является экзотермической реакцией, и темп роста аэробных бактерий связан с температурой. Эта модель также описывает изменения температуры отходов производства и потребления в пространственном и временном отношении [8–10].

### Движение жидкости и газа

Закон Дарси был использован для описания давления внутри биореактора.

Законы Дарси для жидкости и газа:

$$\rho_a S_c \frac{\partial P_a}{\partial t} + \nabla \rho_a \left[ -\frac{\kappa k_{r,a}}{\mu_a} (\nabla P_a + \rho_a g \nabla z) \right] = \rho_a S_c \frac{\partial P_g}{\partial t};$$

$$\rho_g S_c \frac{\partial P_g}{\partial x} + \nabla \rho_g \left[ -\frac{\kappa k_{r,g}}{\mu_g} (\nabla P_g + \rho_g g \nabla z) \right] = \rho_g S_c \frac{\partial P_a}{\partial t},$$

где  $\rho_a$  – плотность жидкой фазы ( $\text{кг/м}^3$ );  $P_a$  – давление в жидком состоянии (Па);  $\kappa$  – коэффициент проницаемости ( $\text{м}^2$ );  $k_{r,a}$  – относительная проницаемость жидкости;  $\mu_a$  – коэффициент динамической вязкости для жидкой фазы [ $\text{Па}\cdot\text{с}$ ];  $z$  – координата вертикальной проекции [м];  $P_g$  – давление в газообразном состоянии [Па];  $\rho_g$  – плотность в газообразном состоянии [ $\text{кг/м}^3$ ];  $k_{r,g}$  – коэффициент относительной проницаемости газа;  $\mu_g$  – динамическая вязкость в газообразном состоянии.

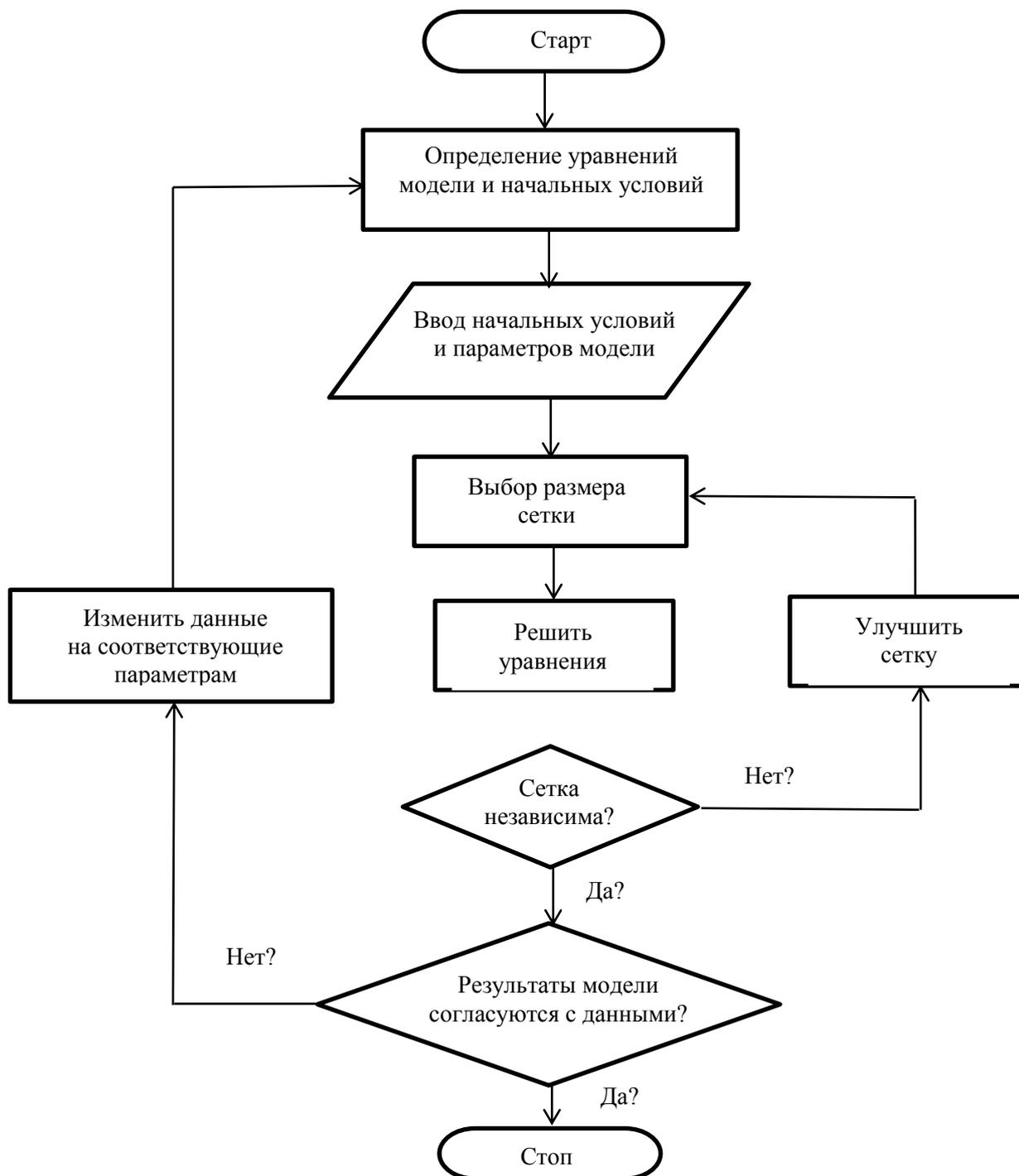


Рис. 1. Блок-схема, показывающая этапы формирования модели

## Массовый баланс

Уравнения (1–3) являются уравнениями неразрывности потока, уравнением Дарси и уравнением массового баланса. Они составлены отдельно для каждого состояния:

$$\frac{\partial(\phi_s \rho)}{\partial t} + \nabla(\rho u) = Q_m; \quad (1)$$

$$u = -\frac{\kappa}{\mu}(\nabla P + \rho g \nabla z), \quad (2)$$

где  $u$  – вектор скорости [м/с];  $Q_m$  – массовый расход [кг/м<sup>3</sup>/с];  $P$  – давление [Па]:

$$\rho \frac{\partial \omega_i}{\partial t} + \nabla j_i + \rho(u \nabla) \omega_i = R_i, \quad (3)$$

где  $j_i$  – массовый расход по отношению к средней скорости компонента  $i$  [кг/м<sup>2</sup>/с];  $R_i$  – скорость поглощения/выделения компонента  $i$  [кг/м<sup>3</sup>/с]:

$$j_i = -\left(\rho D_i^F \nabla \omega_i + \rho \omega_i D_i^F \frac{\nabla M_n}{M_n}\right),$$

где  $D_i^F$  – коэффициент диффузии компонента  $i$  [м<sup>2</sup>/с];  $M_n$  – средняя молекулярная масса [кг/моль].

Коэффициенты диффузии, согласно закону Фика, были рассчитаны согласно формуле:

$$D_i^F = \frac{1-x_i}{\sum_{j,j \neq i} \frac{x_j}{D_{ij}}},$$

где  $D_{ij}$  – бинарный коэффициент фиковской диффузии компонентов  $i$  и  $j$  [м<sup>2</sup>/с];  $x_i$  – молярная доля компонента  $i$ ;  $x_j$  – молярная доля компонента  $j$ .

Коэффициенты бинарной диффузии могут быть вычислены посредством уравнения Чепмена-Энскога:

$$D_{ij} = \frac{5,953 \times 10^{-4}}{P \sigma_{ij}^2 \Omega_D} \sqrt{\frac{T^3}{M_i} + \frac{T^3}{M_j}},$$

где  $\sigma_{ij}$  – средний диаметр столкновения компонентов  $i$  и  $j$  [м];  $\Omega_D$  – интеграл столкновения;  $T$  – температура отходов производства и потребления [К];  $M_i$  – молекулярная масса компонента  $i$  [кг/моль];  $M_j$  – молекулярная масса компонента  $j$  [кг/моль].

## Уравнения биокинетики

Кинетика Моно применяется многими учеными для описания протекания биохимических процессов и была использована в данной модели:

$$R_N = \frac{\partial X_N}{\partial t} = k_{m,N} k_{temp,N} \frac{S}{k_{s,N} + S} X_N - R_{D,N}, \quad (4)$$

где  $R_N$  – скорость роста анаэробной биомассы [кг/м<sup>3</sup>/день];  $X_N$  – концентрация анаэробной биомассы [кг/м<sup>3</sup>];  $k_{m,N}$  – максимальная константа скорости анаэробного биораспада [день<sup>-1</sup>];  $k_{temp,N}$  – корректирующий коэффициент температуры для анаэробной биомассы;  $S$  – доступный субстрат [кг/м<sup>3</sup>];  $k_{s,N}$  – константа полунасыщения субстрата для анаэробного роста [кг/м<sup>3</sup>];  $R_{D,N}$  – скорость разложения анаэробной биомассы [кг/м<sup>3</sup>/день].

$$R_A = \frac{\partial X_A}{\partial t} = k_{m,A} k_{temp,A} \frac{S}{k_{s,A} + S} \frac{C_{O_2}}{k_{O_2} + C_{O_2}} X_A - R_{D,A}, \quad (5)$$

где  $R_A$  – скорость выработки аэробной биомассы [кг/м<sup>3</sup>/день];  $X_A$  – концентрация аэробной биомассы [кг/м<sup>3</sup>];  $k_{m,A}$  – максимальная константа скорости аэробного биораспада [день<sup>-1</sup>];  $k_{temp,A}$  – коррекционный фактор температуры для аэробной биомассы;  $k_{s,A}$  – константа полунасыщения субстрата для аэробного роста [кг/м<sup>3</sup>];  $c_{O_2}$  – массовая концентрация кислорода [кг/м<sup>3</sup>];  $k_{O_2}$  – константа полунасыщения кислорода [кг/м<sup>3</sup>];  $R_{D,A}$  – скорость разложения аэробной биомассы [кг/м<sup>3</sup>/день].

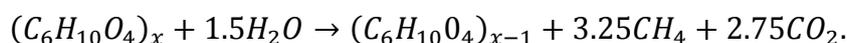
Ким предположил, что скорость разложения аэробной и анаэробной биомассы равна [9]:

$$R_{D,N} = 0.05k_{m,N}(X_N - X_{N,0});$$

$$R_{D,A} = 0.05k_{m,A}(X_A - X_{A,0}),$$

где  $X_{N,0}$  и  $X_{A,0}$  – начальные концентрации анаэробной и аэробной биомассы [кг/м<sup>3</sup>] соответственно.

Существуют различные варианты моделирования биохимических процессов отходов производства и потребления при анаэробных условиях. В данной модели используется формула, предложенная Кимом [9]:



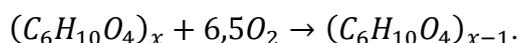
Эта биохимическая формула нужна для оценки темпа выработки метана и углекислого газа с использованием стехиометрических соотношений вместе с уравнением анаэробного роста (4). Получаемый газ производится только по мере роста анаэробных бактерий, поэтому время распада не учитывается:

$$\frac{R_{CO_2}}{2.75 \frac{M_{CO_2}}{M_{MSW}}} = \frac{R_N}{Y_{S/B,N}} = \frac{k_{m,N}k_{temp,N}X_N}{Y_{S/B,N}};$$

$$\frac{R_{CH_4}}{3.25 \frac{M_{CH_4}}{M_{MSW}}} = \frac{R_N}{Y_{S/B,N}} = \frac{k_{m,N}k_{temp,N}X_N}{Y_{S/B,N}},$$

где  $R_{CO_2}$  – скорость производства углекислого газа [кг/м<sup>3</sup>/день];  $R_{CH_4}$  – скорость производства метана [кг/м<sup>3</sup>/день];  $Y_{S/B,N}$  – коэффициент выхода субстрата/анаэробной биомассы [кгВ/кгS].

Ким предложил следующий вариант общей реакции для аэробного распада отходов производства и потребления [9]:



Эта биохимическая формула нужна для оценки темпа расхода кислорода и темпа выработки углекислого газа с использованием стехиометрических соотношений вместе с уравнением аэробного роста (5). Газы расходуются и производятся только по мере роста аэробных бактерий, поэтому время распада не учитывается:

$$\frac{R_{O_2}}{-6,5 \frac{M_{O_2}}{M_{MSW}}} = \frac{R_A}{Y_{S/B,A}} = \frac{k_{m,A}k_{temp,A} \frac{x_{O_2}}{k_{O_2} + x_{O_2}} X_A}{Y_{S/B,A}};$$

$$\frac{R_{CO_2}}{6 \frac{M_{CO_2}}{M_{MSW}}} = \frac{R_A}{Y_{S/B,A}} = \frac{k_{m,A}k_{temp,A} \frac{x_{O_2}}{k_{O_2} + x_{O_2}} X_A}{Y_{S/B,A}},$$

где  $R_{O_2}$  – скорость расхода кислорода [кг/м<sup>3</sup>/день];  $Y_{S/B,A}$  – коэффициент выхода субстрата/аэробной биомассы [кгВ/кгS].

## Энергетический баланс

Для расчета баланса энергии используются уравнения:

$$V(\rho C_p)_{eq} \frac{\partial T}{\partial t} + V \rho_g C_p u \nabla T + V \rho_a C_{p,w} u \nabla T = \nabla(k_{eq} \nabla T) + R \nabla H_{reac} - \rho_a F_{L,in} C_{p,w} (T - T_{L,0}) - \rho_g F_{g,in} C_p (T - T_{g,0}),$$

где  $V$  – объем отходов производства и потребления [ $\text{м}^3$ ];  $(\rho C_p)_{eq}$  – эквивалентная теплоёмкость [ $\text{Дж}/\text{м}^3/\text{К}$ ];  $k_{eq}$  – эквивалентная теплопроводность [ $\text{В}/\text{м}/\text{К}$ ];  $C_p$  – удельная теплоёмкость газа [ $\text{Дж}/\text{кг}/\text{К}$ ];  $\Delta H_{reac}$  – теплота реакции [ $\text{кДж}/\text{моль}$ ];  $F_{L,in}$  – расход фильтрата [ $\text{мл}/\text{мин}$ ];  $C_{p,w}$  – удельная теплоёмкость воды [ $\text{Дж}/\text{кг}/\text{К}$ ];  $T_{L,0}$  – начальная температура фильтрата [ $\text{К}$ ];  $F_{g,in}$  – расход газовой фазы [ $\text{л}/\text{мин}$ ];  $T_{g,0}$  – начальная температура газовой фазы [ $\text{К}$ ].

## Результаты моделирования

Рис. 2 дает схематическое представление о строении биореактора. По причине симметрии в  $x$  и  $y$ -направлениях была реализована осесимметричная модель. Это было сделано для сокращения вычислительных затрат и сокращения времени расчетов.

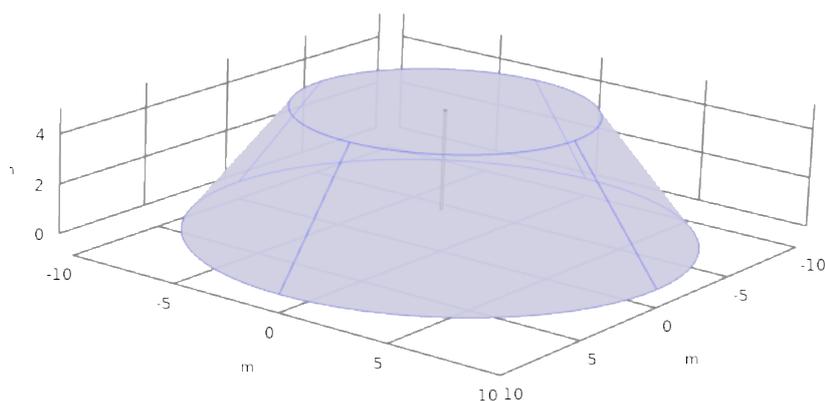


Рис. 2. Схематическое представление биореактора

Биореактор имеет форму конуса. Диаметр конуса составляет 20 м, а высота 5 м. В центре конуса находится труба, через нее собирается образующийся газ. Модель начинает свою работу с момента аэрации и решается для 48 ч с шагом в четыре часа, что дает 12 равных отрезков времени (рис. 3).

Основываясь на результатах Борглина [11], модель согласуется с тем, что было получено в процессе эксперимента. Борглин использовал 200-литровые цистерны, заполненные свежими отходами. Фильтрат был закачан с верхнего края цистерны, а воздух – с нижнего. Отслеживался состав выходящего газа и фильтрата, температура, давление, степень влажности, влагосодержание и массовый расход. Модель была запущена при условии, что верхняя плоскость цистерны была неизолирована.

Если до начала нагнетания воздуха в системе не было кислорода, что помещало ее в полностью анаэробные условия, то с началом нагнетания воздуха выделение метана в зонах с наличием кислорода прекращается.

Температура как переменная отражает темп аэробного биораспада. Представленные выше уравнения показывают, что темп роста аэробных бактерий зависит от нее. Если температура превышает оптимальную, то темп роста аэробных бактерий сократится. Соответственно, требуется температурный контроль. Как правило, он осуществляется двумя

способами: за счет увеличения нагнетания воздуха и/или увеличение закачки фильтрата. В таблице отражено влияние увеличения и сокращения закачки фильтрата на интервальную среднюю температуру биореактора и массовую долю метана.

Скорость, при которой снижение температуры при увеличении темпа закачки фильтрата начинает уменьшаться, показана в таблице. Чем выше скорость закачки фильтрата, тем ближе значение температуры к температуре фильтрата на момент закачки.

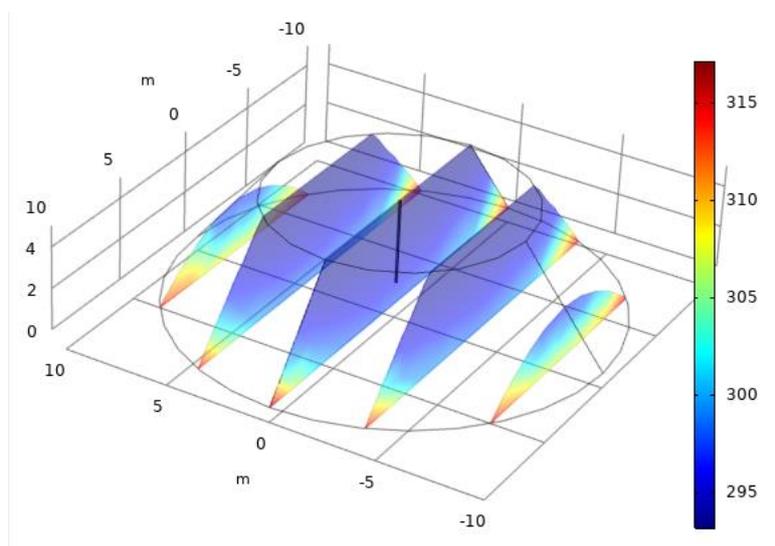


Рис. 3. Температура биореактора через 48 ч

Таблица. Зависимость интервальной средней температуры  $T_{\text{ср}}$ , массовой доли метана полигона отходов производства и потребления от расхода фильтрата при начальной массовой доле кислорода  $\omega_{O_2} = [0, 15; 0, 20]$  и расходе воздуха  $Q_{\text{в}} = [0, 15; 0, 18]$  м<sup>3</sup>/мин

Расход фильтрата, м <sup>3</sup> /мин	$[T_{\text{ср}}; \overline{T_{\text{ср}}}]$ , К	$[\omega_{\text{CH}_4}; \overline{\omega_{\text{CH}_4}}]$
0,000	[305,0; 309,8]	[0,0107; 0,0112]
0,002	[302,7; 306,5]	[0,0106; 0,0111]
0,004	[300,3; 303,0]	[0,0104; 0,0109]
0,006	[298,3; 300,3]	[0,0103; 0,0107]
0,008	[297,1; 298,5]	[0,0102; 0,0105]
0,010	[296,2; 297,3]	[0,0101; 0,0105]

Трехмерная динамическая математическая модель преобразования свалки была разработана с использованием связанных дифференциальных уравнений в частных производных. Модель была решена с помощью метода конечных элементов в COMSOL Multiphysics®. Параметры подобранной модели согласуются со значениями, найденными в литературе.

Контроль за температурой (и, соответственно, биораспадом) оказался достаточно эффективен при изменении темпа закачки фильтрата. При этом при высокой концентрации аэробной биомассы быстро повышается температура, которая не понижается в будущем. Это говорит о необходимости контроля температуры из соображений пожарной безопасности.

Дальнейшая работа над моделью может быть проведена с целью расширения масштабов модели и тестирования различных геометрических параметров и месторасположения воздухонагнетательной скважины, чтобы оптимизировать аэробный процесс.

## Литература

1. Владимиров Я.А., Зысин Л.В. Методические вопросы энергетического использования твёрдых коммунальных отходов и продуктов их газификации // Научно-технические ведомости СПбПУ. Естественные и инженерные науки. 2018. Т. 24. № 1. С. 5–16.
2. Калюжина Е.А., Самарская Н.С. Экологические особенности воздействия полигонов твердых бытовых отходов на состояние окружающей среды в районах их расположения // Инженерный вестник Дона. 2014. № 2 (30).
3. Ritzkowski M., Stegmann R. Landfill aeration worldwide: Concepts, indications and findings. *Waste Management*. 2012. V. 32 (7). P. 1411–1419.
4. Ledakowicz S., Kaczorek K. Laboratory simulation of anaerobic digestion of municipal solid waste // *Journal of Environmental Science and Health. Part A. Toxic // Hazardous Substances & Environmental Engineering*. 2004. Vol. A39. № 4. P. 859–871.
5. Kong I.C. Bioassessments of anaerobically decomposing organic refuse in laboratory lysimeters with and without leachate recycling and pH adjustment // *Journal of Waste Management & Research*. 2010. № 28. P. 141–148.
6. Bilgili M., Demir A., Varank G. Effect of leachate recirculation and aeration on volatile fatty acid concentrations in aerobic and anaerobic landfill leachate // *Waste Management & Research*. 2012. № 30 (2). P. 161–170.
7. Omar H., Rohani S. Treatment of landfill waste, leachate and landfill gas: A review. *Front Chem Sci Eng*. 2015;9(1):15–32. Doi: 10.1007/s11705-015-1501-y.
8. El-Fadel M., Findikakis A.N., Leckie J.O. Numerical modelling of generation and transport of gas and heat in landfills I. Model Formulation // *Waste Manag Res*. 1996.14(5):483–504. Doi: 10.1177/0734242X9601400506.
9. Kim S-Y, Tojo Y., Matsuto T. Compartment model of aerobic and anaerobic biodegradation in a municipal solid waste landfill. *Waste Manag Res*. 2007;25(6):524–37. Doi: 10.1177/0734242X07079148.
10. Slezak R., Krzystek L., Ledakowicz S. Mathematical model of aerobic stabilization of old landfills // *Chem Pap*. 2012. 66(6):543–9. Doi: 10.2478/s11696-012-0133-7.
11. Borglin S.E., Hazen T.C., Oldenburg C.M., Zawislanski P.T. Comparison of aerobic and anaerobic biotreatment of municipal solid waste // *J Air Waste Manag Assoc*. 2004.54(7):815–22. Doi: 10.1080/10473289.2004.10470951.

## References

1. Vladimirov Ya.A., Zysin L.V. Metodicheskie voprosy energeticheskogo ispol'zovaniya tvyordyh kommunal'nyh othodov i produktov ih gazifikacii // Nauchno-tekhnicheskie vedomosti SPbPU. Estestvennye i inzhenernye nauki. 2018. T. 24. № 1. S. 5–16.
2. Kalyuzhina E.A., Samarskaya N.S. Ekologicheskie osobennosti vozdeystviya poligonov tverdyh bytovykh othodov na sostoyanie okruzhayushchej sredy v rajonah ih raspolozheniya // Inzhenernyĭ vestnik Dona. 2014. № 2 (30).
3. Ritzkowski M., Stegmann R. Landfill aeration worldwide: Concepts, indications and findings. *Waste Management*. 2012. V. 32 (7). P. 1411–1419.
4. Ledakowicz S., Kaczorek K. Laboratory simulation of anaerobic digestion of municipal solid waste // *Journal of Environmental Science and Health. Part A. Toxic // Hazardous Substances & Environmental Engineering*. 2004. Vol. A39. № 4. R. 859–871.
5. Kong I.S. Bioassessments of anaerobically decomposing organic refuse in laboratory lysimeters with and without leachate recycling and pH adjustment // *Journal of Waste Management & Research*. 2010. № 28. R. 141–148.
6. Bilgili M., Demir A., Varank G. Effect of leachate recirculation and aeration on volatile fatty acid concentrations in aerobic and anaerobic landfill leachate // *Waste Management & Research*. 2012. № 30 (2). R. 161–170.

7. Omar H., Rohani S. Treatment of landfill waste, leachate and landfill gas: A review. *Front Chem Sci Eng.* 2015;9(1):15–32. Doi: 10.1007/s11705-015-1501-y.
8. El-Fadel M., Findikakis A.N., Leckie J.O. Numerical modelling of generation and transport of gas and heat in landfills I. Model Formulation // *Waste Manag Res.* 1996. 14(5):483–504. Doi: 10.1177/0734242X9601400506.
9. Kim S-Y, Tojo Y., Matsuto T. Compartment model of aerobic and anaerobic biodegradation in a municipal solid waste landfill. *Waste Manag Res.* 2007. 25(6):524–37. Doi: 10.1177/0734242X07079148.
10. Slezak R., Krzystek L., Ledakowicz S. Mathematical model of aerobic stabilization of old landfills // *Chem Pap.* 2012. 66(6):543–9. Doi: 10.2478/s11696-012-0133-7.
11. Borglin S.E., Hazen T.C., Oldenburg C.M., Zawislanski P.T. Comparison of aerobic and anaerobic biotreatment of municipal solid waste // *J Air Waste Manag Assoc.* 2004. 54(7): 815–22. Doi: 10.1080/10473289.2004.10470951.

# **ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДИНАМИКИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПОЖАРА ДЛЯ УСТАНОВЛЕНИЯ МЕСТОРАСПОЛОЖЕНИЯ ОЧАГА ПОЖАРА**

**Т.П. Сысоева, кандидат технических наук;**

**С.Ф. Лобова;**

**А.А. Кухарев.**

**Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Рассматривается применение компьютерного моделирования динамики распространения пожара при установлении расположения очага пожара в ходе проведения пожарно-технической судебной экспертизы.

*Ключевые слова:* численное моделирование, FDS, очаг пожара, распространение пожара, разрушение остекления

## **APPLICATION OF COMPUTER MODELING OF THE DYNAMICS OF FIRE SPREAD TO ESTABLISH THE LOCATION OF THE INITIAL POINT OF COMBUSTION**

T.P. Sysoeva; S.F. Lobova; A.A. Kukharev.

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

The article discusses the use of computer simulation of fire propagation dynamics in determining the location of the fire in the course of fire-technical forensic examination.

*Keywords:* numerical simulation, FDS, fire, spread of fire, destruction of the glazing

В соответствии с методологией пожарно-технической судебной экспертизы [1] установление очага (места возникновения) пожара проводится на основании имеющихся в материалах дела данных – описания объекта пожара и его термических поражений, фото и видеоматериалов по пожару, результатов инструментальных исследований материалов, конструкций и их обгоревших остатков, а также показаний свидетелей и других материалов, содержащих криминалистически значимую информацию, необходимую для установления очага пожара. Данная статья посвящена еще одному способу установления очага пожара на примере конкретной комплексной пожарно-технической экспертизы.

