

В ЭТОМ НОМЕРЕ:**ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ**

О ТАКТИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЯХ ЗВЕНЬЕВ ГАЗОДЫМОЗАЩИТНОЙ СЛУЖБЫ СПАСЕНИЯ ПОСТРАДАВШИХ В ТОРГОВО-