Для производства пожарно-технической экспертизы поступили материалы дела, из которых было известно, что в результате пожара в деревянном гостевом доме погибли люди, дом сгорел полностью. На момент производства экспертизы на месте пожара уже выросла трава, и произвести осмотр места происшествия не представлялось возможным. Однако экспертам на разрешение был поставлен вопрос о местонахождении очага пожара. Эксперты в проведенных ранее экспертизах расходились в выводах о месте расположения очага пожара.

В общих случаях очаг возгорания пожара совпадает с местом наибольшего выгорания и разрушения материалов, так как наибольшее разрушение обусловлено более длительным горением, то есть фактором времени. Однако помимо продолжительности горения на степень термических повреждений также влияют условия газообмена, тактика и средства тушения, степень горючести материалов и т.д. В идеальном случае, при ликвидации пожара на ранней стадии его развития, место первоначального возникновения горения характеризуется выраженной максимальной степенью термических повреждений.

В рассматриваемом случае при анализе представленной в распоряжение экспертов объективной информации было установлено, что высокотемпературные повреждения наблюдались по всей площади сгоревшего дома. Явных выраженных очаговых признаков не установлено. Следовательно, вывод о месте расположения очага пожара классическим (традиционным) способом установить не представлялось возможным. В подобных случаях может применяться компьютерное моделирование динамики распространения пожара в заданных условиях как дополнительный способ проведения исследований вкуче с инструментальными, органолептическими способами. Проведение компьютерного моделирования не всегда может дать однозначный результат, потому как модельная среда всегда отличается от реальной. Основной причиной тому является несовершенное описание параметров процесса горения, в рамках программы ограничивающееся усредненной реакцией горения какого-либо материала, в лучшем случае протекающее в несколько стадий, чему в реальности противостоит целый набор одновременно протекающих реакций горения различных материалов. В то же время в зависимости от целей моделирования получаемыми погрешностями можно пренебречь. В данном случае необходимо было смоделировать процесс распространения пожара внутри небольшой группы помещений, используя при этом достаточно подробное описание расстановки мебели и расположение вещей до пожара, а также используя информацию, которая, по сути, и сделала возможным применение компьютерного моделирования в данном конкретном случае, а именно, о последовательном разрушении остекления сгоревшего дома.

Таким образом, для определения наиболее вероятного месторасположения очага пожара, в условиях, воссозданных по показаниям очевидцев пожара и фотоматериалам, и используя эти показания для «кастинга» сценариев, было применено компьютерное моделирование динамики распространения пожара.

Моделирование пожара было произведено с использованием специализированного компьютерного кода FDS ver.5 в оболочке PyroSim. Данная программа разработана Национальным институтом стандартов и технологий США (NIST) и создана специально для решения задач по проблемам пожарной безопасности [2]. Для математического расчета динамики пожара в заданных условиях в программе FDS применяется полевой метод моделирования. Описание данного метода можно найти, например, в работах [3, 4].

Сведения о геометрических размерах помещений, имеющихся проемах, расположении мебели, виде и количестве материалов, находящихся в доме, были взяты из объяснений очевидцев пожара и фотоматериалов.

Было известно, что сгоревший дом был одноэтажным, деревянным, размерами 9,0x6,0 м. Внутри дом был разделен на три помещения: гостиная и два спальных помещения размерами 3,0x3,0 м. В гостиной находился стол, две лавки, мойка, стеллажи и полки. В каждом спальном помещении были кровать и ковер.

Суть алгоритма использования компьютерного моделирования развития пожара для установления наиболее вероятного местонахождения очага пожара состоит в следующем: последовательно производится моделирование сценариев пожара с расположением очага пожара в различных частях объекта. Далее результаты моделирования сравниваются, в данном случае – с показаниями очевидцев пожара, то есть производится так называемый экспертный «кастинг» сценариев. Тот сценарий (сценарии), в результате расчета которого последовательность событий пожара наиболее приближена к показаниям очевидцев, и будет содержать информацию о вероятном расположении очага пожара.

В качестве первого сценария пожара была рассмотрена ситуация, при которой происходило загорание в западной части дома, рядом со столом, то есть в гостиной (рис. 1).

Расчетная область представляла собой объем, моделирующий окружающее пространство размерами 16,0x20,0x8,0 м. Расчетные сетки строились равномерными, размер ячеек сеток в области дома – 0,05x0,05x0,05 м, размер ячеек сеток в области улицы –

0,1x0,1x0,1 м. Общее количество ячеек составило 5 360 000. Характеристики материалов и веществ, используемых в расчетах, были взяты из работ [5, 6].

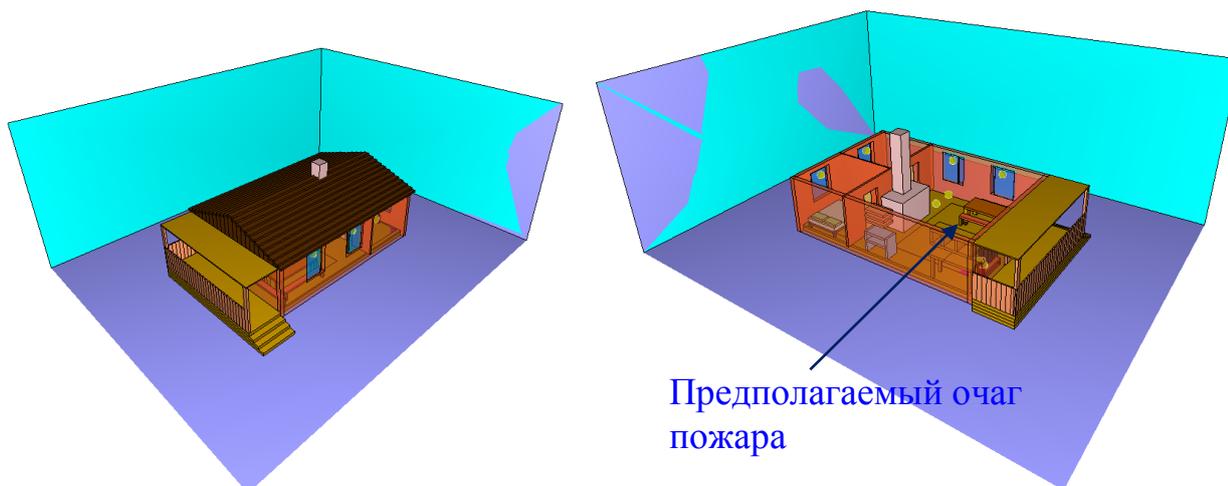


Рис. 1. Расчетная область

В качестве второго сценария была рассмотрена ситуация, при которой загорание происходило в правой спальне дома (с южной стороны) (рис. 2).

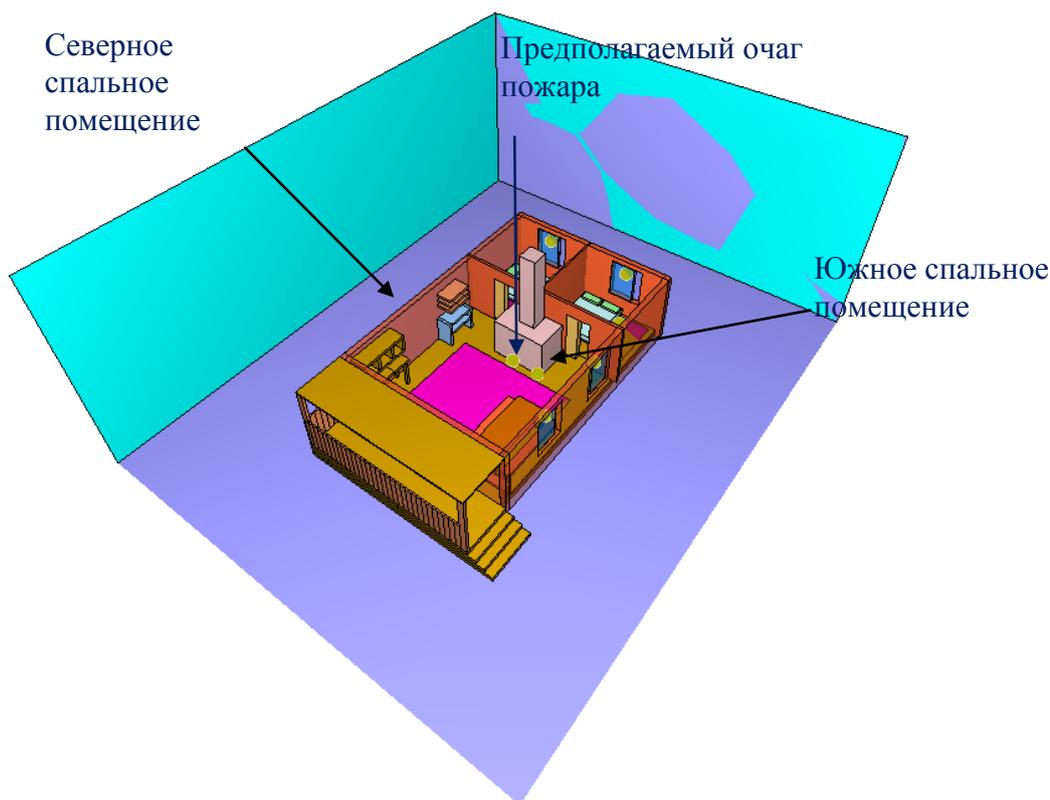


Рис. 2. Расчетная область для сценария № 2

Для измерения температуры внутри помещений и для учета разрушения остекления при достижении критической температуры, значение которой были взяты из работы [6], в расчетной области были установлены датчики температуры. Двери и окна в расчете задавались с зазорами для учета процесса газообмена между помещениями дома и улицей и для недопущения вычислительной ошибки, связанной с ростом давления среды в замкнутом объеме.

В связи с большим количеством расчетных ячеек (более 5 млн), что ведет к продолжительным вычислительным операциям и неконтролируемому увеличению сроков производства экспертизы, время расчета определялось динамикой пожара, то есть расчет останавливался при выявлении следующих характеристик:

- разрушение остекления во всех комнатах;
- наличие видимых различий в сценариях пожара.

### Результаты расчета сценария № 1

На рис. 3–5 показано распространение фронта пламени по помещениям дома.

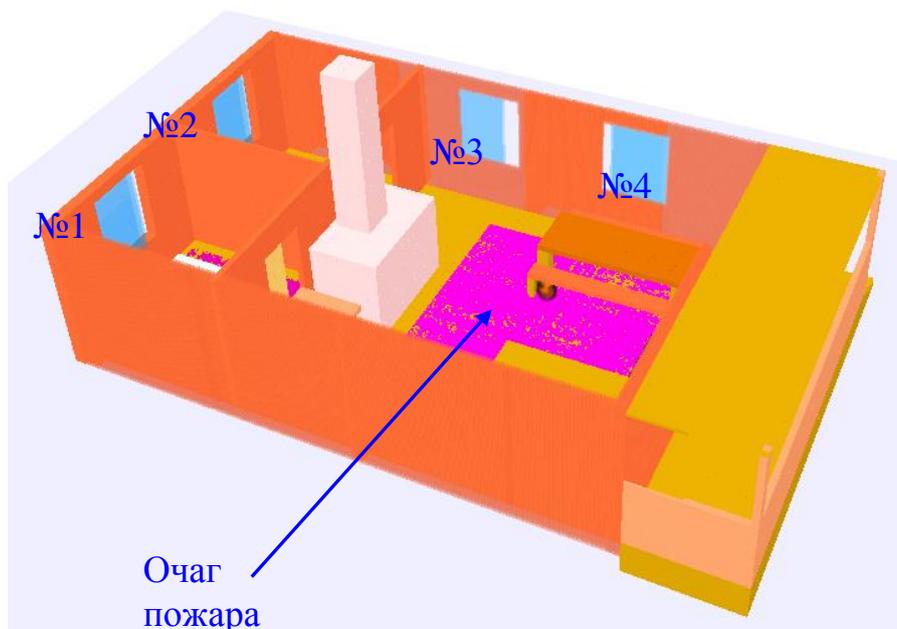


Рис. 3. Стадия пожара через 20 с от начала расчета

На рис. 3 показана начальная стадия пожара. Нумерация окон сохраняется для всех результатов расчетов: окно № 1 находится в северной спальне (левой); окно № 2 находится в южной спальне (правой); окна № 3 и № 4 находятся в гостиной.

Дымоход печи закрыт (известно из показаний очевидцев), то есть дым через дымоход не распространялся.

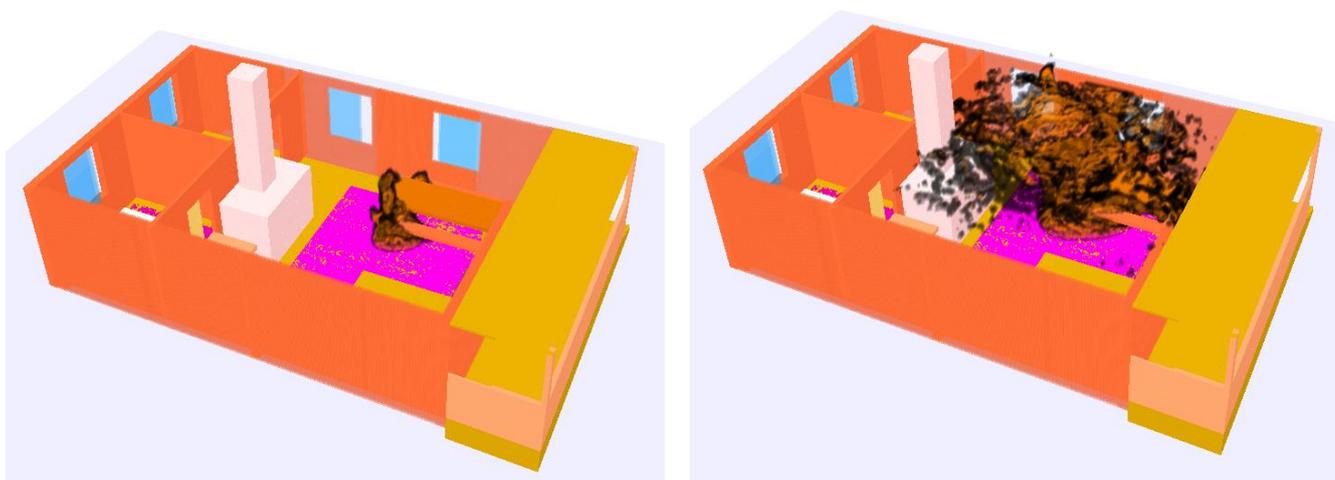


Рис. 4. Стадии пожара через 200 и 300 с от начала расчета

Из рис. 4 видно, что по прошествии 5 мин от момента начала горения все помещение гостиной объято пламенем (развитая стадия пожара). Окна в гостиной отсутствуют, так как на поверхности стекла достигнута критическая температура. На рис. 5 видно, что по прошествии 7 мин от момента начала горения фронт пожара распространился в оба спальных помещения. Окна в обоих помещениях отсутствуют.

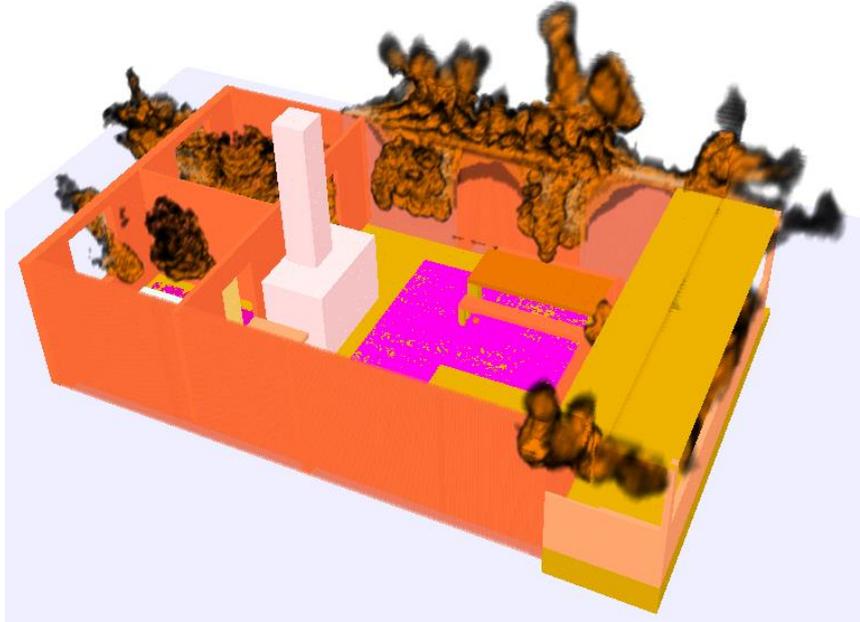


Рис. 5. Стадия пожара через 420 с от начала расчета

На графиках показаны времена разрушения остекления. Значение контрольного параметра на остеклении, равное 1, соответствует наличию остекления. Значение контрольного параметра, равное -1, соответствует отсутствию остекления.

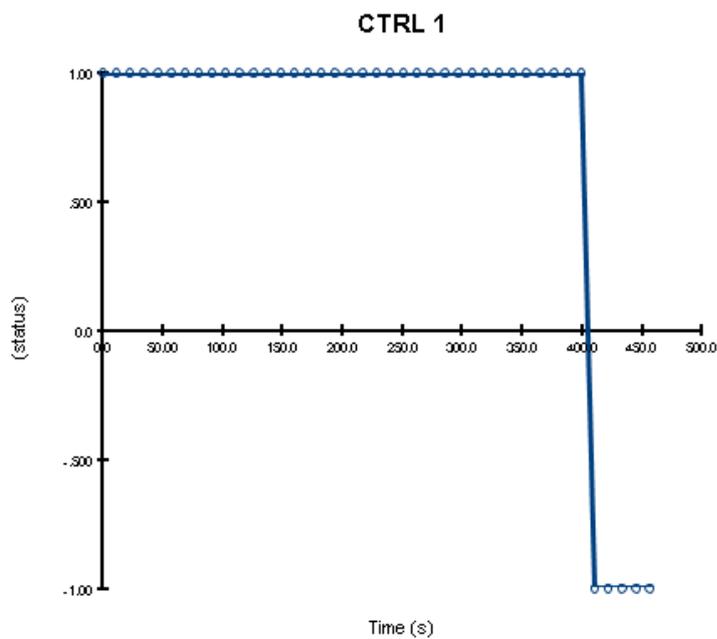


Рис. 6. Значение контрольного параметра для окна № 1

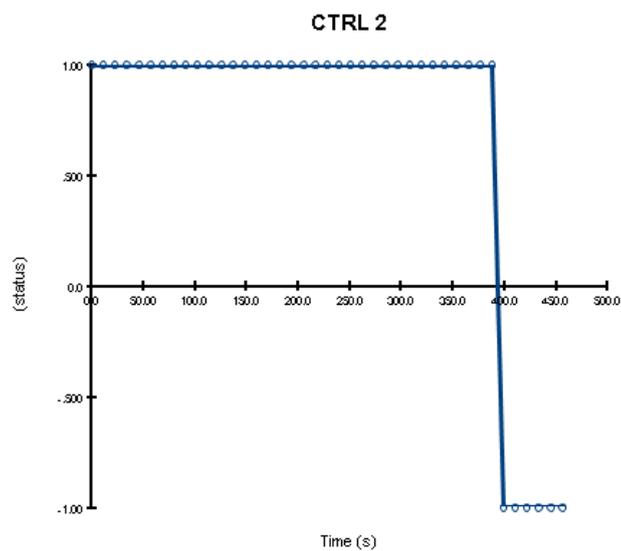


Рис. 7. Значение контрольного параметра для окна № 2

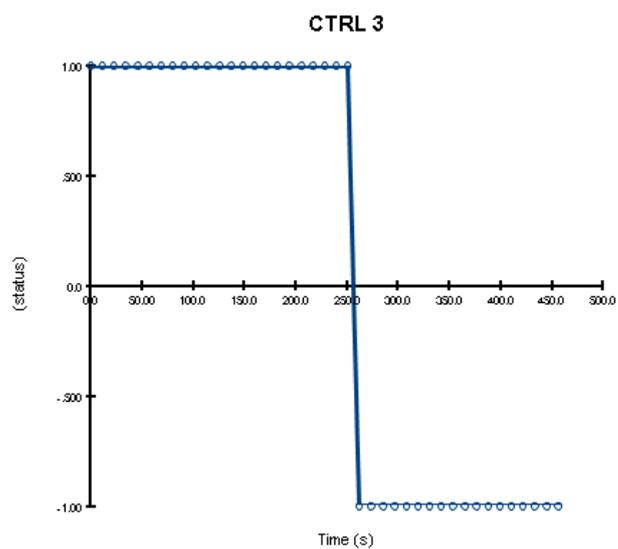


Рис. 8. Значение контрольного параметра для окна № 3

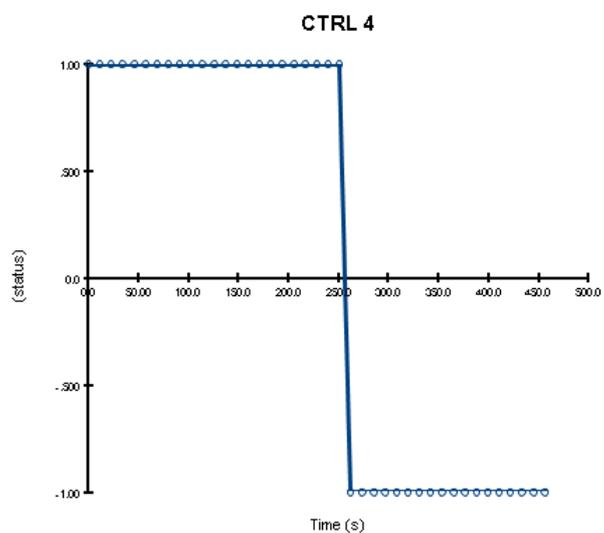


Рис. 9. Значение контрольного параметра для окна № 4

Из графиков на рис. 6–9 видно, что разрушение остекления в гостиной комнате происходит практически одновременно через 4,1 мин после начала горения. Разрушение остекления в спальнях также происходит одновременно через 6,7 мин после начала горения. Таким образом, можно заключить, что в случае месторасположения очага пожара в гостиной фронт пожара распространяется с относительно одинаковой скоростью и в одинаковые временные интервалы в оба спальнях помещения дома, разрушение остеклений происходит во всех комнатах дома. Данная хронология событий пожара противоречит показаниям очевидцев пожара, которые утверждали, что в помещении северной спальни остекление было целым.

## Результаты моделирования сценария № 2

На рис. 10–13 показано распространение фронта пожара по помещениям дома.

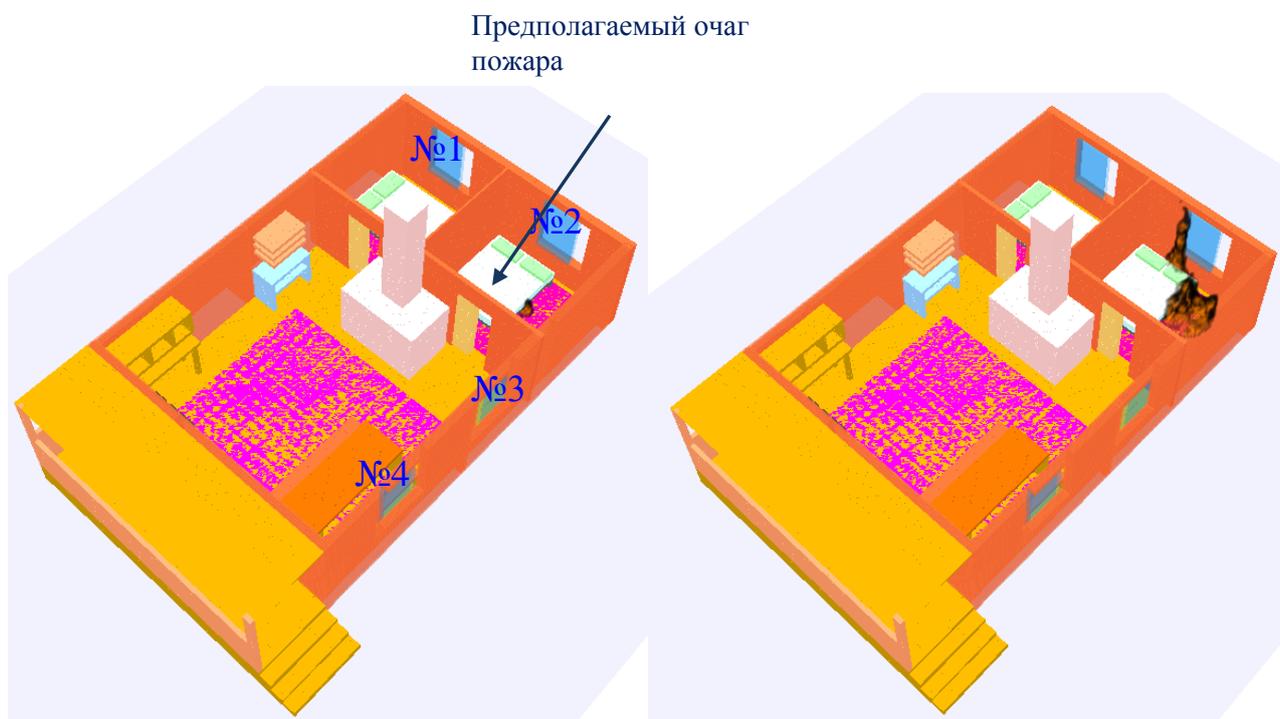


Рис. 10. Стадия пожара  
через 20 с от начала расчета

Рис. 11. Стадия пожара  
через 400 с от начала расчета

Из рис. 11 видно, что в случае сценария № 2 интенсивное горение в южной спальне начинается по прошествии 6,0 мин от начала расчета (горения). Далее на рис. 12 видно, что через 11,7 мин от начала горения фронт пожара распространяется в гостиную. Также происходит разрушение остекления в южной спальне – помещении очага пожара и в одном окне гостиной. Остекление остальных окон дома не повреждено.

На рис. 13 видно, что по прошествии 13,3 мин от момента начала горения все помещение гостиной объято пламенем (развитая стадия пожара). Оба окна в гостиной отсутствуют, так как на поверхности стекла достигнута критическая температура. Также на рис. 13 видно, что фронт пожара достигает левого спального помещения.

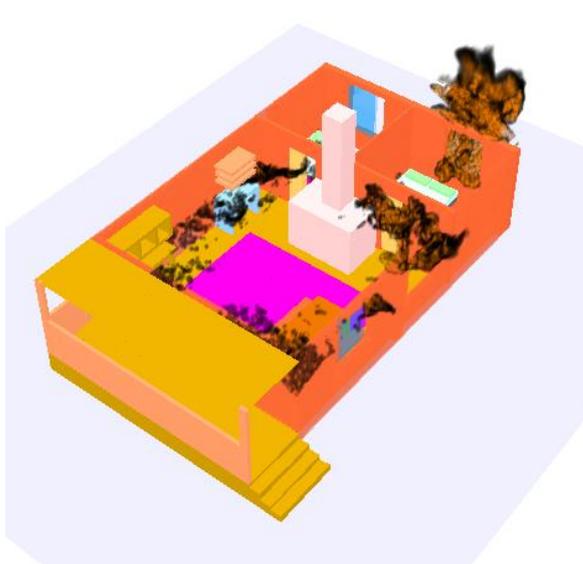


Рис. 12. Стадия пожара  
через 700 с от начала расчета

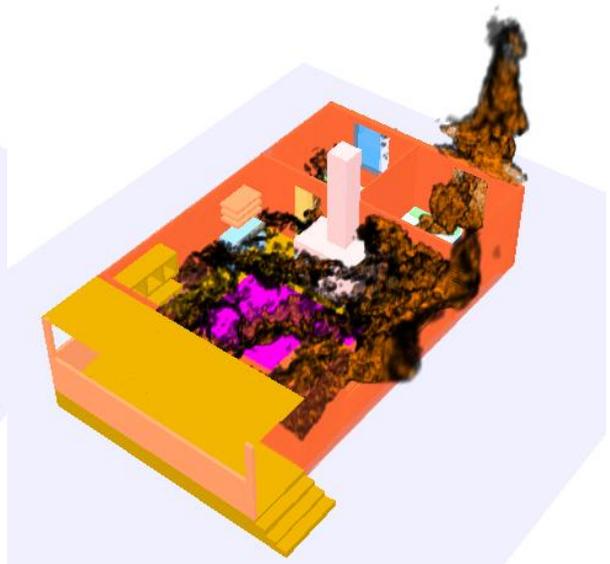


Рис. 13. Стадия пожара  
через 800 с от начала расчета

На графиках ниже показаны времена разрушения остекления (рис. 14–17).

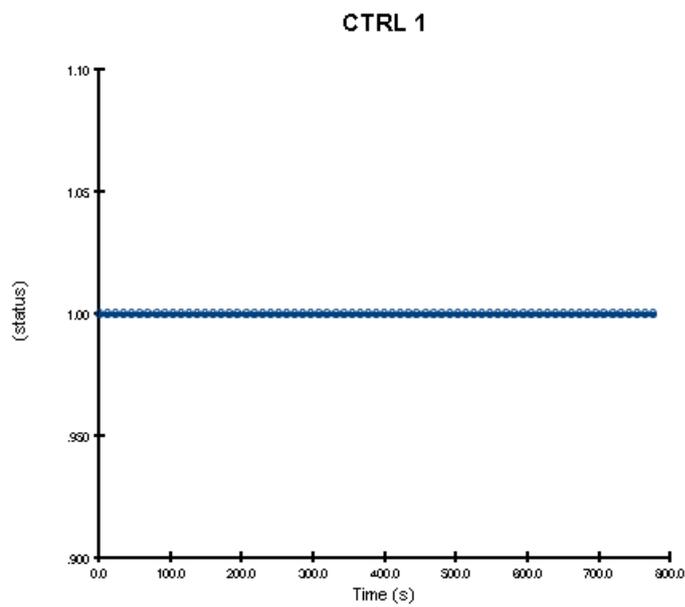


Рис. 14. Значение контрольного параметра для окна № 1

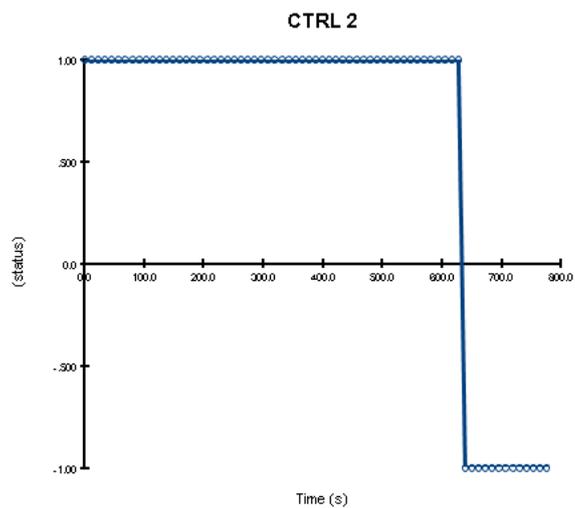


Рис. 15. Значение контрольного параметра для окна № 2

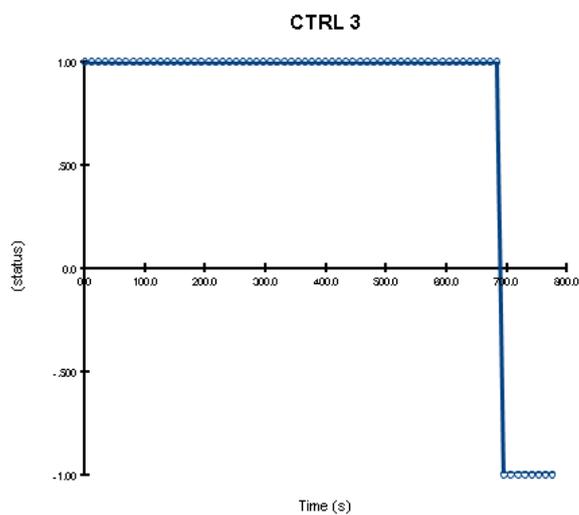


Рис. 16. Значение контрольного параметра для окна № 3

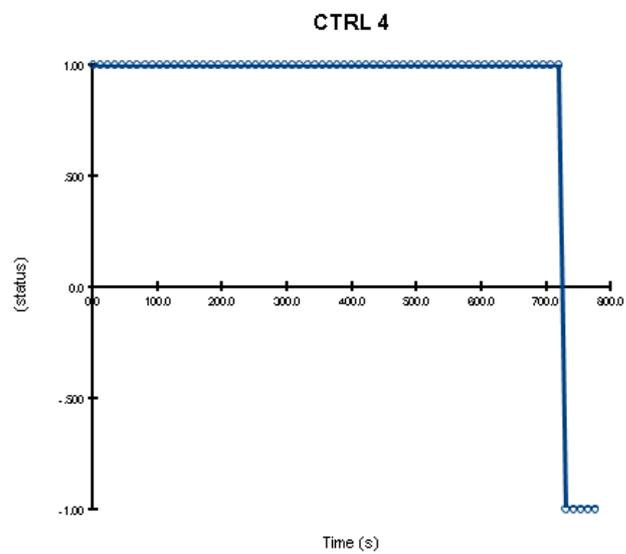


Рис. 17. Значение контрольного параметра для окна № 4

Из графиков на рис. 14–17 видно, что разрушение остекления в южной спальне – помещении очага пожара происходит на 11 мин от момента начала горения. Далее еще через одну минуту происходит разрушение остекления в гостиной. На 14 мин остекление окна в северном спальном помещении (левой спальне) не повреждено. Таким образом, можно заключить, что в случае расположения очага пожара в южном спальном помещении, фронт пожара распространяется сначала в гостиную, затем в левую спальню. В данном сценарии, хронология событий пожара не противоречит показаниям очевидцев пожара, которые утверждали, что в помещении северной спальни остекление было целым.

Таким образом, основываясь на показаниях очевидцев пожара, в частности, на данных о последовательном разрушении остекления, можно прийти к выводу, что результаты моделирования распространения пожара в сценарии № 2 наиболее приближены к описанию хронологии событий произошедшего пожара, имеющемуся в материалах дела. Также нужно отметить, что получаемые временные метки стадий пожара могут отличаться от тех, которые были в действительности. Дело в том, что при производстве данного моделирования была пропущена начальная стадия зажигания. Расчет начинался с момента распространения фронта горения из уже сформировавшейся зоны горения. Следовательно, временные интервалы смещены и не отражают реальное наступление событий пожара. Однако указанная погрешность вычислений не влияет на результаты расчетов в рассмотренном конкретном случае, потому как целью данного моделирования было качественно оценить наступление последствий пожара, выразившихся в разрушении остекления окон дома.

На основании информации, имевшейся в материалах дела, о том, что «окно левой спальни еще было, но внутри был открытый огонь, не было видно ничего», с учетом расположения в северо-восточной части дома спального помещения и, принимая во внимание результаты компьютерного моделирования распространения пожара, выразившиеся в присутствии зависимости путей распространения фронта пожара от месторасположения очага пожара, можно предположить, что очаг пожара располагался в юго-восточной части дома (в спальном помещении).

### **Литература**

1. Методология судебной пожарно-технической экспертизы пожаров: основные принципы. М.: ФГБУ ВНИИПО, 2013. 23 с.
2. Методика определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности: Приложение к Приказу МЧС России от 30 июня 2009 г. № 382 (в ред. от 2 дек. 2015 г.). Доступ из информ.-правового портала «Гарант».
3. Kevin McGrattan, Howard Baum ets. Fire Dynamics Simulator (Version 5) Technical Reference Guide. NIST Special Publication 1018-5.
4. Quintire, James G. Principles of fire behavior // Delmar Publishers. 1998. 258 p.
5. Кошмаров Ю.А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении: учеб. пособие. М.: Акад. ГПС МВД России, 2000. 118 с.
6. NIST. URL: [www.nist.gov](http://www.nist.gov). (дата обращения: 11.08.2019).

### **References**

1. Metodologiya sudebnoj pozharно-tekhnicheskoj ekspertizy pozharov: osnovnye principy. M.: FGBU VNIPO, 2013. 23 s.
2. Metodika opredeleniya raschetnyh velichin pozharnogo riska v zdaniyah, sooruzheniyah i stroeniyah razlichnyh klassov funkcional'noj pozharnoj opasnosti: Prilozhenie k Prikazu MCHS Rossii ot 30 iyunya 2009 g. № 382 (v red. ot 2 dek. 2015 g.). Dostup iz inform.-pravovogo portala «Garant».
3. Kevin McGrattan, Howard Baum ets. Fire Dynamics Simulator (Version 5) Technical Reference Guide. NIST Special Publication 1018-5.
4. Quintire, James G. Principles of fire behavior // Delmar Publishers. 1998. 258 p.

5. Koshmarov Yu.A. Prognozirovaniye opasnykh faktorov pozhara v pomeshechenii: ucheb. posobie. M.: Akad. GPS MVD Rossii, 2000. 118 s.
6. NIST. URL: [www.nist.gov](http://www.nist.gov). (data obrashcheniya: 11.08.2019).

# КОМПЛЕКСНЫЙ СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЮЗАБИЛИТИ ОТРАСЛЕВЫХ ИНТЕРНЕТ-САЙТОВ

**Т.А. Кузьмина, кандидат педагогических наук;  
А.Е. Гайдукевич;  
К.А. Скуратова.  
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Описаны отдельные основополагающие особенности информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» и интернет-сайтов в целом. Рассмотрена цветовая палитра интернет-сайтов с точки зрения комплементарного сочетания в контексте выбора пользовательской нацеленности. Проведена оценка конкурентноспособности ряда отраслевых интернет-сайтов применительно к обозначенной специфике с точки зрения оценки эффективности деятельности. Проведена оценка эффективности метода персон и моделирования пользователей интернет-сайта с прописыванием персонажей и сценариев на примере официального сайта Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России.

*Ключевые слова:* анализ, статистика, юзабилити, внешний сайт, психология цвета, интерфейс, оценка эффективности

## COMPLEX STATISTICAL ANALYSIS OF THE USABILITY OF THE BRANCH WEBSITES

T.A. Kuzmina; A.E. Gaydukevich; K.A. Skuratova.  
Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

Separate fundamental features of the Internet and the websites in general are described. The assessment of efficiency of a method of persons and modeling of users of the website with prescription of characters and scenarios on the example of the official site of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia is carried out.

*Keywords:* analysis, statistics, usability, public-facing website, color psychology, interface, potency assignment

С каждым годом количество пользователей информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» растёт, соответственно, растёт и количество сайтов. Перенасыщение сети «Интернет» привело к серьёзной конкуренции сайтов компаний со схожей деятельностью. На данный момент практически каждая организация имеет свой сайт, но пользователь, как правило, ищет более лёгкий путь, и если организации не удалось его заинтересовать в первые минуты, то с большой долей вероятности пользователь покинет страницу сайта. Для того чтобы избежать подобных ситуаций, необходимо проводить аналитику конкретного сайта и только после тщательного анализа можно судить об удобстве использования сайта в целом и страниц сайта в частности.

Юзабилити (от английского usability – удобство использования) сайта – это критерий, по которому определяют, насколько пользователю понятен, удобен и лёгок в использовании тот или иной интернет-ресурс, в частности, пользовательский интерфейс (от англ. interface – в данном случае способ взаимодействия человека и компьютерной системы), который должен быть максимально удобен и прост. Отдельного внимания в веб-дизайне (от англ. web design: web – сеть и design – проектирование) заслуживает цвет. От того, насколько грамотно была выбрана цветовая палитра, будет зависеть бессознательное восприятие информации [1].

Немалую роль играет и сочетание цветов. Существует множество методов сочетания цвета, рассмотрим несколько самых популярных. Триада – самое распространённое сочетание трёх цветов, которое будет полезным для сайта, где необходимо расставить сразу несколько акцентов [2].

Сочетание комплементарных (контрастных) цветов, расположенных на противоположных сторонах цветового круга, выглядит очень энергично, особенно если использовать максимальную насыщенность цвета. Но данное сочетание может показаться недостаточно презентабельным, поэтому в дизайне предпочитают двойную комплементарную систему. Такую гамму порой очень трудно воплотить, но в то же время при удачном использовании она может оказаться очень выигрышной. Здесь используются два контрастных и два дополнительных цвета [3].

Помимо самостоятельного выбора цветовой гаммы для сайта, возможно использование корпоративных цветов. К примеру, корпоративными цветами МЧС России считаются белый, синий и оранжевый.

Удобство использования того или иного сайта не ограничивается одним только выбором цвета. Разработка интерфейса занимает большую часть времени у веб-дизайнера. Для того чтобы конечный результат был действительно удобен в использовании и не нагружал страницу лишними элементами, нужно грамотно провести анализ.

Внешний сайт Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы (СПб УГПС МЧС России) размещен в русскоязычном сегменте сети «Интернет» на домене <https://igps.ru> по данным WHOIS-service (от англ. who is – кто это?), основное применение сервиса – получение регистрационных данных о владельцах доменных имён на 26 марта 2019 г.

Комплексный анализ был проведён на основе данных за период с 3 октября 2017 г. по 2 октября 2018 г., взятых из бесплатного интернет-сервиса «Яндекс.Метрика», предназначенного для оценки посещаемости веб-сайтов (от англ. website: web – сеть и site – часть в сети), а также для анализа поведения пользователей [4].

Основная аудитория сайта – молодежь в возрасте 18–24 лет (26,7 %), очевидно, что большая часть – это учащиеся, а также абитуриенты. Примерно равное количество процентов и у возрастной группы 25–34 года (26,3 %). К данной категории могут относиться магистранты, адъюнкты, офицерский состав, и, скорее всего, те, кто проходит курсы повышения квалификации. Всего 17,8 % приходится на возрастную группу «младше 18 лет». К этой категории относятся как абитуриенты, так и кадеты. И 14,4 % у группы людей 35–44 года – это часть преподавателей и офицерского состава, а также родители учащихся и абитуриентов.

По данным термической карты кликов и ссылок можно выделить пять приоритетных целей посещения сайта:

- посещение личного кабинета;
- контакты университета;
- данные о бюджетной форме обучения;
- новости университета;
- обучение на договорной основе.

Сайт использует файлы cookie (от англ. cookie – в данном случае небольшие фрагменты данных, отправленные сервером и хранимые на компьютерах пользователей), следовательно, регистрирует ip-адреса (от англ. Internet protocol address – адрес интернет-протокола) пользователей.

Проанализировав значения так называемых «Посетителей» и «Новых посетителей», становится возможным узнать максимальные отметки посещения сайта, а также узнать период максимального прироста новых посетителей. Практически каждый из пиковых периодов можно соотнести с тем или иным мероприятием, что логично объясняет скачки. При этом стоит отметить, что на протяжении всего года не наблюдается резких спадов посещаемости, кроме начала учебного года 2018–2019 гг. (табл.).

Таблица. **Посещаемость внешнего сайта СПб УГПС МЧС России**

Период	Мероприятие	Количество	
		«Посетители»	«Новые посетители»
2–8 июля 2018 г.	Сборы абитуриентов	11 278	8 860
3–9 сентября 2018 г.	Начало учебного года	9 760	7 322
24–30 сентября 2018 г.	Приезд министра, новости сайта	7 516	5 242
15–21 января 2018 г.	Начало весеннего семестра	6 764	5 212

Как любой интернет-ресурс, сосредоточенный в той или иной отрасли, внешний сайт СПб УГПС МЧС России не является единственным.

Ниже приведён список высших учебных заведений и ссылок на сайты (при наличии), подготавливающих сотрудников МЧС России:

- Академия гражданской защиты МЧС России (<https://amchs.ru>);
- Уральский институт ГПС МЧС России (<http://uigps.ru>);
- Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России (<http://sibpsa.ru>);
- Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России (<http://edufire37.ru>);
- Воронежский институт – филиал Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России (<http://vf.edufire37.ru>);
- Дальневосточная пожарно-спасательная академия – филиал СПб УГПС МЧС России (<https://dv.igps.ru>).

Не имея результатов анализа статистики посещения сайтов, можно рассмотреть лишь внешнюю оболочку, а именно: функционал, юзабилити, наличие портфолио (от англ. portfolio – портфель, папка для важных дел), наличие личного кабинета, а также сравнить цветовую палитру. Практически все сайты используют традиционные цвета структуры МЧС России – синий и оранжевый, кроме сайта Дальневосточной пожарно-спасательной академии, где используются белый и черный. Что касается дизайна страниц, в большинстве случаев он выглядит достаточно сдержанно, наименее минималистичным представляется интернет-ресурс Академии гражданской защиты МЧС России.

Существенную роль в улучшении как статистики посещения, так и внешнего вида сайта играет правильное составление так называемых «персонажей» и «сценариев» для сайта. Схема перекочевала из классического маркетинга и активно применяется западными разработчиками, однако в России ею зачастую пренебрегают.

При разработке интерфейсов в первую очередь необходимо правильно определить цель сайта и уже от этого отталкиваться. Безусловно, основной целью внешнего сайта СПб УГПС МЧС России является привлечение абитуриентов, но это далеко не единственная цель. Интернет-ресурс предназначен и для пользования курсантами/слушателями, а так как университет обучает дистанционно, необходимо и эту информацию сделать доступной для пользователей.

Исходя из поставленных задач, было составлено три персонажа и прописано им три сценария соответственно:

Персонаж 1, Илья, 16 лет, г. Псков. Ученик 10 класса. Новый учебный год, 10 класс, время определяться с будущей профессией. Илья с детства занимался спортом и мечтал связать свою судьбу с военизированной структурой. В прошлом году выпустился из школы его друг, который поступил в СПб УГПС МЧС России, и Илья хочет узнать, что же нужно для того, чтобы туда поступить.

Персонаж 2, Мария, 20 лет, Санкт-Петербург. Курсант 3 курса. Марии была поставлена задача изменить фотографию в профиле, а также заполнить данные в портфолио

(добавить наличие курсовых и контрольных работ, сведения об участии в культурных и спортивных мероприятиях).

Персонаж 3, Дмитрий, 35 лет, г. Владивосток. Старшина, работает в пожарной части. Дмитрий давно носит погоны младшего начальствующего состава, а отсутствие высшего образования мешает его карьерному росту. Финансовое положение Дмитрия не позволяет ему отказаться от работы на время обучения и сменить место жительства, поэтому он решает пройти обучение дистанционно, что позволит ему сохранить своё место работы и повысить квалификацию.

Сценарий 1: Илья вводит запрос «универ МЧС в Питере» в поисковой системе «Яндекс» и кликает на первую ссылку. Поняв, что это не тот сайт, возвращается к поиску, кликает на вторую ссылку и оказывается на сайте университета. Обилие информации немного дезориентирует Илью, но спустя недолгое время он находит нужный, как ему кажется, раздел «Факультеты и специальности». Да, он нашёл немного информации, но не всё, что ему необходимо. В попытках найти конкретную информацию о поступлении Илья начинает искать вкладку «Абитуриенту» слева в списке, но он её не видит. Илья возвращается на главную страницу и пытается найти что-либо там, и вот, опустив взгляд вниз, заветная ссылка «Абитуриенту» попадает ему на глаза. Здесь он находит всю необходимую информацию.

Сценарий 2: Мария пытается справиться с задачей, которую по долгу обучения в вузе ей необходимо выполнить. По возвращению домой она садится за ноутбук и заходит на сайт университета. Мария открывает свой личный кабинет. Найти вкладку «Портфолио» не составляет труда, и она приступает к работе. Персонаж ограничен во времени, поэтому торопится, в связи с чем, допускает ошибку в названии работы, и вовремя не заметив, отправляет. На опечатку Марии указывает командир группы и требует немедленного исправления до проверки высшим начальствующим составом. Увы, редакция сохранённого элемента на внутреннем сайте запрещена. Исправления возможно внести только через аккаунт (от англ. account – учётная запись) администратора. По причине невозможности исправить ошибку самостоятельно, Мария собирается обратиться в техническую поддержку. Ей не удаётся найти контакты службы технической поддержки. Единственным решением в данной ситуации является напрямую обратиться к администраторам сайта в отдел информационных технологий, что, в свою очередь, вызывает некоторые трудности. Мария не может опоздать на построения или занятия, а после вечернего построения в отделе никого не будет, поэтому ей нужно постараться найти время в течение рабочего дня.

Сценарий 3: Дмитрий открывает браузер (от англ. browser – прикладное программное обеспечение для отображения содержания сайтов и для решения других задач) и, используя поисковую систему «Яндекс», вводит поисковый запрос «заочное обучение в университете МЧС СПб». Пройдя по второй ссылке, он автоматически оказывается в нужном ему разделе «Обучение на договорной основе (институт заочного и дистанционного обучения)», где перед ним предстают ссылки на информацию об образце договора, направлениях обучения, стоимости обучения, правилах приёма, расписании вступительных экзаменов, а также приказы о зачислении. Получив информацию об интересующем его направлении, он знакомится с правилами приёма и расписанием вступительных экзаменов. Вопросов у Дмитрия не возникло, и он начинает готовить пакет документов для поступления.

Как показала практика применения «метода персон», для среднестатистического абитуриента не всегда просто найти всю нужную ему информацию, что, в свою очередь, может привести к оттоку целевой аудитории.

Проведённый комплексный статистический анализ показал, что разработка дизайна изначально была довольно успешна, интерфейс же нуждается в доработке с точки зрения привлечения целевой аудитории, что поспособствует дальнейшему развитию внешнего сайта СПб УГПС МЧС России, который на сегодняшний день вполне конкурентоспособен и выделяется практичным и привлекательным интерфейсом на фоне других сайтов структуры МЧС России.

В заключение стоит отметить, что внешний сайт СПб УГПС МЧС России эффективно функционирует и выполняет поставленные задачи. Тем не менее для того чтобы идти в ногу со временем, необходимо постоянно уделять должное внимание требованиям и запросам пользователей, а также следить за инновациями в сфере информационных технологий.

### **Литература**

1. Braem H. Die Macht der Farben. Wirtschaftsverlag Langen Mller / Herbig, 2009. 228 p.
2. Itten J. The Art of Color. John Wiley & Sons. 2008. 96 p.
3. Люшер М. Цвет вашего характера: пер. с нем. Ю.В. Емельяновой. М.: Гиппо, 2003. 240 с.
4. Термины и определения – Метрика. URL: <https://yandex.ru/support/metrika/general/glossary.html> (дата обращения: 26.03.2019).

### **References**

1. Braem H. Die Macht der Farben. Wirtschaftsverlag Langen Mller / Herbig, 2009. 228 p.
2. Itten J. The Art of Color. John Wiley & Sons. 2008. 96 p.
3. Lyusher M. Cvet vashego haraktera: per. s nem. Yu.V. Emel'yanovoy. M.: Gippo, 2003. 240 s.
4. Terminy i opredeleniya – Metrika. URL: <https://yandex.ru/support/metrika/general/glossary.html> (data obrashcheniya: 26.03.2019).

# ОБОБЩЕННАЯ СХЕМА ФОРМИРОВАНИЯ ТИПОВОГО СЦЕНАРИЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ АНТИКРИЗИСНОГО УПРАВЛЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ

**И.Ш. Шафигуллин, кандидат технических наук, доцент;**

**А.В. Кубуша, кандидат военных наук;**

**П.Ю. Бугайченко, кандидат военных наук.**

**Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского**

Представлена обобщенная схема формирования типового сценария решения задачи антикризисного управления оперативным составом дежурной смены ситуационного центра с использованием экспертных систем при сборе и анализе слабоструктурированных данных. Рассмотрены возможности использования программно-аппаратных комплексов в деятельности оперативного состава дежурных смен центров управления, позволяющие применять методы и технологии экспертных систем при решении задачи антикризисного управления с целью повышения эффективности процесса информационного обеспечения органов управления.

*Ключевые слова:* сценарий, антикризисное управление, ситуационный центр, экспертные системы

## GENERALIZED SCHEME FOR FORMING A TYPICAL SCENARIO FOR SOLVING THE PROBLEM OF ANTI-CRISIS MANAGEMENT USING EXPERT SYSTEMS

I.Sh. Shafigullin; A.V. Kubusha; P.Yu. Bugaychenko.

Military space academy named after A.F. Mozhaysky

Presents a generalized scheme for the formation of typical scenarios of solving the problem of crisis management operations officers duty shift of situation centre with the use of expert systems in the collection and analysis semi-structured data. Possibilities of use of software and hardware complexes in activity of operational structure of duty shifts of the control centers allowing to apply methods and technologies of expert systems at the solution of a problem of anti-crisis management for the purpose of increase of efficiency of process of information support of governing bodies are considered.

*Keywords:* scenario, crisis management, situational center, expert systems

В статье в качестве ситуационного центра (СЦ) рассматривается любой современный центр управления (ЦУ), оснащенный программно-аппаратным комплексом (ПАК), позволяющим обрабатывать и представлять разнотипную информацию с помощью новейших средств отображения информации, вычислительной техники, систем связи и телекоммуникаций, обеспечивающих мониторинг кризисных ситуаций, представление информационных моделей обстановки, систему групповой поддержки решений, с акцентом на визуализацию информации [1]. При этом кризисная ситуация (КС) – это неопределенность цели при заданных условиях, характеризуемая комплексом условий, в которых существует проблема как расхождение между действительным и желаемым, приводящим к взаимосвязанным задачам, подлежащим разбору и решению в установленные сроки и с необходимым качеством [2].

Любая КС характеризуется:

- существованием угроз для реализации целей, задач и соответствующих функций организационно-технических систем;
- недостатком времени для формирования и принятия решений, направленных на устранение последствий возникшей КС;
- деятельностью должностных лиц органов управления (ДЛОУ), формирующих и принимающих решения в условиях неопределенности, отсутствия полноты необходимой информации, целенаправленного давления и введения в заблуждение;
- неадекватным восприятием возникшей КС ответственными ДЛОУ, формирующими и/или принимающими соответствующие решения.

Формирование типовых сценариев решения задачи антикризисного управления оперативным составом дежурных смен (ДС) ЦУ в рамках совершенствования информационного обеспечения (ИО) органов управления (ОУ) при использовании методов и технологий искусственного интеллекта в части анализа неструктурированных (слабоструктурированных) данных представляется одним из наиболее перспективных и ресурсосберегающих направлений реализации имеющихся резервов повышения эффективности их функционирования.

В качестве сценария в статье рассматривается полностью продуманная программа, заранее подготовленный конкретизированный и детальный план какого-либо мероприятия, включающего в себя в определенной последовательности в единое целое достаточно большое количество составных частей (этапов и блоков) решения конкретной задачи. При этом он должен представлять собой неформальный документ, позволяющий осуществлять анализ возможных вариантов развития будущей обстановки, составленный в форме словесного описания, выявлять возможные препятствия, обнаруживать серьезные недостатки. Как правило, сценарий может включать название мероприятия, перечень действующих ДЛОУ, их действия, цепь событий (эпизодов), связанных содержанием (сюжетом) в форме последовательности и связи в описании событий. Любой сценарий предполагает развитие события, разворачивающегося во времени и/или в пространстве, наличие субъекта и объекта, цели, условий возникновения, времени и места действия. Вместе с этим, рассматривая сценарий как модель, в которой описывается возможный ход событий, он позволяет осуществить прогноз развития той или иной КС для определенных наиболее вероятных условий развития обстановки.

Порядок представления информации целесообразно определять Регламентом информационного взаимодействия (РИВ) и для осуществления информационной работы использовать соответствующие отчетно-информационные документы. Основными из них являются справки-доклады и донесения. По характеру содержащихся сведений донесения могут быть срочными и внесрочными. По представляемой информации: быть текущими и итоговыми. Срочные донесения представляются ко времени, установленному РИВ, внесрочные – в зависимости от обстановки или по требованию. Любое изменение обстановки, подпадающее под определение КС, должно быть регламентировано соответствующими руководящими документами. В соответствии со сложившейся практикой в системе ИО ОУ определен следующий порядок предоставления первичного доклада, содержащего сведения о КС:

- 1) дата, время, место (населенный пункт, район, область), суть КС;
- 2) предварительная причина и обстоятельства возникновения КС;
- 3) количество пострадавших (погибших, раненных), если есть тяжесть ранений;
- 4) принимаемые меры по оказанию первичной медико-санитарной помощи и специализированной медицинской помощи, сведения об эвакуации пострадавших;
- 5) руководитель аварийно-спасательных и других неотложных работ и (или) старший начальник в зоне (районе) КС, порядок связи с ним;
- 6) привлекаемые силы и средства;
- 7) прогнозируемые последствия произошедшего;

8) информация о назначенной комиссии (кем и от какого ОУ назначена, кто возглавляет) для расследования причин и обстоятельств КС.

В ЦУ необходимо определить алгоритм предоставления докладов о КС, которые бы характеризовались соответствующей информацией о произошедшем, предоставлением первичной текстовой справки, уточнением ее графическими, фото- и видеоматериалами, информацией о развитии обстановки. Формирование как первичной текстовой, так и уточненной справки базируется на работе с базой данных и базой знаний ДС ЦУ, схемах межведомственного информационного взаимодействия, типовых алгоритмах действий в КС, соответствующих руководящих документах. Задержка представления донесений из-за отсутствия полноты информации недопустима. Недостающие сведения должны передаваться прямыми переговорами с обязательным подтверждением их в последующем донесении. В срочном донесении (как правило, привязаны к каким-либо срокам – ежедневные, еженедельные, ежемесячные, ежегодные и т.п.) могут излагаться результаты выполнения задач. Внеочередные донесения могут содержать сведения о получении приказов и указаний, принятии нового решения, о начале выполнения поставленных задач, резком изменении обстановки, и данные, которые могут оказать влияние на ход выполнения поставленных задач, других КС, а также чрезвычайных происшествий, событиях, имеющих общественную значимость.

В качестве одного из методов и технологий искусственного интеллекта для анализа неструктурированных (слабоструктурированных) данных предлагается применить экспертные системы (ЭС). ЭС – это комплекс программных средств, реализующих методы искусственного интеллекта, основанные на знаниях. Они позволяют накапливать знания по предметной области в рамках некоторой модели знаний (продукционной, сетевой, фреймовой и др.) и на их основе выводить новые знания [3]. В состав ЭС входят: база знаний; лингвистический процессор, обеспечивающий общение пользователя (оператора) с ЭС; решатель, реализующий механизм логического вывода, компоненты приобретения знаний и объяснений хода решения задачи управления.

Важное место в ЭС занимают конкретные исполнители, так называемые операторы ЭС, в качестве:

- пользователей – оперативный состав ДС ЦУ (обращаются к системе за советом по специальным проблемам в узкой области, представляя ей специфические факты и свои гипотезы о следствиях или целях);
- экспертов – начальники ДС, начальники отделов (направлений), начальники ЦУ (обращаются к системе, чтобы передать ей свои знания по частной проблеме, а также общепринятые факты и процедуры вывода);
- инженеров по знаниям (действуют как промежуточные звенья между экспертом и системой, помогая первому зондировать свои знания и проверяя работу законченной ЭС).

В ходе выбора способов организации и поддержания взаимодействия между операторами ЭС следует определить совокупность этапов действий оперативного состава ДС ЦУ, на которых должно осуществляться решение задачи антикризисного управления, прежде всего, по этапам обработки информации, то есть в ходе анализа материалов, сведений или данных. На основе этого предполагается определить последовательность решения задачи и принципы организации взаимодействия с исполнителями – операторами ЭС.

Если рассматривать ЭС с информационной точки зрения, то ее можно представить, как это сделано на рис. 1. Центральная окружность показывает базу знаний фактов и правил вывода, являющуюся сердцем ЭС. В отличие от обычной информационной базы данных, в ней хранятся не только факты, но и правила, позволяющие вывести новые факты.



Рис. 1. Информационная структура ЭС

В ходе подготовки базы знаний ЭС исполнители (эксперт и инженер по знаниям) согласовывают включение в модель (ЭС) данных о той или иной КС в качестве задачи антикризисного управления. Они подготавливают данные к пригодному для анализа виду, применяют к ним различные методы анализа, приводят результаты к легко воспринимаемому виду.

Сценарий решения задачи антикризисного управления оперативным составом ДС ЦУ должен учитывать последовательность выполнения мероприятий по сбору (добыванию) данных обстановки, которые осуществляются непрерывно как при подготовке, так и в ходе выполнения поставленных задач. Наиболее важные данные должны немедленно поступать на соответствующие средства отображения информации. Другие данные накапливаются в соответствующих базах данных и знаний для последующей обработки и использования по мере необходимости (по запросу), при этом не допускается накопление информации, не связанной с выполнением поставленных задач. Заблаговременно определяется, какие данные, к какому времени необходимо добыть, порядок их сбора, анализа и доклада. При сборе данных обстановки необходимо исключить дублирование и представление одних и тех же сведений в различные ОУ. Для этого устанавливается строго регламентированная по времени система сбора данных обстановки, определяется характер и содержание данных, собираемых различными ДЛЮУ, организуется оперативное информирование о поступивших данных.

В ходе выбора способов организации и поддержания взаимодействия между операторами ЭС следует определить совокупность этапов действий оперативного состава ДС ЦУ, на которых должно осуществляться решение задачи антикризисного управления, прежде всего, по этапам обработки информации, то есть в ходе анализа материалов, сведений или данных. На основе этого предполагается определить последовательность решения задачи и принципы организации информационного взаимодействия с исполнителями – операторами ЭС.

Результаты анализа необходимы как лицам, принимающим решения, так и лицам их формирующим (оперативному составу ДС ЦУ), в случаях когда они могут не вникать в методы анализа, но у них есть потребность в их результатах. Таким образом, требуется, с одной стороны, выделить и формализовать знание экспертов о предметной области, с другой, обеспечить возможность использования этих знаний оперативным составом ДС ЦУ при решении задачи антикризисного управления, то есть решить проблему тиражирования знаний (вариант прикладного решения в области анализа данных при применении ЭС представлен на рис. 2).

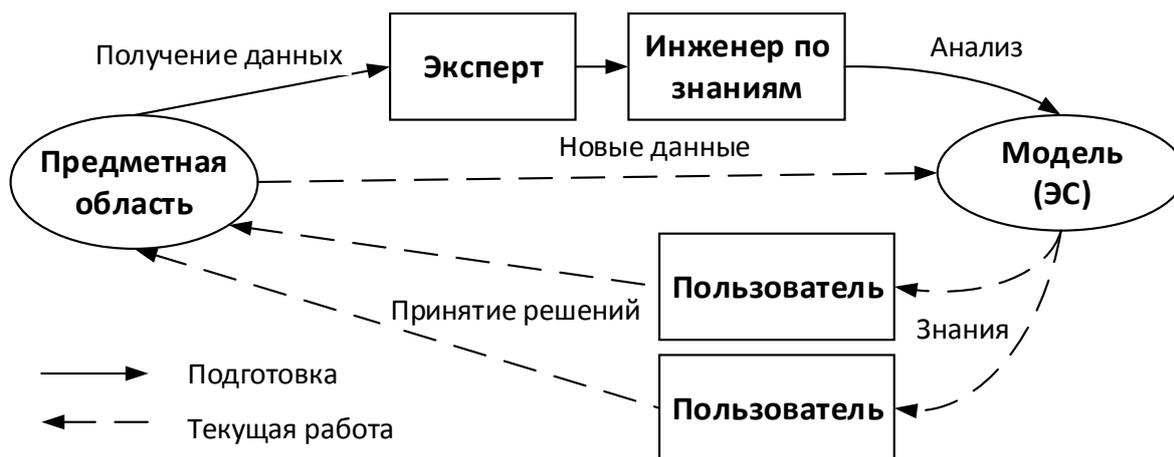


Рис. 2. Вариант прикладного решения в области анализа слабоструктурированных данных при применении ЭС

Обобщенная схема формирования типового сценария решения задачи антикризисного управления оперативным составом ДС ЦУ с использованием ЭС при сборе и анализе слабоструктурированных данных представлена на рис. 3. В соответствии с ней, получив первичную справку о КС, в модель ЭС вводятся ее формализованные характеристики. ЭС осуществляет поиск в базе знаний аналогичных КС, ранее включенных в нее. Если аналогичная КС включена в базу знаний ЭС, то принимается решение на включение ранее разработанных предложений и рекомендаций в справку-доклад по текущей КС. Заканчивается решение задачи антикризисного управления всегда разработкой отчетного документа – справкой-докладом по КС. Если решение на включение предложений и рекомендаций не принято, то после получения уточненной справки по КС ее формализованные характеристики повторно вводятся в ЭС и осуществляется повторный поиск в базе знаний.

При отсутствии аналогичной КС в базе знаний ЭС справка-доклад оформляется традиционным способом, а в последствии экспертами и инженером по знаниям проводится работа по включению новой КС в ЭС.

Введение в практику деятельности оперативного состава ДС ЦУ обращение к ПАК, позволяющим применять методы и технологии ЭС при решении задачи антикризисного управления, позволит повысить эффективность процесса ИО ОУ, а так же достичь ряда преимуществ, представленных на рис. 4.

Применение методов и технологий ЭС при решении задачи антикризисного управления при совершенствовании ИО ОУ – это фундамент для качественного перехода в повышении эффективности функционирования оперативного состава ДС ЦУ. Развитие системы применения методов и технологий ЭС может заложить технологическую основу для функционирования системы ИО ОУ будущего. Она обеспечивает совершенно другое качество работы с информацией о КС за счёт широкой автоматизации всей совокупности управленческих процессов.

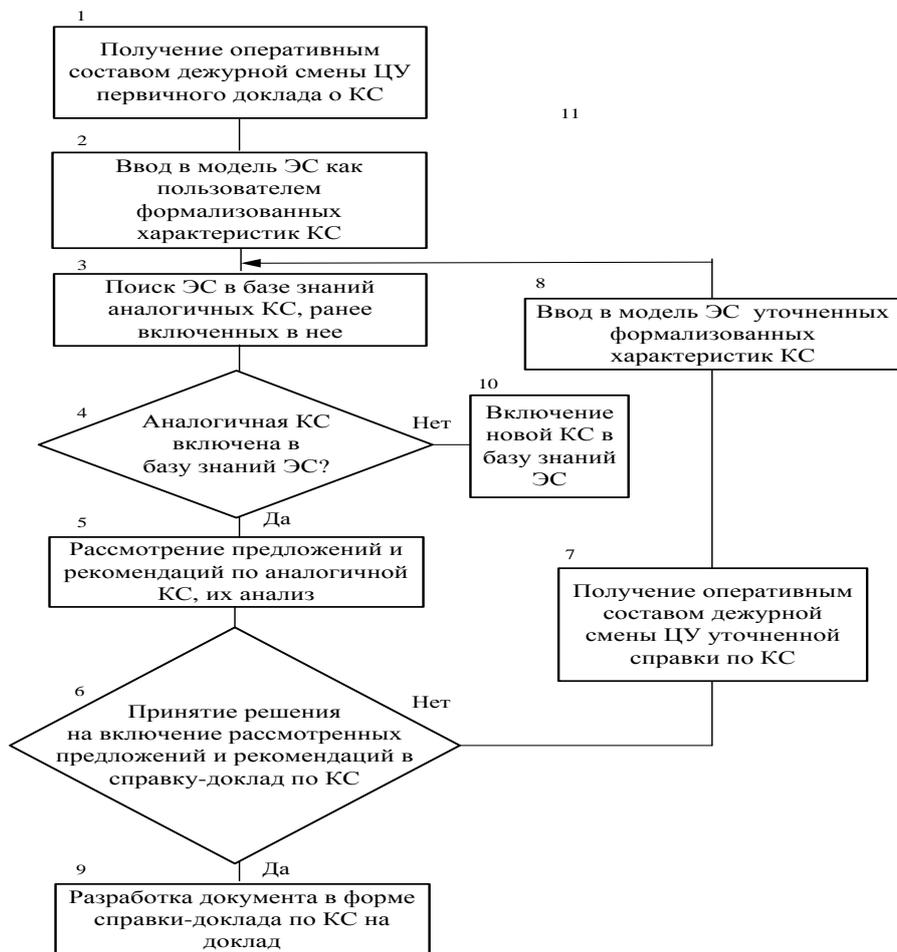


Рис. 3. Обобщенная схема формирования типового сценария решения задачи антикризисного управления оперативным составом ДС ЦУ с использованием ЭС



Рис. 4. Преимущества от применения ПАК, позволяющим применять методы и технологии ЭС

### **Литература**

1. Ильин Н.И., Демидов Н.Н., Новикова Е.В. Ситуационные центры. Опыт, состояние, тенденции развития. М.: Медиа Пресс, 2011. 336 с.
2. Шафигуллин И.Ш., Кубуша А.В., Трунов В.Г. Особенности антикризисного управления специальными организационно-техническими системами в условиях кризисных и чрезвычайных ситуаций в современных условиях // Проблемы управления рисками в техносфере. 2019. № 1 (49). С. 55–60.
3. Рассел С., Норвиг П. Искусственный интеллект: современный подход: пер. с англ. 2-е изд. М.: Изд. дом «Вильямс», 2006. 1408 с.

### **References**

1. Il'in N.I., Demidov N.N., Novikova E.V. Situacionnye centry. Opyt, sostoyanie, tendencii razvitiya. M.: Media Press, 2011. 336 s.
2. Shafigullin I.Sh., Kubusha A.V., Trunov V.G. Osobennosti antikrizisnogo upravleniya special'nymi organizacionno-tekhnicheskimi sistemami v usloviyah krizisnyh i chrezvychajnyh situacij v sovremennyh usloviyah // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2019. № 1 (49). S. 55–60.
3. Rassel S., Norvig P. Iskusstvennyj intellekt: sovremennyj podhod: per. s angl. 2-e izd. M.: Izd. dom «Vil'yams», 2006. 1408 s.

# **ПРИМЕНЕНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ОПОВЕЩЕНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ ЭВАКУАЦИЕЙ ЛЮДЕЙ ПРИ ПОЖАРЕ НА ОСНОВЕ BIM–МОДЕЛИРОВАНИЯ**

**А.А. Горбунов, кандидат военных наук, доцент.**

**Академия ГПС МЧС России.**

**С.Н. Терехин, доктор технических наук, доцент;**

**Ф.А. Дали, кандидат технических наук, доцент.**

**Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Работа посвящена применению на современных объектах строительства автоматизированных систем оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре на основе BIM-моделирования. Интеллектуальная система позволит повысить уровень принятия управленческих решений при эвакуации людей и спасению материальных ценностей при пожаре.

*Ключевые слова:* системы оповещения, управления эвакуацией людей, BIM-моделирование, объекты с массовым пребыванием людей, пожар

## **USE OF INTELLIGENT WARNING SYSTEM MANAGERMENTS OF EVACUATION OF PEOPLE FOR FIRE ON BASIS TO BIM–MODELLING**

A.A. Gorbunov. Academy of State fire service of EMERCOM of Russia.

S.N. Terekhin; F.A. Dali. Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

This work is focuses on the application of automated warning systems and evacuation management on modern construction sites in case of fire, which based on BIM-modeling with the proposed structural and functional features. The intellectual system will improve the effectiveness of management decisions in the organization of safe evacuation and the rescue of material resources in case of fire.

*Keywords:* warning systems, managements of evacuation of people, BIM-modeling, objects with mass stay of people, fire

Анализ известных статистических данных за последние пять лет о пожарах на объектах с массовым пребыванием людей (МПЛ) позволяет утверждать, что среднее количество погибших на таких пожарах ежегодно уменьшается, но соотношение суммарного числа погибших к числу пожаров на таких объектах является относительно неизменным (рис. 1).

Проведенные исследования показали, что одной из основных причин такой ситуации является низкий уровень целевого применения автоматизированных систем оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре (СОУЭ) [1], смонтированных и используемых на большинстве отечественных объектах гражданского назначения с МПЛ.

Также к причинам гибели людей при возникновении пожаров на таких объектах можно отнести и отдельные отклонения технических и функциональных параметров современных СОУЭ от требований нормативных документов, основным среди которых является СП 3.13130.2009 [2].

В этом документе в качестве основной задачи СОУЭ объектов с МПЛ определено своевременное предупреждение посетителей объектов о пожаре или других чрезвычайных ситуациях (ЧС). Одновременно с оповещением алгоритм функционирования СОУЭ предусматривает информирование посетителей о путях оперативной и максимально

безопасной эвакуации из объекта с целью минимизации или предотвращения ущерба их жизни и здоровью.

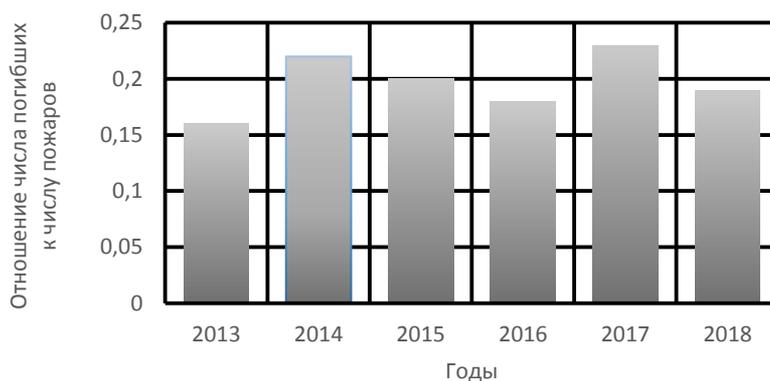


Рис. 1. **Отношение числа погибших к числу пожаров**

Для предупреждения людей, находящихся в помещениях объекта защиты, об угрозе возникновения пожара или другой ЧС системой формируются звуковые, световые и мнемонические сигналы, которые передаются по проводным или беспроводным каналам связи и транслируются с помощью мультимедийных оповещателей в виде речевых или видеозвуковых указаний о необходимости эвакуироваться, доступных путях эвакуации и необходимых действиях, направленных на обеспечение общей безопасности посетителей объекта с МПЛ во время эвакуации. Транслируемые СОУЭ сообщения должны формироваться с учетом минимизации масштабов возможной паники и других негативных процессов, способных существенно усложнить организацию своевременной и безопасной эвакуации людей из объекта защиты. Одновременно с трансляцией сигналов управления эвакуацией СОУЭ формируются сигналы для дистанционного открывания дверей дополнительных эвакуационных выходов объекта защиты и оперативного включения световых указателей по направлению движения к путям эвакуации.

Современные СОУЭ из различных по функциональному назначению объектов защиты в соответствии с основными требованиями действующего свода правил СП 3.13130.2009 делятся на пять типов [1].

Статистика и опыт практического применения наглядно демонстрируют, что, несмотря на большое разнообразие современных СОУЭ и их широкие функциональные возможности, добиться требуемой эффективности их работы в условиях пожаров и других ЧС на объектах большой сложности с МПЛ удастся далеко не всегда.

Одним из последних и наиболее резонансных примеров такой малоэффективной работы СОУЭ на объектах с МПЛ является трагедия в торговом центре «Зимняя вишня» в г. Кемерово 25 марта 2018 г., унесшая жизни 60 человек (рис. 2).

После данной трагедии МЧС России были проведены повсеместно масштабные проверки пожарного состояния крупных торгово-развлекательных комплексов и других объектов с МПЛ, результатами которых стали приостановки функционирования данных объектов до полного устранения всех выявленных недостатков и приведения параметров их пожарной безопасности к требованиям нормативных документов [3]. Однако, несмотря на масштабность проведенных мероприятий, кардинально переломить ситуацию с пожарами на объектах с МПЛ не удастся. Только за прошедший после пожара в г. Кемерово год на подобных объектах было зафиксировано более 90 крупных пожаров, среди которых можно особо выделить пожары в крупнейшем торговом центре «Гранд парк» в г. Грозном 19 сентября 2019 г. и в торговом центре «Максим» в г. Владивостоке 22 сентября 2019 г.



Рис. 2. Пожар в ТРК «Зимняя вишня», г. Кемерово, 25 марта 2018 г.

Эффективное решение проблемы снижения пожарного риска, количества человеческих жертв и материального ущерба требует поиска новых высокотехнологичных решений и подходов, обеспечивающих защиту посетителей объектов с МПЛ в полуавтоматическом и автоматическом режимах с оперативным учетом динамики распространения опасных факторов пожара (ОФП) и меняющихся параметров объектов защиты. При этом также обязательному учету должны подлежать следующие особенности подобных объектов:

1. Объекты с МПЛ такие, как торгово-развлекательные комплексы, спортивные сооружения, крупные медицинские центры и т.п. в большинстве случаев охватывают огромные площади, одновременно десятки тысяч людей могут находиться в них, участвуя в реализации самых разнообразных процессов (рис. 3) [4].

2. При проектировании и строительстве объектов с МПЛ применяются конструктивные и объемно-планировочные решения зданий, основанные на использовании строительных конструкций с невысокими пределами огнестойкости (металлические несущие и ограждающие конструкции, конструкции с использованием полимерных материалов и т.п.).

3. Посетители и сотрудники организаций, размещаемых в зданиях с МПЛ, могут обладать очень широким возрастным диапазоном, различными физическими возможностями, включая людей с ограниченными физическими возможностями и психологическими расстройствами. Все эти факторы и особенности состояния людей оказывают очень сильное влияние не только на скорость их индивидуального и группового перемещения в случае эвакуации, но и на эмоциональное и психологическое поведение в стрессовой ситуации.

4. Функциональное назначение и объемно-планировочные решения объектов с МПЛ предполагают наличие в их составе самых разнообразных по размерам и пожарной нагрузке помещений (торговые площади, складские и административные помещения, рестораны, кафе, кинотеатры и т.п.).

5. Многочисленное и громоздкое торговое оборудование даже при значительных площадях торговых залов существенно ограничивает зоны прямой видимости для находящихся в них людей, что может значительно замедлить движение людских потоков в случае проведения эвакуации.

6. Эмоциональное и психологическое состояние посетителей объектов с МПЛ в связи с наличием в них различных по функциональному назначению помещений (спортивные, концертные и торговые залы, кафе и рестораны, кинотеатры, детские аттракционы и т.п.) может существенно различаться, что сильно влияет на организацию и скорость проведения эвакуации.



Рис. 3. Здание типового торгово-развлекательного центра

Ввиду указанных особенностей и большого многообразия различных типов помещений в зданиях с МПЛ, в случаях возникновения пожара или других ЧС необходимо определить зоны оповещения для организации эффективной эвакуации людей.

В каждом определённом случае требуемое количество таких зон должно формироваться динамически, с учетом масштабов и опасности развития ЧС и индивидуальных особенностей объекта (например – поэтажно, посекционно и т.п.).

Практическая реализация сформулированных требований невозможна без широкого внедрения в современные и перспективные СОУЭ сложных объектов с МПЛ собственных интеллектуальных подсистем как на уровне центрального управления, так и на уровне управления отдельными пожарными извещателями, оповещателями, датчиками и другими оконечными устройствами, соединёнными между собой в единую интеллектуальную самоорганизующуюся систему.

Проведенные исследования и натурные эксперименты показали, что первоочередным шагом в построении интеллектуальных СОУЭ нового поколения должна стать разработка цифровых двойников (цифровых моделей) объектов защиты, сопровождающих их эксплуатацию на всех стадиях жизненного цикла (ЖЦ). Именно такие системы смогут обеспечивать максимально полный учет особенностей функционирования масштабных и сложных объектов с МПЛ в различных случаях организации эвакуации при пожарах и других ЧС.

Основой разработки и практического применения таких моделей может стать BIM-моделирование [5, 6], которое представляет собой научно-методический аппарат создания и применения единой информационной модели защищаемых объектов, процессов их ЖЦ, в том числе возможные варианты реагирования на пожары и другие ЧС.

Перспективная интеллектуальная СОУЭ сложных объектов с МПЛ на основе использования BIM-модели может быть представлена в виде структурной диаграммы, представленной на рис. 4.

Разработанная структура СОУЭ позволяет эффективно и максимально полно реализовывать различные сценарии и планы эвакуации людей с учетом любых строительных особенностей объектов с МПЛ.

Все основные компоненты, образующие структуру предлагаемой СОУЭ, удовлетворяют и соответствуют требованиям нормативных документов.

Для организации и проведения своевременной эвакуации людей из объекта защиты в условиях пожара параметры надежности и живучести всех подсистем и компонентов

предлагаемой СОУЭ должны обеспечивать ее штатное функционирование в течение заданного времени.

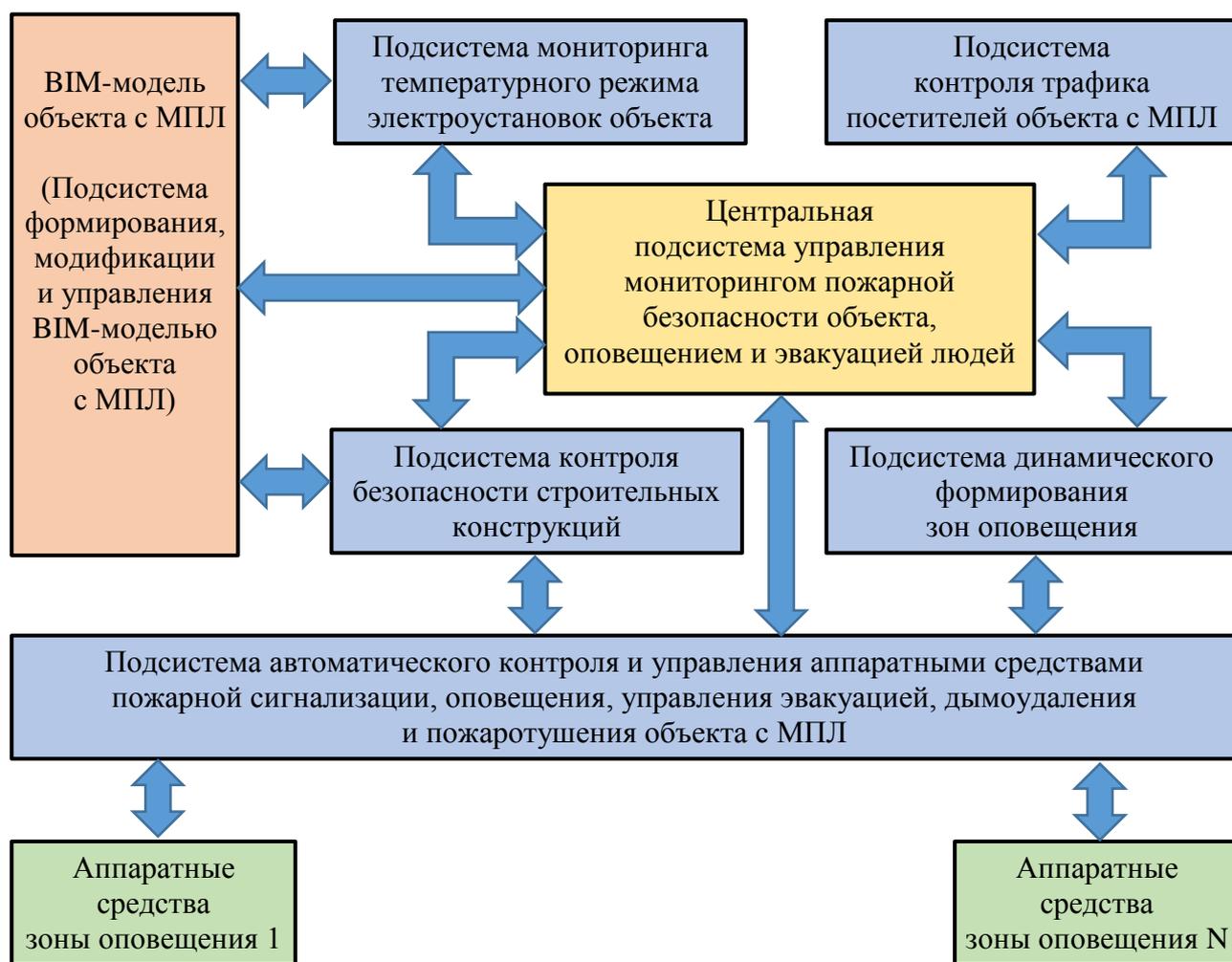


Рис. 4. Структурная схема перспективной интеллектуальной СОУЭ объектов с МПЛ на основе ВІМ-модели

Таким образом, предлагаемые в статье новые подходы к проектированию и практической реализации на современных объектах с МПЛ СОУЭ на основе ВІМ-моделирования должны способствовать значительному повышению уровня принятия управленческих решений при эвакуации людей и спасению материальных ценностей даже при самых сложных сценариях развития пожаров и ЧС.

#### Литература

1. СП 1.13130.2009\*. Системы противопожарной защиты. Эвакуационные пути и выходы. Доступ из информ.-правового портала «Гарант».
2. СП 3.13130.2009. Системы противопожарной защиты. Система оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре. Доступ из информ.-правового портала «Гарант».
3. СП 5.13130.2009. Системы противопожарной защиты. Установки пожарной сигнализации и пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования. Доступ из информ.-правового портала «Гарант».
4. Актерский Ю.Е., Шидловский Г.Л., Власова Т.В. Здания, сооружения и их устойчивость при пожаре. Ч. 2: Строительные конструкции, здания, сооружения

и их поведение в условиях пожара: учеб. СПб.: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России, 2019. 293 с.

5. Талапов В.В. Технология BIM: суть и особенности внедрения информационного моделирования зданий. М., 2015.

6. Eastman C., Teicholz P., Sacks R., Liston K. BIM Handbook. Second edition. NJ: Wiley, 2011. 626 с.

### **References**

1. SP 1.13130.2009\*. Системы противопожарной защиты. Эвакуационные пути и выходы. Доступ из информ.-правового портала «Garant».

2. SP 3.13130.2009. Системы противопожарной защиты. Система оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре. Доступ из информ.-правового портала «Garant».

3. SP 5.13130.2009. Системы противопожарной защиты. Установки пожарной сигнализации и пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования. Доступ из информ.-правового портала «Garant».

4. Актёрский Ю.Е., Шидловский Г.Л., Власова Т.В. Здания, сооружения и их устойчивость при пожаре. Ч. 2: Строительные конструкции, здания, сооружения и их поведение в условиях пожара: учеб. СПб.: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России, 2019. 293 с.

5. Талапов В.В. Технология BIM: суть и особенности внедрения информационного моделирования зданий. М., 2015.

6. Eastman C., Teicholz P., Sacks R., Liston K. BIM Handbook. Second edition. NJ: Wiley, 2011. 626 с.

# РАЗВИТИЕ ПОЖАРНОЙ ОХРАНЫ МЕГАПОЛИСА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

**М.В. Буйневич, доктор технических наук, профессор;**

**М.Т. Пелех, кандидат технических наук, доцент;**

**Д.Г. Ахунова.**

**Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Рассматривается структура мегаполиса. Дается динамика строительства пожарных депо в Санкт-Петербурге за последние 200 лет. Предлагается для проектирования пожарных депо использовать поисково-информационные картографические сервисы. С использованием технологии имитационного моделирования рассчитано количество необходимых депо, основной и специализированной техники.

*Ключевые слова:* мегаполис, пожарное депо, системное проектирование, имитационное моделирование

## DEVELOPMENT OF FIRE PROTECTION IN A MEGALOPOLIS USING SIMULATION TECHNOLOGY

M.V. Buynevich; M.T. Pelekh; D.G. Akhunova.

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

The structure of the metropolis is considered. The dynamics of the construction of fire stations in Saint-Petersburg over the past 200 years is given. It is proposed to use search and information mapping services for the design of fire stations. Using simulation technology, the number of required depots, basic and specialized equipment was calculated.

*Keywords:* metropolis, fire station, system design, simulation

В настоящее время Санкт-Петербургским университетом Государственной противопожарной службы МЧС России проводится работа по развитию противопожарной службы Санкт-Петербурга до 2025 г., необходимого числа и мест дислокации подразделений пожарной охраны на территории Санкт-Петербурга.

По своей структуре Санкт-Петербург как мегаполис является совокупностью взаимосвязанных населенных мест различного масштаба и уровня урбанизации, с разными функциональными профилями и средовыми характеристиками от собственно Санкт-Петербурга (ядра мегаполиса) до близлежащих городов, а также поселков при исторических дворцово-парковых комплексах, курортных зонах и производственных комплексах.

Согласно Закону Санкт-Петербурга [1] вся территория субъекта Федерации «город Санкт-Петербург» подразделяется на 20 административных районов (в центральной части города – 4 района, в периферийной – 9, в пригородной части – 7) и 111 муниципальных образований. Из состава муниципальных образований выделяют 81 муниципальный округ, 23 из которых расположены в центральной части города, 62 – в периферийной, а также 9 городов и 21 поселок, расположенных в пригородной части города. Общая площадь субъекта Российской Федерации «город Санкт-Петербург» составляет 143,6 тыс. га, или 1 436 км<sup>2</sup>. Структура данной территории очень неоднородна, отличается разнообразием, различной степенью потенциальной пожарной опасности (характером и плотностью застройки, численностью населения и др.). Все эти особенности необходимо учитывать при проектировании рациональной схемы противопожарной службы Санкт-Петербурга. Характер и плотность застройки определяется несколькими факторами – в основном,

социально-историческими и экономическими (реже – военно-политическими), и может быть интегрально охарактеризована показателями средового районирования.

В табл. 1 указана динамика строительства пожарных депо за последние 200 лет в Санкт-Петербурге, на данный момент все эти депо находятся в рабочем состоянии. Снесенные или перепрофилированные здания не рассматриваются.

Таблица 1. Динамика строительства пожарных депо в Санкт-Петербурге (1800–2000 гг.)

Год постройки	1800–1809	1810–1819	1820–1829	1830–1839	1840–1849	1850–1859	1860–1869	1870–1879	1880–1889	1890–1899
Количество депо	5	2	1	0	1	1	0	0	1	0
Год постройки	1900–1909	1910–1919	1920–1929	1930–1939	1940–1949	1950–1959	1960–1969	1970–1979	1980–1989	1990–1999
Количество депо	3	6	2	8	2	2	5	9	3	4

По результатам табличного анализа следует, что из построенных в XIX в. пожарных депо в эксплуатации находятся 11, из сооруженных в первой половине XX в. – 21, а из построенных во второй половине XX в. – 23.

С начала XXI в., а именно за 14 лет, основано 17 пожарных депо, что можно считать лучшей динамикой за весь оцениваемый период.

Санкт-Петербург – одна из самых крупнейших по численности противопожарных служб в мире. Общее количество пожарных частей составляет 72, в которых располагаются более 200 единиц пожарной техники.

Следуя основному смыслу термина, проектирование – это преобразование действительности с учетом факторов влияния, которое направлено на удовлетворение человеческих потребностей. В статье под преобразованием подразумевается развитие сети пожарных депо с целью усовершенствования пожарной обстановки в городе до необходимого уровня. Учет факторов заключается в использовании существующей дорожно-транспортной обстановки города (автодороги, пробки, постройки, возможные очаги пожара), а также в соблюдении нормативно-правовых документов. Результатом проектирования является численность и расположение оперативных подразделений пожарной охраны, включая их силы и средства.

Проектирование сети пожарных депо имеет дело с конкретными, достаточно сложными и абстрактными объектами, а так же подвержено быстро развивающемуся влиянию внешних факторов (городской трафик, нормативы следования до точки пожара). Из-за ошибок, полученных и реализованных на практике, специфика области может привести к тяжким последствиям. С учетом заданных сложностей для решения поставленных задач рационально использование системного проектирования, которое основывается на одноименном подходе. Системное проектирование позволяет комплексно справляться с задачами, принимая во внимание взаимодействие отдельных объектов системы с собой и внешней средой, учитывая социально-экономические последствия их функционирования и упомянутые факторы.

Применение системного подхода с использованием имитации, основанном на базе модели города с пожарными подразделениями и их временем следования, позволяет эффективно проектировать сеть пожарных депо. При этом возможно использование различных математических подмоделей. Данные подмодели позволят произвести расчет промежуточных показателей. На основании анализа делается экспертный выбор места расположения пожарных депо [2].

Отсюда вытекает основополагающий принцип проектирования развития сети пожарных депо в Санкт-Петербурге, им является имитационное моделирование. Помимо

этого необходимо иметь в виду ряд частных принципов, которые отражают специфику его применения для поставленной задачи, соблюдение которых оказывает существенное влияние на эффект, получаемый от моделирования.

С учетом рекомендаций СП 11.13130.2009 [3] для расчета численности и размещения пожарных депо применим подход, основанный на комбинации графического метода для определения областей пересечения пространственных зон размещения пожарных депо и метода компьютерной реализации алгоритма определения областей пересечения пространственных зон размещения пожарных депо.

Для принятия решения о численности и размещении пожарных депо в Санкт-Петербурге необходимо иметь соответствующую имитационную модель, которая позволит:

- на карте отображать существующие пожарные депо согласно принципу фактологичности;
- произвести выбор случайной зоны активного горения согласно принципу интерактивности;
- рассчитать время прибытия пожарных расчетов от мест расположения ближайших пожарных частей к месту пожара согласно принципу обоснованности (как количественной, так и качественной);
- определять соблюдение (или несоблюдение) требований нормативно-правовых документов путем сравнительной оценки рассчитанного времени прибытия с заданным;
- в случае превышения допустимых пределов наносить на карту дополнительные пожарные депо согласно принципу интерактивности.

Для этих целей разработана имитационная программная модель, которая опирается на умение находить и обсчитывать кратчайший маршрут: понимать различные развязки, дороги с односторонним движением, переезды и т.д. Таких правил существует достаточно много, и их реализация, а также задание улиц, потребует множества человеко-лет работы, поэтому необходимо приспособить для создаваемой модели существующие инструменты. Одним из таких инструментов являются «Яндекс.Карты» – поисково-информационный картографический сервис Яндекса [4–6].

Сервису «Яндекс.Карты» доступен поиск по адресам, улицам, городам, регионам и странам, а также по организациям. На картах возможно измерение расстояния, имеется возможность прокладывать маршруты. Для некоторого ряда городов доступен сервис «Яндекс.Пробки»: индикатор автодорожных заторов. Показания сервиса могут учитываться при автоматическом прокладывании маршрутов.

Для него существует API (интерфейс программирования приложений), позволяющий приспособить «Яндекс.Карты» ко многим решаемым задачам на местности. В частности, API позволяет добавлять на карту маркеры, показывающие пожарные части. За годы использования «Яндекс.Карты» и «Яндекс.Навигатор» показали высокое качество и точность построения маршрутов, поэтому использование их результатов является достоверным и подходит для указанной имитационной модели.

В результате с использованием сервиса «Яндекс.Карты» удалось построить модель, показывающую и обсчитывающую маршрут к зоне активного горения от ближайшего пожарного депо. Для запуска модели необходим современный браузер, например, Yandex, Chrome, Firefox или Internet Explorer и доступ к интернету. API «Яндекс.Карт» предназначен для веб-страниц и языка программирования JavaScript, что привносит некоторые ограничения для работы, так как те средства, что даёт браузер исполняемому коду на JavaScript и HTML-документу, не позволяют сохранять данные для последующего переноса.

Для оценки численности и дислокации оперативных отделений на основных пожарных автомобилях – автоцистернах (АЦ) – были применены вычисления, базирующиеся на теории систем массового обслуживания (СМО). Такой выбор обусловлен тем, что задачи, решаемые с помощью данной теории, полностью соответствуют поставленным.

В рамках теории каналов считается каждая отдельная АЦ, заявкой – отдельный вызов, а отказ означает невозможность выезда автомобилей на место вызова по причине отсутствия свободных. Характер заявок соответствует случайно-статистическому потоку требований. В частности, среднестатистическая интенсивность потока вызовов пожарных подразделений  $\lambda$  составляет около 6 вызовов в час, а среднее время обслуживания вызова порядка 0,5 часа. Очевидно, что решением задачи является нахождение минимально-необходимого количества АЦ для удовлетворения необходимого количества заявок в любой момент времени.

Отметим, что исходя из специфики данной предметной области, описанная СМО обладает следующими свойствами:

- является многоканальной – исходя из множества обслуживающих автомобилей;
- обладает отказами – в случае отсутствия автомобилей заявка получает отказ (что недопустимо);
- учитывает статистический приоритет – заявки обслуживаются в порядке поступления.

Для расчетов использовался закон Пуассона о вероятности возникновения событий, играющий ключевую роль в СМО:

$$p(n) = \frac{\alpha^n}{n!} e^{-\alpha}$$

Адаптация закона Пуассона к текущей задаче позволила получить формулы для определения численности оперативных отделений на АЦ:

$$\alpha = \lambda \tau;$$

$$P_0 = e^{-\alpha};$$

$$P_n = \frac{\alpha}{n} \sum_{i=0}^{n-1} (n-i) a_{n-i} P_i ;$$

$$R_n = 1 - P_n,$$

где  $\alpha$  – плотность потока вызовов;  $\lambda$  – интенсивность потока вызовов;  $\tau$  – средняя продолжительность вызова;  $P_0$  – начальная вероятность, соответствующая отсутствию любых вызовов;  $n$  – число оперативных отделений;  $P_n$  – вероятность поступления  $n$  и менее одновременных вызовов за время  $\tau$ ;  $a_i$  – вероятность выезда по вызову  $i$  пожарных машин данного типа;  $R_n$  – вероятность поступления более  $n$  одновременных вызовов за время  $\tau$ .

Таким образом, формула  $R_n$  определяет вероятность того, что может одновременно потребоваться  $n$  оперативных отделений. При этом очевидно, что в случае значения вероятности, близкой к 0, число  $n$  определяет минимально-необходимое количество АЦ для обслуживания всех заявок в городе в любой момент времени.

Расчеты по формуле были произведены на базе имитационного дискретно-событийного моделирования в компьютерной программе, симулирующей поступающие в городе вызовы и их обслуживание АЦ с использованием необходимых статистических параметров модели.

Согласно расчетам, в городе необходимо иметь минимум 49 АЦ. При этом в случае увеличения плотности потока вызовов в два раза, следуя аналогичным расчетам, потребуется уже 66 АЦ в боевом расчете (без учета резерва).

Для учета требования по поддержанию одного из основных показателей аварийно-спасательных служб – времени следования к месту вызова, было проведено дополнительное имитационное моделирование. Целью его являлась оценка времени следования в зависимости от различных актуальных параметров.

При имитации рассматривались варианты текущего количества депо (72) и рассчитанного для развития противопожарной службы (93). Учитывалась плотность потока вызовов как в стандартном режиме работы (6 вызовов/час), так и увеличенном вдвое (12 вызовов/час).

Также, в случае имитации для АЦ, варьировалось количество оперативных отделений, включая следующие опорные значения. Во-первых, использовалось минимально-необходимое количество, согласно предыдущим расчетам, составляющее 49 автомашин. Во-вторых, согласно данным по 21 подразделению, экстраполированным на общее количество депо, существующее число АЦ в боевом расчете равнялось 116 автомашин. В-третьих, количество автомашин в случае перспективного развития сети пожарных депо было получено путем выбора оптимального значения в процессе моделирования (и составило 162).

Основными являются следующие четыре варианта моделирования:

Вариант № 1: текущая сеть депо при минимально-необходимом количестве оперативных отделений.

Вариант № 2: текущая сеть депо при текущем количестве оперативных отделений.

Вариант № 3: перспективный вариант развития сети депо при текущем количестве оперативных отделений в случае увеличения потока вызовов.

Вариант № 4: перспективный вариант развития сети депо при оптимальном количестве оперативных отделений в случае увеличения потока вызовов.

Характеристики вариантов моделирования для АЦ и полученные результаты приведены в табл. 2.

**Таблица 2. Сравнение результатов моделирования времени следования АЦ до точки вызова**

Вариант имитации	Количество депо	Количество АЦ	Плотность потока вызовов (выз/час)	Среднее время следования (мин)
1	72	49	6	13,4
2	72	116	6	9,1
3	93	116	12	11,8
4	93	162	12	8,8

Из табл. 2 следует, что для поддержания времени следования на существующем уровне при увеличении потока вызовов в два раза, необходимо, по меньшей мере, 162 АЦ.

Для оценки численности и дислокации оперативных отделений на специальных пожарных автомобилях – автолестницах (АЛ) и коленчатых подъемниках (КП) – были использованы вычисления с применением теории систем массового обслуживания и имитационной модели, полностью аналогичные оценке численности АЦ.

Согласно расчетам (табл. 3), в городе необходимо иметь 13 АЛ и КП. При этом в случае увеличения плотности потока вызовов в два раза следуя аналогичным расчетам, потребуется уже 22 АЛ и КП в боевом расчете (без учета резерва).

Оценка численности АЛ и КП с учетом требований к времени следования производилась аналогично оценке численности АЦ и приводится в табл. 4. Опорными точками количества оперативных отделений для АЛ и КП выступали следующие: 13 минимально-необходимых автомобилей, 58 существующих в боевом расчете и 81 оптимальных.

Таблица 3. Результаты расчета оценки численности АЛ и КП

Число отделений (n)	Вероятность $R>n$	Продолжительность времени $T>n$ (час)	Число отказов всего	Число отказов полных	Число отказов частичных
0	0,905624	7933,3	32649	32649	0
1	0,683248	5985,3	29573	29568	5
2	0,420883	3686,9	22321	22307	13
3	0,214206	1876,4	13757	13741	16
4	0,091901	805,0	7006	6994	13
5	0,033901	297,0	3008	3000	8
6	0,010939	95,8	1111	1107	4
7	0,003133	27,4	359	357	2
8	0,000806	7,1	103	102	1
9	0,000188	1,6	26	26	0
10	0,000040	0,4	6	6	0
11	0,000008	0,1	1	1	0
12	0,000001	0,0	0	0	0
13	0,000000	0,0	0	0	0
Рекомендуемое число отделений			13		

Таблица 4. Сравнение результатов моделирования времени следования АЛ и КП до точки вызова

Вариант имитации	Количество депо	Количество АЛ и КП	Плотность потока вызовов (выз/час)	Среднее время следования (мин)
1	72	13	8	20,8
2	72	58	8	12,5
3	93	58	16	17,4
4	93	81	16	10,2

Из табл. 4 следует, что для поддержания времени следования в пределах 10 мин и при увеличении потока вызовов в два раза необходимо по меньшей мере 81 АЛ и КП.

Также, в связи с предполагаемым строительством в Санкт-Петербурге высотных зданий, отдельного внимания заслуживает вопрос приобретения и использования пожарных лестниц для проведения работ на высотах более 50 м. Приблизительный расчет такого вида техники дает результат в виде одной единицы техники на один административный район, имеющий незначительное количество высотных зданий. В случае значительного количества построек такого рода, боевой расчет техники должен быть увеличен.

В ходе выполнения работы с использованием технологии имитационного моделирования был разработан вариант перспективного развития и размещения сил и средств противопожарной службы Санкт-Петербурга с учетом возможного изменения городской среды и параметров оперативной обстановки.

Посредством применения методов сценариев технологии имитационного моделирования и использования интерфейса программирования приложений на базе поисково-информационного картографического сервиса Яндекс с учетом состояния загруженности автомобильных дорог создана модель перспективного развития и размещения

сил и средств противопожарной службы Санкт-Петербурга. Подтверждена адекватность предлагаемой модели.

Апробация разработанной системы моделирования выявила непротиворечивость данным и предложениям по развитию противопожарной службы, полученным в ходе накопления эмпирических фактов. Таким образом, результаты имитационного моделирования, позволяющего оценить варианты инфраструктуры противопожарной службы, могут быть применены при разработке руководящих документов.

### **Литература**

1. О территориальном устройстве Санкт-Петербурга: Закон Санкт-Петербурга от 25 июля 2005 г. № 411-68. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

2. Буйневич М.В., Пелех М.Т. Моделирование развития сети пожарных депо на территории мегаполиса // Передовые инновационные разработки. Перспективы и опыт использования, проблемы внедрения в производство: сб. науч. статей по итогам II Междунар. науч. конф. Казань, 2019. С. 62–64.

3. СП 11.13130.2009. Свод правил. Места дислокации подразделений пожарной охраны. Порядок и методика определения (утв. Приказом МЧС РФ от 25 марта 2009 г. № 181). Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

4. Буйневич М.В., Максимов А.В., Пелех М.Т. Принципы информационной поддержки системного проектирования развития сети пожарных депо на территории мегаполиса // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2017. № 3. С. 129–135.

5. Буйневич М.В., Пелех М.Т. Проектирование пожарных депо с применением поисково-информационных картографических сервисов // Передовые инновационные разработки. Перспективы и опыт использования, проблемы внедрения в производство: сб. науч. статей по итогам VI Междунар. науч. конф. Казань, 2019. С. 139–141.

6. Буйневич М.В., Пелех М.Т. Совершенствование маршрутов следования пожарноспасательных подразделений к месту вызова // Передовые инновационные разработки. Перспективы и опыт использования, проблемы внедрения в производство: сб. науч. статей по итогам VII Междунар. науч. конф. Казань, 2019. С. 85–87.

### **References**

1. O territorial'nom ustrojstve Sankt-Peterburga: Zakon Sankt-Peterburga ot 25 iyulya 2005 g. № 411-68. Dostup iz sprav.-pravovoj sistemy «Konsul'tantPlyus».

2. Bujnevich M.V., Pelekh M.T. Modelirovanie razvitiya seti pozharnyh depo na territorii megapolisa // Peredovye innovacionnye razrabotki. Perspektivy i opyt ispol'zovaniya, problemy vnedreniya v proizvodstvo: sb. nauch. statej po itogam II Mezhdunar. nauch. konf. Kazan', 2019. S. 62–64.

3. SP 11.13130.2009. Svod pravil. Mesta dislokacii podrazdelenij pozharnoj ohrany. Poryadok i metodika opredeleniya (utv. Prikazom MCHS RF ot 25 marta 2009 g. № 181). Dostup iz sprav.-pravovoj sistemy «Konsul'tantPlyus».

4. Bujnevich M.V., Maksimov A.V., Pelekh M.T. Principy informacionnoj podderzhki sistemnogo proektirovaniya razvitiya seti pozharnyh depo na territorii megapolisa // Nauch.-analit. zhurn. «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MCHS Rossii». 2017. № 3. S. 129–135.

5. Bujnevich M.V., Pelekh M.T. Proektirovanie pozharnyh depo s primeneniem poiskovo-informacionnyh kartograficheskikh servisov // Peredovye innovacionnye razrabotki. Perspektivy i opyt ispol'zovaniya, problemy vnedreniya v proizvodstvo: sb. nauch. statej po itogam VI Mezhdunar. nauch. konf. Kazan', 2019. S. 139–141.

6. Bujnevich M.V., Pelekh M.T. Sovershenstvovanie marshrutov sledovaniya pozharnospasatel'nyh podrazdelenij k mestu vyzova // Peredovye innovacionnye razrabotki. Perspektivy i opyt ispol'zovaniya, problemy vnedreniya v proizvodstvo: sb. nauch. statej po itogam VII Mezhdunar. nauch. konf. Kazan', 2019. S. 85–87.

---

---

# ЭКОНОМИКА, СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

---

---

## КЛАССИЧЕСКИЕ ТЕОРИИ В СВЕТЕ СОВРЕМЕННОГО ПОНИМАНИЯ ЭФФЕКТИВНОЙ МОТИВАЦИИ ПЕРСОНАЛА

**С.В. Завирский.**

**Главное управление МЧС России по г. Санкт-Петербургу.**

**Н.В. Гвоздева.**

**Средняя школа № 27 им. И.А. Бунина.**

**О.Е. Мельник, кандидат педагогических наук.**

**Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Грамотная мотивация сотрудников играет неоценимую роль при организации эффективного рабочего процесса. Выдающиеся ученые прошлого и современности предложили огромное поле для деятельности. Цель данной статьи – проанализировать имеющиеся концепции мотивации персонала, найти в них достоинства и недостатки и рассмотреть возможность применения полученных знаний при организации деятельности предприятия в условиях реалий начала XXI в.

*Ключевые слова:* мотивация персонала, теории мотивации, эффективная организация труда, современность, достоинства и недостатки

## CLASSICAL THEORIES IN THE LIGHT OF MODERN UNDERSTANDING EFFECTIVE EMPLOYEE MOTIVATION

S.V. Zavirsky. Main Department of EMERCOM of Russia in Saint-Petersburg.

N.V. Gvozdeva. Secondary school № 27 named after I.A. Bunin.

O.E. Melnik. Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

Competent motivation of employees plays a crucial role in organization of an effective working process. Outstanding scientists of the past and the present offered us a huge field for speculation. The purpose of this article is to analyze the theories of human resources motivation, to find their benefits and drawbacks, and to consider the possibility to apply the acquired knowledge while organizing working process within the realities of the beginning of the XXI century.

*Keywords:* human resources motivation, motivation theories, effective labour management, modern times, benefits and drawbacks

Реальная эффективность организации рабочего процесса определяется целым рядом экономических и психологических факторов, главным из которых является формирование положительного отношения людей к труду и к задачам, которые они выполняют. Следовательно, в условиях рыночных отношений одной из наиболее актуальных задач руководителя организации становится грамотная организация рабочего процесса, в том числе выработка наиболее эффективной системы мотивации сотрудников.

Вся деятельность человека обусловлена удовлетворением имеющихся у него потребностей. Удовлетворение таких потребностей посредством труда и является мотивацией трудовой деятельности. О роли мотивации в эффективной организации труда ученые стали рассуждать сравнительно недавно. Однако было выдвинуто несколько теорий,

которые нашли своё подтверждение в ситуациях реального делового общения, в связи с чем, получили широкое практическое применение.

До XVIII в. о мотивации персонала как таковой говорить не приходится. По сути, применялся только широко известный метод «кнута и пряника», причём зачастую его составляющие следовало понимать чуть ли не буквально. Прямое поощрение качественной работы, повышения производительности труда и столь же прямое наказание за ненадлежащее качество или за недостаточную эффективность – вот, пожалуй, и все методы, которыми оперировали «менеджеры по персоналу» прошлого. «Всё или ничего» – подобная стратегия была слишком радикальна, а потому неэффективна. К тому же на практике всегда применялся только кнут.

Уже в конце XIX – начале XX вв. с развитием производительных сил и производственных отношений назрела насущная потребность в пересмотре существующей системы мотивации персонала. Квалифицированные работники, без которых дальнейшее развитие производства не представлялось возможным, стали отказываться работать на подобных условиях. В связи с этим в сфере организации труда под руководством Ф.У. Тейлора появилась так называемая «школа научного управления», где стала рассматриваться всерьёз не только система штрафов, но и система премирования. Данный подход показал себя весьма эффективным, производительность труда значительно повысилась. Однако уже совсем скоро и этот метод утратил свою эффективность. Даже за премии люди не стали работать лучше. В чём же причина?

Анализируя причины несостоятельности идей Ф.У. Тейлора, Э. Мэйо выдвинул свою теорию, получившую впоследствии название «концепция человеческих отношений». Критикуя своего предшественника, он говорил, что работник – это не просто исполнитель с неким набором функций. Э. Мэйо указывал на важность таких факторов, как удовлетворённость результатами своего труда, а также межличностные отношения в трудовом коллективе. Для подтверждения данной теории был проведён следующий эксперимент: в течение дня части рабочих были предоставлены два десятиминутных перерыва. Таким образом, у этих людей повысилась самооценка: они почувствовали, что их выделяют среди других работников. К тому же у них появилась возможность пообщаться друг с другом, поделиться своими успехами и неудачами. И результат не заставил себя долго ждать: производительность труда у данной группы рабочих резко возросла.

Теперь уже не только учёные психологи, социологи и экономисты, но и рядовые управленцы признали важность грамотного и эффективного подхода к мотивации персонала. Данная отрасль науки стала активно развиваться. Возникло несколько теорий мотивации. Их можно поделить на две большие группы: содержательные и процессуальные. По большому счёту, обе группы теорий рассматривают одни и те же проблемы, только с разных сторон: процессуальные делают акцент на поведении людей в организациях с учётом их личного восприятия рабочего процесса, а содержательные – на внутренних побуждениях, которые заставляют людей поступать определённым образом.

### **Содержательные теории мотивации. А.Х. Маслоу, иерархия потребностей**

Безусловно, наиболее известной является теория А.Х. Маслоу, разработанная в 40-х гг. XX в. в США. Он выдвинул гипотезу, что основные потребности человека можно классифицировать и иерархизировать. Первичные потребности физиологичны по своей природе, они являются врождёнными и присущи всем людям в более или менее равной степени. Вторичные же потребности имеют психологический характер. Они разнятся, определяются как индивидуальными особенностями каждого человека, так и полученным жизненным опытом. В соответствии с концепцией А.Х. Маслоу, у человека должны быть удовлетворены потребности более низкого уровня, чтобы он мог начать удовлетворять потребности уровня более высокого.

Последователи этого учения предложили представлять иерархию потребностей в виде пирамиды из пяти уровней: физиологические потребности – безопасность – любовь и дружба – уважение и признание – самоактуализация.

1. Физиологические потребности – это пища, вода, убежище, секс и отдых. На этом уровне речь идёт о физическом здоровье и комфорте в целом.

2. Безопасность – это защищённость от опасности, нападения и угрозы. Здесь речь идёт об уверенности человека в завтрашнем дне. По сути, это те же самые физиологические потребности, только «устремлённые в будущее» – человек хочет надеяться, что его положение не изменится к худшему, что он сможет строить планы на дальнейшую перспективу. Именно поэтому многие люди предпочитают годами работать в надёжных и проверенных фирмах, пусть даже в ущерб зарплате и карьерному росту.

Потребности первых двух уровней – это потребности первичные, и именно их можно удовлетворить за деньги. Однако стоит отметить, что материальное стимулирование сотрудников работает не всегда. Оно действительно, только если у работника не удовлетворены потребности низших уровней, когда у него низкий доход и уровень жизни. Следовательно, в развитых странах и крупных городах денежные выплаты как метод мотивации не будут стоять на первом месте.

На этих уровнях можно предложить следующие способы мотивации:

– бонусы и денежные премии по итогам работы (при этом следует отметить, что неожиданные и нерегулярные выплаты действуют лучше и эффективней, чем регулярные и прогнозируемые – последние начинают восприниматься сотрудниками просто как обязательная часть зарплаты);

– «золотой парашют» (при уходе на пенсию сотрудник получает несколько окладов);

– оплата профильного обучения (или его части);

– предоставление внеочередного оплачиваемого отпуска;

– организация комнаты отдыха для сотрудников;

– гарантия сохранения рабочего места после вынужденного перерыва в работе;

– предоставление бесплатного питания (или соответствующая денежная компенсация);

– предоставление служебного автомобиля (или компенсация транспортных расходов);

– предоставление служебной жилплощади, а также содействие в приобретении личного жилья;

– оплата полиса добровольного медицинского страхования;

– предоставление детям сотрудников путёвок в летние оздоровительные лагеря;

– содействие в получении ссуды под минимальный процент и т.д.

3. Любовь и дружба – потребность в хороших отношениях с другими людьми, потребность в поддержке и понимании. На этом уровне человек за себя уже не переживает. Ему хочется приобщиться к группе, к социуму будь то государство, семья или коллектив единомышленников на работе.

На этом уровне можно предложить следующие способы мотивации:

– использование приёмов работы, предполагающих общение (работа в группах);

– создание в организации духа единой команды (организация корпоративных праздников и мероприятий, корпоративное «мифотворчество»);

– проведение совещаний с подчинёнными (этот приём особенно действенен в отношении пожилых людей);

– поддержание существования неформальных групп внутри трудового коллектива (при условии, что они не мешают жизнедеятельности организации);

– создание условий для социальной активности работников за пределами организации (например, участие в благотворительных акциях).

4. Уважение и признание – это социальная потребность, потребность в причастности, необходимость ощущать себя нужным, полезным и оценённым по достоинству.

На этом уровне можно предложить следующие способы мотивации:

- предложение более содержательной работы (так как однообразная и рутинная работа обычно вызывает скептическое отношение);
- привлечение подчинённых к выработке целей и принятию решений, в том числе управленческих;
- карьерное продвижение;
- привлечение сотрудника в качестве наставника (лектора, советника и т.п.);
- расширение полномочий;
- предоставление персональных привилегий (например, закрепление особого места за столом совещаний);
- публичное признание ценности сотрудника (торжественное вручение грамоты или ценного подарка, занесение благодарности в личное дело и т.п.) [1].

5. Самоактуализация – это потребность в самовыражении и самореализации.

На этом уровне можно предложить следующие способы мотивации:

- обеспечение возможностей для обучения и развития;
- поручение наиболее сложных и важных участков работы, которые требуют полной самоотдачи.

С точки зрения современных научных представлений, теория А.Х. Маслоу имеет следующие недостатки:

1) сомнительная достоверность (многочисленные попытки экспериментального подтверждения так и не увенчались успехом). Более того, то, что было применимо к США в 40-х гг. прошлого века, вряд ли полностью применимо к России в XXI в.;

2) статистичность (теория описывает ситуацию, в общем и целом, игнорируя тот факт, что потребности задействуются не последовательно одна за другой, а комплексно, то есть люди могут мотивироваться одновременно потребностями нескольких уровней). Сам А.Х. Маслоу позже писал об этом: «Практически любой поведенческий акт детерминирован множеством детерминант или множеством мотивов. Если говорить о мотивационных детерминантах, то поведение, как правило, детерминировано не одной отдельно взятой потребностью, а совокупностью нескольких или всех базовых потребностей» [2];

3) игнорирование индивидуальных особенностей отдельных людей. В связи с этим можно привести такой пример: «Вспомним Ван-Гога. Известно, что он был очень беден, так как смог продать при жизни всего несколько своих картин. Иногда ему помогал деньгами его родственник. И когда приходили деньги, то подруга Ван-Гога требовала, чтобы эти деньги шли не на покупку красок, а на продукты и вообще на жизнь. На это Ван-Гог отвечал... покупкой новых красок» [3]. Также следует отметить, что у большого количества людей существует так называемый «потолок потребностей» и не всегда удовлетворение низших потребностей ведет к задействованию высших.

### **Ф. Герцберг, двухфакторная модель**

В 60-х гг. XX в. в своём труде «Когда людям хорошо и когда плохо?» Ф. Герцберг предложил «мотивационно-гигиеническую» теорию, также известную как «концепция обогащения работы». Он классифицировал побуждения к труду по характеру их действия и утверждал, что удовлетворённость и неудовлетворённость работой зависит от различных факторов.

Первый фактор – гигиенический. Он включает себя то, что связано с окружающей средой:

- политика фирмы и администрации, а также её преломление непосредственно на рабочем месте;
- условия работы – освещённость, запылённость и т.д.;
- заработная плата;
- межличностные отношения (с начальством, подчинёнными, коллегами);
- объём непосредственного контроля за работой.

Второй фактор – мотивационный. Он включает в себя то, что связано с самой работой:

- успех;
- карьерный рост;
- признание и одобрение результатов;
- высокая степень ответственности;
- возможность творческого и профессионального роста [4].

Герцберг Ф. говорит о том, что именно гигиенические факторы чаще всего вызывают недовольство со стороны сотрудников, вызывая падение производительности труда, конфликты и увольнения, а также порождая общую атмосферу недовольства в трудовом коллективе. Однако удовлетворение данных потребностей если и решает проблемы, то только на короткий срок: через какое-то время наличие комфортных условий труда сотрудники начинают воспринимать как должное. В связи с этим Ф. Герцберг выдвинул предположение, что наиболее стимулирующими и долговременными будут являться факторы второй группы, а именно те, которые непосредственно связаны с самой работой. Ради самовыражения, самореализации, получения удовлетворения от работы, признания своих заслуг другими членами трудового коллектива человек зачастую готов мириться и с недостаточно высокой зарплатой, и с тесным кабинетом, и с не вполне адекватным начальником.

С точки зрения современных научных представлений, теория Ф. Герцберга имеет следующие недостатки:

1) спорная методика исследования. Теория строилась на основании анкетирования работников и последующей математической обработки полученных результатов. Однако, во-первых, уже сама формулировка вопроса может являться детерминирующим фактором и влиять на полученные ответы. Во-вторых, люди склонны ассоциировать удачу со своими заслугами, а ответственности за неудачи перекладывать на других;

2) игнорирование индивидуальных особенностей работников. У различных групп сотрудников и у каждого человека в отдельности список гигиенических факторов может значительно отличаться;

3) нелинейность человеческой психологии. Традиционно считается, что с ростом удовлетворенности условиями труда растёт и качество работы, но это не всегда так. Парадокс человеческой психики заключается в том, что в определённый момент у человека может наступить эйфория, при которой результаты работы человеку будут безразличны. Из вышеизложенного можно сделать вывод, что взаимосвязь между удовлетворением потребностей и повышением производительности труда неоднозначна и наблюдается не всегда.

## **Процессуальные теории мотивации**

### **Теория ожидания**

Наиболее известной из процессуальных теорий мотивации является так называемая «теория ожидания». Она была изложена канадским психологом В. Врумом в 1960 г. в работе «Труд и мотивация». Данная теория предполагает, что для увеличения производительности труда работник должен иметь не только определённую потребность, но и уверенность в том, что данная потребность будет удовлетворена. В противном случае человек в лучшем случае будет терпеть создавшееся положение, ни о какой инициативе с его стороны и речи быть не может. Ожидание понимается как субъективная оценка вероятности события, в данном случае – удовлетворения определенной потребности.

Согласно данной теории, эффективность мотивации можно рассчитать математически. Она оценивается по следующей формуле:

$$(3-P) \times (P-B) \times V = \text{Мотивация,}$$

где  $Z$  – затраты;  $P$  – результат;  $B$  – вознаграждение;  $V$  – валентность;  $(Z-P)$  – ожидание того, что затраченные силы и время дадут желаемый результат;  $(P-B)$  – ожидание того, что достигнутый результат повлечёт за собой определённое вознаграждение;  $V$  – ожидаемая ценность вознаграждения.

Стоит отметить, что все три необходимых компонента являются субъективными, то есть именно работник оценивает, насколько трудовые затраты и вознаграждение соответствуют результату, причём вознаграждение должно восприниматься как ценное именно данным конкретным сотрудником.

В связи с вышеизложенным, руководителю организации в свете современных теорий мотивации стоит предпринять следующие шаги:

- сопоставить предполагаемое вознаграждение с индивидуальными потребностями конкретных сотрудников;
- установить и поддерживать однозначное соответствие между результатом и вознаграждением;
- сформировать высокий, но достижимый уровень целей, и внушить персоналу их достижимость.

### **Теория справедливости**

Так называемая «теория справедливости» была разработана американским социологом и политологом Д. Ролзом в 70-х гг. XX в. Как и теория В. Врума, она говорит о том, что люди субъективно соотносят усилия, потраченные на выполнение поставленной задачи, с полученным вознаграждением. Однако Д. Ролз подчёркивает, что работники также сравнивают своё вознаграждение с вознаграждением других людей, выполняющих аналогичную работу. Если сравнение происходит не в пользу сотрудника, он чувствует несправедливость, в связи с чем, появляется необходимость в дополнительных усилиях по снятию появившегося напряжения. В противном случае эффективность сотрудника значительно снижается (знаменитый принцип «как платите, так и работаем»), что приводит к необходимости определенных действий со стороны администрации: это либо изменение уровня усилий, необходимых для достижения целей, либо дополнительное стимулирование.

Чтобы не допустить подобных ситуаций, руководитель организации должен:

- не допускать несправедливости и перекосов при определении уровня вознаграждения (очевидно, именно поэтому некоторые предприятия предпочитают давать своим сотрудникам «зарплату в конверте»);
- обеспечить прозрачность, логичность и понятность принципов определения уровня вознаграждения (человеку свойственно переоценивать свой вклад в трудовой процесс и недооценивать чужой, поэтому работник может видеть несправедливость даже там, где её на самом деле нет).

Однако в свете современных научных представлений данная теория имеет ряд недостатков:

1) риск зарождения скрытых конфликтов. Как было сказано выше, люди оценивают справедливость вознаграждения субъективно, они судят по косвенным признакам и внешним проявлениям. Соответственно, конфликтов как таковых избежать не удастся. Более того, они могут перерасти в скрытые, а подобные конфликты являются более опасными, так как они менее управляемые, более долгосрочные и поэтому приводят к гораздо более серьёзным нежелательным последствиям;

2) снижение мотивирующего воздействия карьерного продвижения. Соотнеся уровень ответственности и уровень вознаграждения, сотрудник может сделать вывод о нежелательности и невыгодности карьерного роста.

Грамотная мотивация сотрудников играет неопределимую роль при организации эффективного рабочего процесса. Выдающиеся ученые прошлого и современности предложили нам огромное поле для деятельности. Задача современного руководителя – проанализировать имеющиеся концепции мотивации персонала, найти в каждой достоинства

и недостатки и грамотно применять полученные знания при организации деятельности предприятия в условиях реалий начала XXI в.

### **Литература**

1. Маслоу А.Х. Мотивация и личность. М.: Евразия, 1999. 478 с.
2. Сидоренко Е.В. Мотивационный тренинг. СПб.: Речь, 2001. 234 с.
3. Мотивация персонала: наиболее эффективные методы и способы стимулирования сотрудников // Элитариум. Центр дополнительного образования. URL: <http://www.elitarium.ru/stimulirovanie-personala-motivacija-sotrudnik-organizacija-zarabotnaja-plata-voznagrazhdenie-upravlenie/> (дата обращения: 13.02.2019).
4. Теории мотивации // FinNote. Финансы и менеджмент. URL: <http://www.kyprida.ru/int-124-4.html> (дата обращения: 03.02.2019).

### **References**

1. Maslow A.H. Motivation and Personality. M.: Evraziia, 1999. 478 p.
2. Sidorenko E.V. Motivation training. SPb.: Rech, 2001. 234 p.
3. Human resources motivation: the most effective methods and ways to stimulate the staff // Elitarium. The center of additional education. URL: <http://www.elitarium.ru/stimulirovanie-personala-motivacija-sotrudnik-organizacija-zarabotnaja-plata-voznagrazhdenie-upravlenie/> (reference date: 13.02.2019).
4. Motivation theories // FinNote. Finance and management. URL: <http://www.kyprida.ru/int-124-4.html> (reference date: 03.02.2019).

---

---

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

---

---

## ПСИХОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ТРАНСФОРМАЦИИ УЧЕБНОЙ ИНФОРМАЦИИ В ЛИЧНОЕ ЗНАНИЕ БУДУЩЕГО СПЕЦИАЛИСТА

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

Раскрыт механизм преобразования учебной информации в личное знание в психических процессах восприятия, внимания, памяти и мышления, основанный на обобщении экспериментальных исследований возрастных особенностей психических функций человека в разные периоды зрелости. Сформулированы дидактические условия и практические рекомендации для обеспечения прогрессивного развития интеллектуальных функций субъектов познания в процессе обучения. Раскрыта роль и опорные средства интеллектуальной деятельности в трансформации учебной информации в личное знание будущего специалиста.

*Ключевые слова:* учебная информация, личное знание, возрастная психология, психические функции, творческое мышление, интеллектуальная деятельность, мотивация учения

## PSYCHOLOGICAL ASPECTS OF EDUCATIONAL INFORMATION TRANSFORMATION INTO PERSONAL KNOWLEDGE OF FUTURE SPECIALIST

L.V. Medvedeva. Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

Uncovered a mechanism of educational information transformation into personal knowledge in mental processes of perception, attention, memory and thinking, based on a synthesis of experimental studies of the age features of human mental functions during different maturity periods. Formulated didactic conditions and practical recommendations for ensuring progressive development of the intellectual functions of subjects of knowledge in the learning process. The role and supporting means of intellectual activity in the educational information transformation into the personal knowledge of the future specialist is revealed.

*Keywords:* educational information, personal knowledge, age psychology, mental functions, creative thinking, intellectual activity, learning motivation

Воздействие методов и средств обучения обуславливает высокую сензитивность (индивидуальную чувствительность) обучающихся в период зрелости от 18 до 25 лет. По мнению Л.С. Выготского, О.Б. Дарвиша и ряда других известных психологов, обучение может вызвать процесс развития, если психические функции субъектов познания приводятся и поддерживаются в состоянии активности. Активизация психических процессов

обуславливает развитие интеллектуальных функций и проявление духовных запросов личности, которые становятся источниками новых стимулов развития интеллекта [1–3].

Для организации процесса обучения, средства которого способствуют прогрессивным изменениям функциональной структуры интеллекта, преподавателю необходимо:

1) преодолеть сложившийся стереотип тождественного восприятия понятий «учебная информация» и «знание» и осмыслить, что именно знание, а «не перекодированная на языке мозговых структур информация» (А.А. Вербицкий), может стать ориентировочной основой компетентных предметных действий будущего специалиста;

2) овладеть культурой педагогического труда, направленного на концептуальное, а не рецептурное понимание собственной педагогической деятельности;

3) осознать объективную необходимость и возможности индивидуального развития интеллектуальных функций будущих специалистов в образовательном процессе;

4) обеспечить современное информационно-методологическое сопровождение развития интеллектуальных функций будущих специалистов в образовательной среде высшей школы.

Представляется, что от направлений развития именно этих рефлексивных процессов в педагогических системах высшей школы (вне зависимости от ее профиля) значительно зависит их адекватность реалиям социально-экономического и информационного бытия современного общества, которое испытывает объективную потребность в специалистах с аббревиатурой «КИТСУ» (М.А. Холодная): компетентность, инициатива, творчество, саморегуляция, уникальность «склада ума».

В настоящее время учебной информацией принято считать определенную научно обоснованную знаковую систему, имеющую объективный характер. Компонентами знаковой системы являются объекты, явления и причинно-следственные связи реальной действительности. Каждый учебный предмет, как дидактически преобразованная проекция некоторой области научных знаний, имеет собственную специфическую знаковую систему [4, 5].

Знаковая система каждой дисциплины, включенной в учебный план подготовки специалиста, имеет объективный характер, а, следовательно, не зависит, как от субъектов, которые транслируют информационные потоки (преподаватели), так и от субъектов, которые принимают потоки учебной информации (обучающиеся).

Убедительно доказано, что первоначально учебный материал, излагаемый преподавателем на учебном занятии, воспринимается обучающимся как поток учебной информации, который автоматически не преобразуется в личные знания [4, 6, 7].

Для того чтобы изменить характер первоначального восприятия учебной информации и трансформировать ее в личное знание обучающегося, преподавателю необходимо создать определенные дидактические условия для преобразования учебной информации в интеллектуальных функциях субъекта познания (восприятие, память, мышление, воображение, внимание).

В работах известных психологов доказано, что в ранние периоды зрелости (18–25 лет) межфункциональные связи между памятью, вниманием и мышлением отличаются некоторой автономностью [3, 8–10].

Именно в связи с этим прогрессивное развитие и обеспечение равномерной нагрузки на все интеллектуальные функции в процессе обучения становятся актуальной образовательной проблемой высшей школы, для продуктивного решения которой необходимо осмысление:

- взаимосвязанных психических процессов восприятия и внимания;
- этапов преобразования учебной информации в системе интеллекта обучающегося;
- дидактических условий эффективности этапов преобразования учебной информации;

– способов организации умственной деятельности обучающихся, обеспечивающих равномерную нагрузку на компоненты системы интеллекта (память, мышление, воображение, внимание);

– дидактических условий формирования «знания» как осознанного отражения действительности и подструктуры личности обучающегося.

Восприятие – это психический процесс, направленный на целостное отражение предметов в сознании человека при их непосредственном воздействии на органы чувств. Основные свойства восприятия – целостность (целостные образы, предметно оформленные структуры) и предметность (воспринимаемый комплекс свойств оценивается человеком как определенный предмет). С восприятием неразрывно связана способность сознания к созданию образов, идей, представлений и способность манипулирования ими в процессе решения практических задач. Восприятие играет ключевую роль в процессах моделирования, творчества, памяти и т.д.

Вниманием называют сосредоточенность сознания на видах деятельности и объектах, которая определяет:

– точность и детализацию восприятия (внимание – это «усилитель», который позволяет различать детали изображения);

– прочность и избирательность памяти (внимание – это фактор сохранения информации в кратковременной и оперативной памяти);

– направленность и продуктивность мышления (обязательный фактор понимания и решения задачи).

Основными функциями внимания в познавательном процессе являются отбор значимых воздействий (направленность внимания); сохранение в сознании образов до завершения деятельности, достижения поставленной цели (избирательность); регуляция и контроль хода деятельности.

Различные психологические аспекты внимания исследовали Д.Е. Бродберт, У. Нейсер, Ч. Шеррингтон, А.А. Ухтомский, Н.Н. Ланге, П.Я. Гальперин и др. Заслуживают особого изучения следующие результаты экспериментальных исследований свойств (качественных проявлений) внимания (объем, устойчивость, концентрация, переключение, распределение, избирательность) [3, 9, 10]:

1. В 18 лет наблюдается высокая избирательность внимания, а устойчивость имеет самый низкий уровень развития.

2. В 19 лет снижается уровень концентрации, объема, переключения, избирательности, но возрастает уровень устойчивости внимания.

3. В 20 лет избирательность, объем, переключение и устойчивость внимания возрастают и выравниваются по степени развития и, одновременно, существенно возрастает концентрация внимания.

4. В 21 год продолжает наблюдаться положительная динамика возрастания переключения, избирательности и объема, но при этом снижается уровень концентрации и устойчивости внимания.

5. В период зрелости (22–26 лет) внимание имеет наиболее высокие показатели развития всех своих качественных проявлений (свойств).

Скаткин М.Н., актуализируя значение регулирующей функции внимания в структуре интеллекта, отмечает: «Внимание создает опорные пункты (доминанту) потока информации. Циклы занятий формируют динамический стереотип. Когда образовалась доминанта, укрепился динамический стереотип, тогда наступает состояние эмоционального подъема учащихся. Состояние эмоционального подъема связано с повышением интереса к работе» [5].

Для гармоничного развития свойств внимания в процессе обучения преподавателю необходимо не только изучить особенности качественных проявлений внимания, но и осмысленно реализовать в процессе обучения следующие практические рекомендации экспериментальных исследований развития свойств внимания [3, 9, 10]:

1. В период зрелости (от 18 до 22 лет) для эффективного освоения большого объема информации необходимо обеспечить сочетание опоры на практическую значимость изучаемого материала с быстрым и частым переключением внимания в одного объекта (вида) умственной деятельности на другой.

2. Учитывать неравноценное влияние различных факторов на внимание обучающихся разных курсов обучения (табл.).

3. Учитывать, что обучающиеся могут воспринимать лишь определенный объем информации и одновременно ограниченное количество смысловых траекторий.

4. Грамотно распределять внимание обучающихся, что требует структурирования, продуманной последовательности представления и оптимального темпа изложения учебного материала и непрерывного поддержания обратной связи преподавателя и аудитории.

5. Учитывать, что смешанный режим внимания обучающихся является наиболее предпочтительным (непроизвольное внимание без волевого усилия и произвольное на основе постоянно поддерживаемого усилия).

В субъективном процессе преобразования учебной информации в умственной деятельности субъекта познания можно условно выделить три взаимосвязанных этапа [4]: накопление информации (память), преобразование информации с помощью логических систем (мышление), творческое преобразование информации (творческое мышление).

Таблица. Влияние различных факторов на внимание обучающихся разных курсов обучения

Факторы поддержки внимания к учебному материалу	1 курс, (%)	4 курс, (%)
Осознание значимости для будущей профессиональной деятельности	13,2	44,3
Новизна учебного материала	15,1	33,7
Форма изложения	22,6	30
Выразительность речи	25,1	22,9
Наглядные пособия	38,4	17,3
Значимость учебного материала для личного развития	43,2	6,6

В общем виде «схема движения» учебной информации по этапам ее преобразований и трансформации в личную систему знаний обучающегося представлена на рисунке.



Рис. Общая схема «движения» учебной информации в системе интеллекта в систему знаний

На первом этапе через восприятие происходит накопление информации в процессе запоминания, сохранения и последующего воспроизведения в накопительной системе человека – памяти.

По длительности сохранения информации разделяют долговременную и кратковременную память. Функциональную деятельность человека в данный момент времени обеспечивает оперативная память.

По мнению зарубежных и отечественных психологов, память является сложным структурным образованием, основными мнемоническими функциями которого являются запечатление, запоминание и воспроизведение информации. Основными возрастными особенностями развития памяти являются следующие [6, 9]:

1. Развитие памяти не имеет периодов непрерывного подъема или непрерывного спада.
2. После биологического созревания развитие памяти продолжается.
3. В период зрелости (18–20 лет) наблюдается наиболее высокий уровень развития памяти (пик развития памяти наблюдается в 19 лет).
4. Фазы «подъема» и «спада» в развитии памяти имеют определенную ритмичность (фазность).
5. В период зрелости (18–25 лет) центром мнемонической функции является вербальная долговременная память.

На основании результатов экспериментальных исследований можно сделать вывод о том, что возрастная группа 18–22 года имеет наиболее прогрессивную структуру мнемонической функции, содержание которой характеризуется преобладанием в развитии вербальной, долговременной памяти [9].

На втором этапе переработка информации осуществляется во взаимосвязанных компонентах мышления (видах мышления): вербально-логическом (понятийном), наглядно-образном и наглядно-действенном (практическом) [9, 11, 12].

Мышление является интеллектуальной функцией, которая обеспечивает связь объективного мира с человеком путем отражения в его сознании взаимных связей, причинно-следственных связей между реальными предметами и явлениями внешнего мира. Виды (компоненты) мышления различаются по объектам, которыми оперирует субъект познания.

В вербально-логическом мышлении осуществляется оперирование понятиями (сущностные свойства, объем, связи и отношения с другими понятиями), знаками и символами.

Известный психолог А.Р. Лурия отмечал: «Человек, опираясь на коды языка, оказывается в состоянии выходить за пределы непосредственного чувственного восприятия внешнего мира, отражать сложные связи и отношения, формировать понятия, делать выводы и решать сложные теоретические задачи» [7].

Развитие словесно-логического (вербально-логического) мышления направлено на формирование следующих умений: формулировать и выражать мысли (вербальный интеллект); использовать готовые знания в форме понятий, умозаключений, суждений; осуществлять логические операции с понятиями; познавать и устанавливать существенные закономерности; познавать ненаблюдаемые взаимосвязи исследуемой действительности; прогнозировать развитие процессов в реальном мире и обществе; обобщать знания.

В наглядно-образном мышлении осуществляется оперирование образами, различными по степени сложности. По определению М.В. Гализо, М.А. Домашенко психические процессы воображения направлены на создание новых представлений (образов) путем трансформации представлений, полученных в предшествующем опыте [11–13].

Различают репродуктивное воображение, которое позволяет воссоздать действительную реальность, и продуктивное воображение, которое позволяет человеку сознательно создать (сконструировать) новую действительность, то есть придать форму конкретного изображения невидимым явственно вещам и их отношениям.

Развитие наглядно-образного мышления направлено на формирование аналитико-прогностического склада ума человека, который позволяет ему видеть реальный мир в объеме и одновременно анализировать различные по природе причинно-следственные связи реальных объектов (симультанное мышление), выдвигать, отстаивать и доказывать парадоксальные гипотезы.

В наглядно-действенном мышлении при решении практических задач используются предметно-практические процедуры в наглядно-действенной ситуации, в которой субъект осуществляет практическую преобразовательную деятельность с реальными объектами. При этом заранее субъект не знает и не может предусмотреть результаты каких-либо действий, которые являются средством выражения его мысли (например, работа испытателя, конструктора, новатора). Таким образом, в практическом мышлении наиболее явственно осуществляется «переход от мышления в понятиях к мышлению конкретному» (Л.С. Выготский).

Результаты экспериментальных психологических исследований позволяют сделать следующие выводы [3, 9, 12, 14]:

- в разные периоды зрелости человека соотношение его видов мышления изменяются, но неизменными остаются их взаимосвязи;
- от гибкости взаимосвязи видов мышления зависит успешность и результативность деятельности субъекта познания (в том числе и профессиональной);
- в возрастной группе от 18 до 22 лет стабильно высокие показатели имеют вербально-логическое мышление и образное мышление, а самые низкие показатели имеет практическое мышление;
- стабильно высокий уровень вербально-логического мышления в периоде зрелости (18–19 лет), а также низкий уровень образного мышления.

По мнению исследователей, низкий уровень образного мышления в период зрелости (18–19 лет) является закономерным следствием «логизации» мышления в период обучения в школе, то есть акцентированном развитии у школьников (ранний период зрелости) умений логических преобразований без устойчивой опоры на память, наглядно-образное мышление и наглядно-действенное мышление.

На третьем этапе творческого преобразования информации обучающийся включается в такую деятельность, которая активизирует все его психические процессы и способы умственных действий, и, как следствие, мышление субъекта познания приобретает признаки творческого мышления, которое обуславливает рождение новой идеи и нового продукта (инновации). Именно с развитием способности получать новое знание неразрывно связана одна из ключевых образовательных проблем – проблема понимания.

Гомоюнов К.К. отмечает: «Понимание наблюдается тогда, когда учащийся способен продуцировать субъективно новое знание и применять его на практике» [14].

Основными признаками творческого мышления принято считать: самостоятельность; инициативность (самостоятельный поиск решения проблемы); симультианность; критичность (конструктивный анализ привычных образцов деятельности); гибкость; рефлексивность и саморефлексию.

Новое знание может появиться внезапно в результат озарения (инсайта), «скачка разума» (интуиции), а также в результате нестандартных рассуждений с применением известных логических операций. Вместе с тем появление новой ментальной связи (творческого результата) требует ее закрепления, описания и рационального оформления для предъявления социуму [15, 16].

Таким образом, синтез нового знания является результатом взаимодействия рациональных (логика) и иррациональных (интуиция) механизмов мышления субъекта познания. С помощью иррациональных (креативных) механизмов осуществляется генерация идей, инновационные преобразования, инновации, а с помощью рациональных (логических) механизмов реализуются функции доказательства, объяснения, обоснования, математических расчетов. С позиций неразрывной взаимосвязи рационального

и иррационального механизмов в появлении нового знания способность использовать рациональные и иррациональные механизмы при решении проблемной задачи принято называть «универсальной креативностью» [15–17].

Выделенные этапы преобразования информационных потоков являются взаимосвязанными и взаимозависимыми с позиций эффективности преобразования информации, для обеспечения которой необходимо сформулировать основные требования к организации учебного процесса и необходимые дидактические условия для их выполнения.

Для эффективности первого этапа преобразования учебной информации и развития памяти в процессе обучения необходимо [14]:

1) создавать условия для произвольного (сознательного) запоминания учебного материала, так как с 20 лет экспериментально выявлено снижение способности произвольного запоминания, как отдельных слов, так и слов, включенных в словосочетания или другие логические группы слов;

2) специально организовывать систематическую «борьбу» с забыванием. Указанное требование обусловлено эмпирическим правилом Г. Эббингауза (1885 г.): сохраняемый человеком объем информации уменьшается по экспоненциальному закону на две трети от исходного объема информации в течение первых суток. Если работа по сохранению исходной информации не проводится, то через четверо суток в памяти остается только 25 % воспринятой информации;

3) создавать установку на длительное хранение в памяти учебной информации лекционного курса, которая должна систематически вводиться в «рабочий оборот» на практических занятиях;

4) обеспечить полное, точное и своевременное воспроизведение учебной информации в различных формах с приоритетом речевого общения для оценки качества закрепления учебной информации в структуре памяти.

Указанные требования будут реализованы в процессе обучения при выполнении следующих практических рекомендаций:

1. Не использовать только словесные методы обучения, активно применять наглядные средства для развития образной памяти, которая в период зрелости (18–21 год) имеет достаточно высокий уровень развития;

2. Четко определять промежуточные и конечные цели овладения учебной информацией;

3. Непрерывно стимулировать личную мотивацию познания с целью активизации произвольного и сознательного запоминания и запечатления учебного материала;

4. Конструировать специальные мнемонические задания с целью их систематического включения в дидактические схемы учебных занятий (обеспечение «борьбы» с забыванием) при изучении всех тем учебного курса;

5. Систематически вводить поступающую учебную информацию в «рабочий оборот» на всех видах учебных занятий (обеспечение полноты воспроизведения и создание установки на длительность хранения).

Вместе с тем для предотвращения «логизации» обучения дополнительно актуализируются следующие дидактические условия:

1. Использование активных методов обучения и проблемных заданий, которые обеспечивают развитие навыков мыслительной деятельности: анализ, синтез, обобщение, конкретизация, абстрагирование;

2. Опора на разнообразные средства наглядности: реальные объекты (демонстрации и демонстрационные стенды), компьютерные модели, графическая информация, схемы (установление связей между механической и смысловой памятью, образным мышлением и вербально-логическим мышлением);

3. Разработка и систематическое использование в педагогической практике специальных заданий, выполнение которых требует переводить систему знаков в образы и образы в систему знаков, а также осуществлять взаимные переходы из математической

формы представления информации к ее графической интерпретации (кодирование и декодирование учебной информации);

4. Создание условий, в которых обучающимся необходимо представлять и защищать результаты собственных преобразований учебной информации (развитие дедуктивно-индуктивного мышления в процессе движения от конкретного к абстрактному и от абстрактного к конкретному).

Указанные дидактические условия необходимы для развития всех психических функций, но недостаточны для достижения педагогических результатов на этапах осмысления учебной информации, и поэтому должны быть дополнены следующими дидактическими условиями:

1. Для снижения трудности восприятия новой учебной информации необходимо новую учебную информацию «привязывать» к ранее изложенной. При таком подходе содержание нового учебного материала воспринимается обучающимся как содержание, обогащенное предыдущей умственной переработкой и пронизанное ранее не известными внутрипредметными связями;

2. При изложении учебного материала выделять главное и второстепенное (генерализация информационных потоков) и систематически включать обучающихся в работу с понятийным аппаратом, формировать глоссарии ключевых понятий и терминов, таблицы базовых формул и соотношений (полнота воспроизведения, установка на длительность хранения учебной информации, упражнение долговременного запечатления);

3. Использовать диалог в качестве ведущей формы субъект-субъектного взаимодействия и способа систематического речевого воспроизведения учебной информации. Слово как компонент речи и, одновременно, носитель понятия является компонентом мышления, поэтому именно в речевом изложении обучающегося проявляется уровень освоения учебного материала;

4. Создавать условия для активной интеллектуальной деятельности обучающихся в процессе обучения (регулярное упражнение памяти и долговременного запечатления учебной информации).

В психологических исследованиях доказано, что в условиях активной интеллектуальной деятельности все психические процессы человека активизируются, и достигается максимальная эффективность этапов преобразования учебной информации.

С этих позиций чрезвычайно значимую роль для формирования личной системы знаний будущего специалиста приобретает организация этапа творческого преобразования учебной информации.

Выполнение творческих заданий связано с поиском решения путем реализации собственных алгоритмов действий, которые позволяют обучающимся воссоздать в проблемной ситуации модель деятельности ученого (новый теоретический вывод) или модель изобретателя (новое конструктивное решение для реального объекта). При реализации первого алгоритма действий двигателем умственных усилий обучающегося является вопрос «почему?», а при реализации второго алгоритма действий обучающийся осуществляет самостоятельный поиск ответа на вопрос «как сделать?».

В учебном процессе обучающиеся, как правило, выдвигают и доказывают феноменологические гипотезы, для доказательства которых необходима опора на известные факты, а в содержании выдвигаемых гипотез предсказываются либо внешние механизмы процессов, явлений, либо внешнее поведение реальных объектов. Однако наибольшая активность интеллектуальной деятельности наблюдается в ситуациях, когда обучающиеся выдвигают и доказывают репрезентативные гипотезы, которые обращены «...к внутренним механизмам процессов или явлений» (В.А. Извозчиков) [18].

В связи с этим наиболее предпочтительными на этапе развития творческого мышления становятся задачи исследовательского типа, при решении которых цель деятельности определена, а известного алгоритма решения нет. В этих условиях

обучающийся вынуждается осуществлять поиск решения самостоятельно в «лабиринте возможностей».

К задачам исследовательского типа относятся, например, теплотехнические инженерные расчеты, целью которых является разработка строительной ограждающей конструкции, пригодной к эксплуатации (оценка осуществляется по специальным математическим критериям) в данных климатических условиях.

С позиций вышеизложенного в интеллектуальной, проблемно-творческой деятельности обучающегося можно выделить следующие взаимосвязанные этапы: осмысление проблемной ситуации, формулировка и анализ проблемной модели-задачи; выдвижение и проверка гипотез; самостоятельный поиск решения.

В условиях активной интеллектуальной деятельности обучающийся осознает и оценивает собственные интеллектуальные возможности, самостоятельно выявляет и ликвидирует «пробелы» в знаниях, активно работает с учебной и справочной литературой. Интерес к интеллектуальной деятельности обуславливает мотивацию учения и интерес к предмету и содержанию будущей профессиональной деятельности [19].

Активизация психических процессов на каждом этапе преобразования учебной информации, их неразрывная взаимосвязь и создание грамотных дидактических условий в процессе обучения обуславливает адекватное отражение предметности, осмысленности, избирательности, устойчивости содержания учебного материала, которое достигает полноты и откладывается в сознании познающего субъекта в виде представлений, которые интегрируются в содержание знания.

Знание как осознанное отражение действительности, осмысленное в практической деятельности, приобретает личностный смысл овладения и становится подструктурой личности, включающей не только отражение предметов объективной действительности, но и действенное отношение к ним.

«Примеренная» к действию» (А.А. Вербицкий) учебная информация, лично осмысленная в конкретных практических ситуациях, поэтапно преобразуется в знание и становится компонентом личной системы знаний будущего специалиста, которая в его практической деятельности будет являться ориентировочной основой познания и средством компетентных профессиональных действий [20].

### **Литература**

1. Выготский Л.С. Развитие высших психических функций. М.: Изд-во АПН РСФСР, 1960.
2. Дарвиш О.Б. Возрастная психология. М.: Изд-во ВЛАДОСС-ПРЕСС, 2005.
3. Психологическое исследование познавательных процессов и личности / под ред. Д.И. Ковач. М.: Наука, 1983.
4. Линдсней П., Норман Д. Переработка информации у человека. М., 1974.
5. Скаткин М.Н. Совершенствование процесса обучения. М., 1971.
6. Леонтьев А.Н. Проблемы развития психики. М., 1981.
7. Лурия А.Р. Язык и сознание. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1979. 320 с.
8. Ананьев Б.Г. О системе возрастной психологии // Вопросы психологии. 1957. № 5.
9. Возрастные и индивидуальные различия памяти / под ред. А.А. Смирнова. М.: Просвещение, 1967.
10. Возрастные особенности умственной деятельности взрослых: сб. научных трудов / под ред. Е.И. Степановой. Л.: НИИ ОВ АПН СССР, 1974.
11. Боно Э. Латеральное мышление. СПб: Питер Паблишинг, 1997.
12. Брушлинский А.Б. Мышление и прогнозирование. М., 1979.
13. Гализо М.В., Домашенко И.А. Атлас по психологии. М.: Просвещение, 1986.
14. Гомоюнов К.К. Совершенствование преподавания общенаучных и технических дисциплин. СПб: Изд-во СПбГУ, 1993. 250 с.

15. Альтшуллер Г.С., Верткин И.М. Как стать гением: жизненная стратегия творческой личности. Минск: Беларусь, 1994.
16. Лук А.Н. Психология творчества. М.: Наука, 1978.
17. Грановская Р.М., Крижанская Ю.С. Творчество и преодоление стереотипов. СПб.: OMS, 1994.
18. Извозчиков В.А., Потемкин М.Н. Научные школы и стиль научного мышления. СПб: Образование, 1997.
19. Матюшкин А.М. Проблемы развития профессионального теоретического мышления. М., 1980. С. 3–47. (нет ссылки в тексте)
20. Вербицкий А. Бакшаева Н. Развитие мотивации в контекстном обучении // Alma mater. 1998. № 1–2. С. 47–50.

### References

1. Vygotskiy L.S. Razvitiye vysshikh psikhicheskikh funktsiy. M.: Izd-vo APN RSFSR, 1960.
2. Darvish O.B. Vozrastnaya psikhologiya. M.: Izd-vo VLADOSS-PRESS, 2005.
3. Psikhologicheskoye issledovaniye poznavatel'nykh protsessov i lichnosti / pod red. D.I. Kovach. M.: Nauka, 1983.
4. Lindsney P., Norman D. Pererabotka informatsii u cheloveka. M., 1974.
5. Skatkin M.N. Sovershenstvovaniye protsessa obucheniya. M., 1971.
6. Leont'yev A.N. Problemy razvitiya psikhiki. M., 1981.
7. Luriya A.R. Yazyk i soznaniye. M.: Izd-vo Mosk. un-ta, 1979. 320 s.
8. Anan'yev B.G. O sisteme vozrastnoy psikhologii // Voprosy psikhologii. 1957. № 5.
9. Vozrastnyye i individual'nyye razlichiya pamyati / Pod red. A.A. Smirnova, M.: Prosveshcheniye, 1967.
10. Vozrastnyye osobennosti umstvennoy deyatel'nosti vzroslykh / Sbornik nauchnykh trudov. Pod red. Ye.I. Stepanovoy. L.: NII OV APN SSSR, 1974.
11. Bono E. Lateral'noye myshleniye. SPb: Piter Publishing, 1997.
12. Brushlinskiy A.B. Myshleniye i prognozirovaniye. M., 1979.
13. Galizo M.V., Domashenko I.A. Atlas po psikhologii. M.: Prosveshcheniye, 1986.
14. Gomoyunov K.K. Sovershenstvovaniye prepodavaniya obshchenauchnykh i tekhnicheskikh distsiplin. SPb.: Izd-vo SPbGU, 1993. 250 s.
15. Al'tshuller G.S., Vertkin I.M. Kak stat' geniym: zhiznennaya strategiya tvorcheskoy lichnosti. Minsk: Belarus', 1994.
16. Luk A.N. Psikhologiya tvorchestva. M.: Nauka, 1978.
17. Granovskaya R.M., Krizhanskaya Yu.S. Tvorchestvo i preodoleniye stereotipov. SPb.: OMS, 1994.
18. Izvozchikov V.A., Potemkin M.N. Nauchnyye shkoly i stil' nauchnogo myshleniya. SPb: Obrazovaniye, 1997.
19. Matyushkin A.M. Problemy razvitiya professional'nogo teoreticheskogo myshleniya. M., 1980. S. 3–47. (нет ссылки в тексте)
20. Verbitskiy A. Bakshayeva N. Razvitiye motivatsii v kontekstnom obuchenii // Alma mater № 1–2. 1998. S. 47–50.

# **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА СЕМАНТИЧЕСКОГО ДИФФЕРЕНЦИАЛА ДЛЯ ПЕДАГОГИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ ОТНОШЕНИЯ К ПРОЦЕССУ ОБУЧЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ ДИСЦИПЛИНЫ «ХИМИЯ»**

**Ю.Г. Баскин, доктор педагогических наук, профессор, заслуженный работник высшей школы Российской Федерации;**

**Г.Б. Свидзинская, кандидат химических наук, доцент. Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России.**

**В.К. Шифф, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник.**

**Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского**

С целью получения способа педагогической диагностики, учитывающего эмоциональное восприятие процесса обучения, и позволяющего оперативно выявить негативные тенденции, возникающие в ходе освоения базовых дисциплин, методом семантического дифференциала проведен анализ мотивационно-смыслового отношения к предмету «Химия». Данные, полученные в результате исследования, обработаны методом факторного анализа. Показано, что недостаточная мотивация к обучению во многом связана с непониманием роли химии в изучении профессиональных дисциплин и будущей практической деятельности специалистов пожарной безопасности.

*Ключевые слова:* метод семантического дифференциала, будущие специалисты Государственной противопожарной службы МЧС России, предмет «Химия», педагогическая диагностика

## **THE USE OF THE SEMANTIC DIFFERENTIAL METHOD FOR PEDAGOGICAL DIAGNOSIS OF ATTITUDES TO THE LEARNING PROCESS ON THE EXAMPLE OF THE SUBJECT «CHEMISTRY»**

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

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

V.K. Shiff. Military-space Academy A.F. Mozhaisky

The study of motivational semantic attitude towards the subject of Chemistry was conducted by semantic differential method aiming at obtaining the pedagogical diagnostics method that considers students' emotional perception of the educational process and that makes it possible to promptly identify negative tendencies arising within the process of basic subjects learning. The data obtained in the course of the study were processed by the factor analysis method. It is noted, that the lack of motivation for studying in many respects is caused by the learners' misunderstanding of chemistry relevance to the professional disciplines set and future practical activities of fire safety experts.

*Keywords:* semantic differential method, future specialists of State fire service of EMERCOM of Russia, subject of Chemistry, pedagogical diagnostics

Обучение в вузе является первым этапом на пути формирования специалиста, обладающего комплексом знаний, необходимых для решения профессиональных задач, умением использовать эти знания для принятия решений, способного к самообразованию. Особую значимость эти умения и навыки приобретают для будущих пожарных и спасателей, которые должны быть готовы к принятию решений в экстремальных условиях, когда

от быстроты и правильности их действий зависят жизни людей, предотвращение возможной катастрофы или ликвидация её последствий. Изучению предметов, непосредственно связанных с профессиональной деятельностью, в вузе предшествует цикл базовых дисциплин, формирующих основу для последующей инженерной и специальной подготовки. Как отмечают Л.В. Медведева и Е.С. Калинина, в современной системе профессионально-технической подготовки сотрудников МЧС России математическим и естественнонаучным дисциплинам отводится особая роль [1]. Они формируют основу целостного представления о месте человека в мире. Знание основных физических законов, понимание химических процессов, идущих на пожаре, умение применять математический аппарат для оценки чрезвычайной обстановки позволяет сформировать специалиста, способного оценить опасность и динамику развития чрезвычайной ситуации и дать быстрые и точные рекомендации по ее предотвращению или ликвидации. Кроме того, на занятиях по базовым дисциплинам у первокурсников вырабатываются общие подходы и требования, предъявляемые к учебному процессу в вузе, навыки самостоятельной работы.

Несмотря на то, что правительство Российской Федерации и руководство МЧС России позиционируют обеспечение качества образования и соответствия его мировым стандартам как одну из основных задач для российской педагогической науки, повсеместно фиксируются серьезные недостатки в компетентности выпускников, их малая конкурентоспособность на рынке труда. Одной из причин слабой подготовки молодых специалистов является недостаточная мотивация к получению знаний и серьезная эмоциональная нагрузка, возникающая при адаптации к условиям обучения в вузе силовой структуры, накладываемая на низкий уровень школьного образования. Особенно остро эти факторы проявляются на младших курсах при изучении базовых предметов естественнонаучного цикла, что негативно сказывается на дальнейшем освоении специальных дисциплин. В результате проведенных опросов было показано, что до 50 % курсантов после первого года обучения ощущают разочарование в выбранной специальности и у них появляется желание уйти из вуза. Следует отметить, что аналогичные проблемы, исключая служебные обязанности, характерны и для студентов-первокурсников [2–6].

Проведенные исследования свидетельствуют о том, что нельзя повысить уровень успеваемости и мотивацию к обучению без учета эмоциональной составляющей. Раскрыть возможности и профессиональные предпочтения, выявить и учесть индивидуальные особенности и эмоциональное напряжение, возникающее в ходе обучения, сформировать интерес к получению знаний по предмету невозможно без правильной организации педагогической диагностики [7]. При этом рациональный компонент педагогической диагностики должен обладать как качественными, так и количественными показателями.

Контроль за эмоциональным состоянием обучающихся, мониторинг отношения к предмету и процессу обучения можно вести, используя метод семантического дифференциала. Этот метод представляет собой комбинацию метода контролируемых ассоциаций и процедур шкалирования и применяется в разных областях деятельности для исследования познавательных аспектов самосознания личности. Измеряемые объекты оцениваются респондентом по ряду биполярных шкал, полюса которых заданы с помощью антонимов [3, 4, 8]. Метод позволяет качественно и количественно описать субъективное, эмоциональное отношение испытуемого к каким-либо предметам или обстоятельствам его окружения и внутреннего мира и широко применяется в мировой психолого-педагогической практике для исследования процесса обучения химии, математике, биологии и другим, преимущественно естественнонаучным, дисциплинам. Кроме того, метод достаточно нагляден, универсален, его легко модифицировать при анализе различных ситуаций, возникающих в процессе обучения [3, 4, 9–12].

Задачей настоящего исследования было изучение с помощью метода семантического дифференциала динамики мотивационно-смыслового отношения курсантов, студентов и слушателей Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России к предмету «Химия» в ходе обучения.

Выбор химии в качестве предмета исследования был обусловлен тем, что данная дисциплина формирует основу для последующей инженерной и специальной подготовки экспертов, пожарных и спасателей высшей квалификации, является базой для изучения процессов горения и взрыва, пожарной безопасности технологических процессов, пожарной тактики, методов судебно-экспертных исследований и т.д. Ее изучение начинается на первом курсе, где обучающиеся осваивают общую, неорганическую и органическую химию. На втором и третьем курсе дисциплина служит основой для таких предметов, как «Теория горения и взрыва», «Физико-химические основы процессов горения и взрыва» и «Физико-химические основы процессов горения и тушения», где подробно изучается физическая химия процессов горения. В ходе обучения эта дисциплина требует широкого спектра педагогических практик: лекционный курс, практические занятия, экспериментальные исследования в лабораториях. Изучаемые в курсе химии темы связаны и с окружающей действительностью (экология, медицина) и с будущей профессиональной деятельностью (пожары и их ликвидация, аварии на шахтах, последствия стихийных бедствий). Авторам было важно оценить, насколько обучающиеся понимают важность и полезность приобретаемых на предмете знаний для использования их в будущей профессиональной деятельности.

Целью исследования является разработка метода педагогической диагностики, учитывающего эмоциональное восприятие студентами процесса обучения и позволяющего оперативно выявить негативные тенденции, возникающие в ходе обучения, что позволяет повысить мотивацию к приобретению знаний, скорректировать формы организации учебного процесса и подобрать методы проведения занятий, наиболее полно раскрывающие как потенциал всей группы, так и отдельного обучающегося.

В качестве объекта исследования были выбраны курсанты, студенты и слушатели Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России, обучающиеся на бюджетной основе, и студенты Института безопасности жизнедеятельности, обучающиеся платно по специальности «Пожарная безопасность». В исследовании участвовало 256 чел., проходящих обучение на 1, 3 и 5 курсах по очной форме (из них 17 % составляли девушки и 83 % молодые люди; 69 % являлись курсантами и 31 % студентами) и 52 чел. (юноши), обучающиеся заочно на 2 курсе университета. Всем респондентам предлагалось выразить отношение к предмету «Химия», анонимно заполнив бланк семантического дифференциала, состоящий из 20 пар антонимов. Обучающиеся отмечали на семибалльной шкале (от +3 (максимальное соответствие) через ноль до -3 (минимальное соответствие) свое отношение к предмету, основываясь на паре противоположных эмоционально-оценочных характеристик. Время, выделенное на заполнение бланка, составляло 5–10 мин.

Исследование проводилось по завершении зимнего семестра обучения, когда первокурсники осваивают 30 % от полного курса дисциплины «Химия», а третьекурсники и слушатели 2 курса заочного факультета заканчивают изучение химии процессов горения.

Результаты анкетирования обрабатывались методом факторного анализа. Этот статистический метод объединяет качественный и структурно-количественный анализ и позволяет выявить внутренние, не наблюдаемые непосредственно характеристики объекта. Выявленные в результате анализа факторы могут быть использованы для объяснения комплексных явлений при решении различных научно-педагогических задач, особенно в сравнительном педагогическом эксперименте [13].

Учитывая структуру взаимосвязей в каждом факторе, авторы охарактеризовали их следующим образом. Фактор 1 – «Интерес и полезность», фактор 2 – «Отношение к предмету», фактор 3 – «Эмоциональное удовлетворение», фактор 4 – «Интеллектуальная доступность». Факторы 1 и 2, отражая отношение к химии, как к области знаний (фактор 1) и к химии, как учебной дисциплине (фактор 2), объединяют в себе поведенческий и частично эмоциональный и познавательный компоненты, фактор 3 – это аффективно-оценочный компонент, а фактор 4 – когнитивная составляющая отношения (табл. 1, 2).

Пороговое значение факторной нагрузки выбрано больше или равным 0,5. Положительное значение факторной нагрузки означало, что отношение респондентов к субъекту ближе к первому антониму, а отрицательное – ко второму. Суммарная доля воспроизводимой дисперсии для всех групп респондентов составила более 55 %.

Таблица 1. Результаты факторного анализа отношения к предмету «Химия» курсантов и студентов 1 и 5 курсов

	Фактор 1		Фактор 2		Фактор 3		Фактор 4	
	1	5	1	5	1	5	1	5
% дисперсии	18,77	27,25	13,44	11,59	18,52	12,23	13,29	11,91
Антонимы								
Доминирующая/ второстепенная	0,61	0,68						
Распространенная/ редкая	0,70	0,64						
Развивающая/ неразвивающая			-0,59	-0,52				
Востребованная/ неиспользуемая	0,80	0,80						
Интересная/скучная	0,69	0,85			0,55			
Деятельная/ пассивная	0,65	0,64						
Красочная/ бесцветная					0,79	0,52		
Помогающая/ ненужная	0,69	0,87						
Хаотичная/ упорядоченная				0,64			0,87	
Классическая /инновационная		-0,62	0,54					
Рутинная/творческая			0,51					0,78
Нервная/спокойная			0,80	0,57				
Однообразная/ многообразная	-0,69	-0,58						
Приятная/неприятная					0,69	0,61		
Радостная/печальная					0,80	0,67		
Ненавистная/ любимая					-0,82			
Враждебная/ дружелюбная					-0,65	0,69		
Сложная/простая							0,86	0,83
Теоретическая/ практическая			0,91					0,80
Физическая/ умственная				0,67			-0,81	

Таблица 2. Результаты факторного анализа отношения к предмету «Химия», обучающихся по очной (3 курс) и заочной (2 курс) формам

	Фактор 1		Фактор 2		Фактор 3		Фактор 4	
	очная	заочная	очная	заочная	очная	заочная	очная	заочная
% дисперсии	23,84	21,15	11,29	16,63	11,54	15,74	11,22	8,65
Антонимы								
Доминирующая/ второстепенная	0,56			0,73				
Распространенная/ редкая	0,83							
Развивающая/ неразвивающая	0,72	0,55						
Востребованная/ неиспользуемая		0,73						
Интересная/скучная	0,65	0,66						
Деятельная/ пассивная	0,79	0,65						
Красочная/ бесцветная	0,68	0,82						
Помогающая/ ненужная	0,64							
Хаотичная/ упорядоченная				-0,78				
Классическая /инновационная			0,75					
Рутинная/творческая		-0,77	0,61					
Нервная/спокойная			0,66	0,54				
Однообразная/ многообразная	0,55	-0,74						
Приятная/неприятная					-0,68	0,56		
Радостная/печальная					-0,68	0,82		
Ненавистная/ любимая					0,71	-0,84		
Враждебная/ дружелюбная					0,61	-0,66		
Сложная/простая							0,51	0,64
Теоретическая/ практическая				0,87			0,80	
Физическая/ умственная							-0,8	-0,71

Результаты факторного анализа свидетельствуют о том, что в процессе обучения отношение к химическим дисциплинам закономерно меняется. На первом курсе фиксируется достаточно высокий интерес к предмету. Молодые люди считают химию востребованной, многообразной, интересной, нужной для их дальнейшей работы. Доля первого и третьего факторов у первокурсников практически одинакова. Это объясняется тем, что процесс адаптации к условиям вуза еще не завершен и новые предметы, новые знания, успехи и неудачи в учебе воспринимаются более эмоционально, чем у других групп респондентов. Несмотря на то, что химия вызывает затруднения и требует большого нервного напряжения на занятиях (высокие значения факторных нагрузок по переменным сложная, хаотичная, умственная, нервная), молодые люди не испытывают негативных эмоций в ходе обучения

и характеризуют дисциплину как приятную, дружелюбную и любимую. Однако уже на первом курсе респонденты отмечают отсутствие связи изучаемого материала с практикой (высокий показатель факторной нагрузки по переменной «теоретическая»), недостаток творческого и развивающего компонента на занятиях.

На третьем курсе, несмотря на то, что отношение к химии, как области знаний, меняется незначительно, отношение к предмету, эмоциональное удовлетворение от его изучения резко падает. Хотя третьекурсники и отмечают развивающий характер дисциплины, а ее изучение становится менее сложным, но химия, как предмет, вызывает негативные эмоции, воспринимается как неприятная, враждебная, скучная, однообразная, совершенно не связанная с практикой (значение факторной нагрузки по переменным «востребованная» и «практическая» менее 0,5) дисциплина.

К пятому курсу, столкнувшись на реальных пожарах с реакцией горения и ее последствиями, выпускники понимают необходимость химических знаний (высокие значения по переменным «помогающая», «деятельная», «востребованная»). Антоним «классическая», используемый обучающимися на первом и третьем курсе для характеристики предмета, курсанты и студенты пятого курса переносят в первый фактор и характеризуют химию как инновационную, а химия как предмет, требующий умственной работы для ее изучения, трансформируется в естественнонаучную (физическую) область знаний. К концу обучения выпускники уже не испытывают резко отрицательного отношения к предмету, однако дисциплина по-прежнему воспринимается ими как враждебная, сложная, не способствующая развитию и лишенная связи с практикой.

Слушатели заочного факультета изучают химию самостоятельно, поэтому доля факторов, характеризующих эмоциональное удовлетворение от полученных на предмете знаний и интеллектуальную доступность дисциплины, у них меньше, чем вес факторов 1 и 2. Респондентов этой группы не наказывают за академическую неуспеваемость, им не приходится регулярно нервничать из-за невыполненных заданий, в результате, отношение к химии носит позитивный характер, однако крайне низкие факторные нагрузки по переменным «распространенная», «развивающая», «помогающая» свидетельствуют о том, что слушатели заочного факультета вряд ли хорошо понимают роль химии в пожарном деле.

Следует отметить, что полученные в ходе факторного анализа результаты достаточно хорошо согласуются с выводами, сделанными при графической интерпретации данных анкетирования методом семантического дифференциала [14]. Однако графическая обработка данных дает качественную картину отношения к изучаемому предмету. Ее следует применять только для малых групп респондентов, в тех случаях, когда использование факторного анализа некорректно [13]. Статистическая обработка данных методом факторного анализа позволяет определить внутренние, скрытые, не наблюдаемые непосредственно характеристики объекта. Выявленные в результате анализа факторы могут быть использованы для объяснения комплексных явлений при решении различных научно-педагогических задач. Данные факторного анализа позволяют предотвратить нарастающие в ходе преподавания дисциплины негативные явления, выявить их причину и скорректировать методы и формы организации учебного процесса.

## **Выводы**

Повышение качества образования и, как следствие, формирование специалиста высокого класса должно базироваться на понимании роли приобретаемых знаний в будущей практической деятельности. Негативное отношение молодых людей к учебным дисциплинам, их эмоциональное отторжение, непонимание цели приобретения тех или иных знаний, особенно при изучении базовых предметов, приводит к неизбежному снижению качества усвоения специальных дисциплин на старших курсах и ухудшению профессиональной компетентности выпускников вуза. В связи с этим задача преподавателя – создание мотивации к обучению с учетом индивидуальных особенностей, как учебных групп, так и индивидуумов, разработка и внедрение в образовательный процесс вузов МЧС России профессионально направленного обучения базовым дисциплинам.

Эффективное обучение невозможно без контроля за эмоциональным состоянием обучающегося. Метод семантического дифференциала в совокупности с методами математической статистики, в частности факторным анализом, позволяет качественно и количественно оценить восприятие респондентом процесса обучения, отношение обучающегося к предмету и динамику изменения этого отношения по ходу освоения дисциплины и может быть рекомендован для проведения педагогической диагностики с целью выявления негативных тенденций, возникающих при изучении дисциплины, определения и учета индивидуальных особенностей обучающихся, корректировки форм и методов организации учебного процесса, устранения негативных тенденций, ведущих к снижению мотивации в учебной деятельности.

### Литература

1. Медведева Л.В., Калинина Е.С. Теоретические и методологические основы профессионально направленного обучения математическим и естественнонаучным дисциплинам в вузах МЧС России // Науч.-аналит. журнал «Вестник С.-Петербур. ун-та ГПС МЧС России». 2018. № 1. С. 66–71.
2. Демченко О.Ю. Когнитивные особенности профессионального самосознания курсантов ГПС МЧС России // Дискуссия. 2013. № 2. С. 97–102.
3. Mezentseva M.E., Svidzinskaya G.B. Semantic differential method as a pedagogical diagnostics tool in University learning process // 18-th PCSF 2018 Professional Culture of the Specialist of the Future: in the European Proceedings of Social & Behavioural Sciences, St. Petersburg. Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, 2018. Vol. LI. № 57. P. 528–537.
4. Баскин Ю.Г., Свидзинская Г.Б., Свидзинская А.С. Изучение отношения учащихся вузов МЧС России к предмету «Химия» с использованием метода семантического дифференциала // Науч.-аналит. журнал «Вестник С.-Петербур. ун-та ГПС МЧС России». 2017. № 4. С. 155–162.
5. Железный С.В., Логинов В.А., Сычев И.В. Базовые учебные дисциплины в период адаптации курсантов к учебной деятельности // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. 2014. Т. 2. № 1 (5). С. 325–327.
6. Пустовалова Е.И. Успешная адаптация курсантов в вузе МЧС как основа развития профессионально значимых качеств // Известия Уральского гос. ун-та. Сер. 1: Проблемы образования, науки и культуры. 2011. № 4 (95). С. 174–179.
7. Баскин Ю.Г., Гутник И.Ю. Возможности педагогической диагностики в обеспечении качества образования // Проблемы управления рисками в техносфере. 2013. № 1. С. 158–162.
8. Кожевникова О.В., Вьюжанина С.А. Психосемантика. Метод семантического дифференциала: учебно-методическое пособие для студентов высших учеб. заведений. Ижевск: Изд. центр «Удмуртский университет», 2016. 120 с.
9. Svidzinskaya G.B., Baskin Yu.G., Mezentseva M.E. Using the Semantic Differential Method to assess the learning motivation and attitude of first-year students' towards chemistry in University of EMERCOM of Russia // International Journal of Education and Practice. 2019. Vol. 7. № 2. P. 88–100.
10. Bauer C.F. Attitude toward Chemistry: A semantic differential instrument for assessing curriculum impacts // Journal of Chemical Education. 2008. V. 85. № 10. P. 1440–1445.
11. Kahveci A. Assessing high school students' attitudes toward chemistry with a shortened semantic differential // Chemistry Education Research and Practice. 2015. № 16. P. 283–292.
12. Quantifying attitude to chemistry in students at the University of the South Pacific / S.J. Brown, B.N. Sharma, L. Wakeling, M. Naiker, S. Chandra, R.D. Gopalan, V.B. Bilimoria // Chemistry Education Research and Practice. 2014. № 15. P. 184–19.
13. Лебедева И.П. О специфике применения факторного анализа в педагогическом исследовании // Образование и наука. 2003. № 2. С. 10–25.

14. Свидзинская Г.Б., Трофимец Е.Н. Использование метода семантического дифференциала для анализа отношения курсантов, студентов и слушателей ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России» к химическим дисциплинам // Подготовка кадров в системе предупреждения и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций: в сб. мат. Междунар. науч.-практ. конф. / СПб.: С.-Петерб. ун-т ГПС МЧС России, 2018. С. 189–194.

### References

1. Medvedeva L.V., Kalinina E.S. Teoreticheskie i metodologicheskie osnovy professional'no napravlennogo obucheniya matematicheskim i estestvennonauchnym disciplinam v vuzah MCHS Rossii // Nauchno-analiticheskij zhurnal «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MCHS Rossii». 2018. № 1. S. 66–71.

2. Demchenko O.Yu. Kognitivnye osobennosti professional'nogo samosoznaniya kursantov GPS MCHS Rossii // Diskussiya. 2013. № 2. S. 97–102.

3. Mezentseva M.E., Svidzinskaya G.B. Semantic differential method as a pedagogical diagnostics tool in University learning process // 18th PCSF 2018 Professional Culture of the Specialist of the Future: in the European Proceedings of Social & Behavioural Sciences, St. Petersburg. Peter the Great St. Petersburg polytechnic university, 2018. Vol. LI. № 57. P. 528–537.

4. Baskin Yu.G., Svidzinskaya G.B., Svidzinskaya A.S. Izuchenie otnosheniya uchashchihsya vuzov MCHS Rossii k predmetu «Himiya» s ispol'zovaniem metoda semanticheskogo differenciala // Nauchno-analiticheskij zhurnal «Vestnik S.-Peterb. un-ta GPS MCHS Rossii». 2017. № 4. S. 155–162.

5. Zheleznyj S.V., Loginov V.A., Sychev I.V. Bazovye uchebnye discipliny v period adaptacii kursantov k uchebnoj deyatel'nosti // Pozharnaya bezopasnost': problemy i perspektivy. 2014. T. 2. № 1 (5). С. 325–327.

6. Pustovalova E.I. Uspeshnaya adaptaciya kursantov v vuze MCHS kak osnova razvitiya professional'no znachimyh kachestv // Izvestiya Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. 1, Problemy obrazovaniya, nauki i kul'tury. 2011. № 4 (95). S. 174–179.

7. Baskin Yu.G., Gutnik I.Yu. Vozmozhnosti pedagogicheskoy diagnostiki v obespechenii kachestva obrazovaniya // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2013. № 1. S. 158–162.

8. Kozhevnikova O.V., V'yuzhanina S.A. Psihosemantika. Metod semanticheskogo differenciala: uchebno-metodicheskoe posobie dlya studentov vysshih ucheb. zavedenij. Izhevsk: Izdatel'skij centr «Udmurtskij universitet», 2016. 120 s.

9. Svidzinskaya G.B., Baskin Yu.G., Mezentseva M.E. Using the Semantic Differential Method to assess the learning motivation and attitude of first-year students' towards chemistry in University of EMERCOM of Russia // International Journal of Education and Practice. 2019. Vol. 7. № 2. P. 88–100.

10. Bauer C.F. Attitude toward Chemistry: A semantic differential instrument for assessing curriculum impacts // Journal of Chemical Education. 2008. V. 85. № 10. P. 1440–1445.

11. Kahveci A. Assessing high school students' attitudes toward chemistry with a shortened semantic differential // Chemistry Education Research and Practice. 2015. № 16. P. 283–292.

12. Quantifying attitude to chemistry in students at the University of the South Pacific / S.J. Brown, B.N. Sharma, L. Wakeling, M. Naiker, S. Chandra, R.D. Gopalan, V.B. Bilimoria // Chemistry Education Research and Practice. 2014. № 15. P. 184–19.

13. Lebedeva I.P. O specifike primeneniya faktornogo analiza v pedagogicheskom issledovanii // Obrazovanie i nauka. 2003. № 2. S. 10–25.

14. Svidzinskaya G.B., Trofimec E.N. Ispol'zovanie metoda semanticheskogo differenciala dlya analiza otnosheniya kursantov, studentov i slushatelej FGBOU VO «Sankt-Peterburgskij universitet GPS MCHS Rossii» k himicheskim disciplinam // Podgotovka kadrov v sisteme preduprezhdeniya i likvidacii posledstvij chrezvychajnyh situacij: v sb. mat. Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. SPb.: S.-Peterb. un-t GPS MCHS Rossii, 2018. С. 189–194.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

**Ахунова Дарья Геннадьевна** – магистрант СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149);

**Балобанов Андрей Александрович** – адъюнкт фак-та подгот. кадров высш. квалификации СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149);

**Баскин Юрий Григорьевич** – проф. каф. пож. авар.-спас. техн. и авт. хоз-ва СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), д-р пед. наук, проф., засл. работник высш. шк. РФ;

**Буйневич Михаил Викторович** – проф. каф. прикл. мат. и информ. технол. СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), д-р техн. наук, проф.;

**Бобринев Евгений Васильевич** – вед. науч. сотр. отд. ресурс. пож. охраны и психол. исслед. Всерос. Ордена «Знак Почета» науч.-исслед. ин-та противопож. обороны МЧС России (143903, Московская обл., г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, д. 12), e-mail: bobrinev2002@mail.ru., канд. биол. наук, ст. науч. сотр.;

**Брусянин Дмитрий Владимирович** – доц. каф. пож. авар.-спас. техн. и авт. хоз-ва СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), канд. техн. наук;

**Бугайченко Павел Юрьевич** – препод. каф. упр. орг.-техн. систем. космич. назнач. Воен.-космич. акад. им. А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, д. 13), канд. воен. наук;

**Веджижев Магомед Иссаевич** – адъюнкт фак-та подгот. кадров высш. квалификации СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149);

**Воронин Сергей Владимирович** – доц. каф. пож. безопасн. и технол. проц. и пр-в СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), канд. техн. наук, доц.;

**Вострых Алексей Владимирович** – магистрант СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149);

**Габриэль Павел Олегович** – магистр каф. хим. энергетики СПб гос. технол. ин-та (техн. ун-та) (190013, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 26);

**Гайдукевич Александр Евгеньевич** – ст. инж.-програм. отд. информ. и програм. центра информ. и коммуникац. технол. СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149);

**Галишев Михаил Алексеевич** – проф. каф. криминал. и инж.-техн. эксперт. СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), д-р техн. наук, проф.;

**Гвоздева Нина Валерьевна** – учитель англ. яз. ГБОУ ср. шк. № 27 им. И.А. Бунина (199034, Санкт-Петербург, 10 линия В.О., д. 1/15, лит. А);

**Горбунов Алексей Александрович** – магистрант Акад. ГПС МЧС России (129366, Москва, ул. Бориса Галушкина, д. 4), канд. воен. наук, доц.;

**Дали Фарид Абдулалиевич** – доц. каф. пож. безопасн. зданий и автоматиз. систем пожаротушения СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), канд. техн. наук, доц.;

**Завирский Станислав Владимирович** – зам. нач. упр. – нач. отд. формир. культуры безопасн. жизнедеят. нас., подгот. руковод. состава упр. гр. защ. ГУ МЧС России по г. СПб (190000, Санкт-Петербург, наб. р. Мойки, д. 85);

**Ивахнюк Григорий Константинович** – проф. каф. пож. безопасн. технол. проц. и пр-в СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), зав. каф. инж. защ. окр. среды СПб гос. технол. ин-та (техн. ун-та) (190013, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 26), e-mail: fireside@mail.ru, д-р хим. наук, проф.;

**Кондашов Андрей Александрович** – вед. науч. сотр. отд. ресурс. пож. охраны и психол. исслед. Всерос. Ордена «Знак Почета» науч.-исслед. ин-та противопож. обороны МЧС России (143903, Московская обл., г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, д. 12), e-mail: akond2008@mail.ru., канд. физ.-мат. наук;

**Королева Людмила Анатольевна** – зам. нач. каф. пож., авар.-спас. техн. и авт. хоз-ва СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: lyudamil@mail.ru, канд. техн. наук, доц.;

**Корольков Анатолий Павлович** – проф. каф. систем. анализа и антикризис. упр. СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), канд. техн. наук, проф., почет. работник высш. шк. РФ;

**Крейтор Владимир Петрович** – зав. каф. сервис. безопасн. СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), канд. техн. наук, проф.;

**Крюкова Марина Сергеевна** – зам. нач. каф. высш. мат. и систем. моделир. слож. проц. СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149);

**Кубуша Александр Владимирович** – ст. препод. каф. упр. орг.-техн. систем. космич. назнач. Воен.-космич. акад. им. А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, д. 13), канд. воен. наук;

**Кузьмин Анатолий Алексеевич** – доц. каф. физ.-техн. основ обеспеч. пож. безопасн. СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), канд. пед. наук, доц.;

**Кузьмина Татьяна Анатольевна** – доц. каф. пож. безопасн. технол. проц. и пр-в СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), канд. пед. наук;

**Кухарев Александр Александрович** – зам. нач. отд. эксперт. пож. и орг. подгот. экспертов Исслед. центра эксперт. пож. СПб ун-та ГПС МЧС России (193079, Санкт-Петербург, Октябрьская наб., д. 35);

**Лабинский Александр Юрьевич** – доц. каф. прикл. мат. и информ. технол. СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), канд. техн. наук, доц.;

**Лобова Софья Федоровна** – ст. науч. сотр. отд. инновац. и информ. технол. в эксперт. пож. Исслед. центра эксперт. пож. СПб ун-та ГПС МЧС России (193079, Санкт-Петербург, Октябрьская наб., д. 35);

**Макарова Дарья** – магистрант СПб горного ун-та (199106, Санкт-Петербург, В.О., 21 линия, д. 2);

**Медведева Людмила Владимировна** – зав. каф. физ.-техн. основ обеспеч. пож. безопасн. СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), д-р пед. наук, проф., засл. работник высш. шк. РФ;

**Мельник Ольга Евгеньевна** – ст. науч. сотр. ЦОНИиРД СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), канд. пед. наук;

**Мурзин Сергей Михайлович** – препод. каф. упр. в кризис. ситуациях Урал. ин-та ГПС МЧС России (620062, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 22), email: sergeymurzin1981@gmail.com;

**Невмержицкий Николай Владимирович** – ст. препод. каф. пож. безопасн. технол. процессов и пр-в СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), канд. техн. наук;

**Нефедьев Сергей Аркадьевич** – проф. каф. пож. безопасн. технол. процессов и пр-в СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), д-р воен. наук, проф.;

**Папырин Владимир Владимирович** – нач. отд. перспектив. разраб. и инновац. технол. в обл. безопасн. жизнедеят. Науч.-исслед. ин-та перспектив. исслед. и науч. технол. в обл. безопасн. жизнедеят. СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), канд. юрид. наук;

**Пелех Михаил Теодозиевич** – доц. каф. пож. безопасн. и технол. проц. и пр-в СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), канд. техн. наук, доц.;

**Пермяков Алексей Александрович** – доц. каф. физ.-техн. основ обеспеч. пож. безопасн. СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), канд. пед. наук;

**Принцева Мария Юрьевна** – зам. нач. отд. инструмент. метод. и техн. средств эксперт. пож. Исслед. центра эксперт. пож. СПб ун-та ГПС МЧС России (193079, Санкт-Петербург, Октябрьская наб., д. 35), канд. техн. наук;

**Родин Александр Константинович** – магистрант СПб горного ун-та (199106, Санкт-Петербург, В.О., 21 линия, д. 2);

**Рязанов Андрей Анатольевич** – ст. препод. каф. упр. в кризис. ситуациях Урал. ин-та ГПС МЧС России (620062, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 22), email: mmyaso22@gmail.com;

**Савчук Олег Николаевич** – проф. каф. сервис безопасн. СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), тел. (812) 369-25-85, e-mail: savchuk.o@igprs.ru, канд. техн. наук, проф., засл. работник высш. шк. РФ, почет. проф. ун-та;

**Сапелкин Артем Иванович** – адъюнкт фак-та подгот. кадров высш. квалификации СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149);

**Свидзинская Галина Борисовна** – доц. каф. физ.-хим. основ проц. горения и тушения СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), канд. хим. наук, доц.;

**Северин Николай Николаевич** – нач. каф. огневой подгот. Белгород. юр. ин-та МВД России им. И.Д. Путилина (308024, г. Белгород, ул. Горького, д. 71), e-mail: Severin-belui@yandex.ru, д-р пед. наук, проф.;

**Сидоров Владимир Константинович** – науч. сотр. отд. перспектив. разработ. и инновац. технол. в обл. безопасн. жизнедеят. Науч.-исслед. ин-та перспектив. исслед. и науч. технол. в обл. безопасн. жизнедеят. СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149);

**Скрипник Игорь Леонидович** – проф. каф. пож. безопасн. технол. процессов и пр-в СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), канд. техн. наук, доц.;

**Скурацова Ксения Андреевна** – обуч. инж.-техн. фак-та СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149);

**Скуртул Игорь Владимирович** – магистрант СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149);

**Сысоева Татьяна Павловна** – ст. науч. сотр. Исслед. центра эксперт. пож. СПб ун-та ГПС МЧС России (193079, Санкт-Петербург, Октябрьская наб., д. 35), канд. техн. наук;

**Тарасова Надежда Сергеевна** – курсант инж.-техн. фак-та СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149);

**Терехин Сергей Николаевич** – проф. каф. пож. безопасн. зданий и автоматиз. систем пожаротушения СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), д-р техн. наук, доц.;

**Трофимец Елена Николаевна** – доц. каф. высш. мат. и систем. моделир. слож. проц. СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), канд. пед. наук, доц.;

**Фахми Шакиб Субхиевич** – проф. каф. высш. мат. и систем. моделир. слож. проц. СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), вед. науч. сотр. лаб. проблем интеллект. транспорт. систем им. Н.С. Соломенко РАН; проф. каф. САПР СПб гос. электро-техн. ун-та «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), д-р техн. наук;

**Удавцова Елена Юрьевна** – ст. науч. сотр. отд. ресурс. пож. охраны и психол. исслед. Всерос. Ордена «Знак Почета» науч.-исслед. ин-та противопож. обороны МЧС России (143903, Московская обл., г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, д. 12), e-mail: udavtemp@mail.ru.;

**Хайдаров Андрей Геннадьевич** – доц. каф. бизнес-информ. СПб гос. технол. ин-та (техн. ун-та) (190013, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 26), e-mail: andreyhaydarov@gmail.com, канд. техн. наук, доц.;

**Шаптала Вадим Владимирович** – доц. каф. информ. технол. Белгород. гос. технол. ун-та им. В.Г. Шухова (308012, г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46), e-mail: shaptalavadim@yandex.ru, канд. техн. наук, доц.;

**Шафигуллин Ильдар Шайхутдинович** – доц. каф. упр. орг.-техн. систем. космич. назнач. Воен.-космич. акад. им. А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, д. 13), канд. техн. наук, доц.;

**Шепелюк Сергей Иванович** – проф. каф. защ. нас. и тер. СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), канд. воен. наук, доц.;

**Шидловский Григорий Леонидович** – нач. каф. пож. безопасн. зданий и автоматиз. систем пожаротушения СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), канд. техн. наук, доц.;

**Шифф Виктор Куртович** – ст. науч. сотр. Воен.-космич. акад. им. А.Ф. Можайского (197198, Санкт-Петербург, ул. Ждановская, д. 13), канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр.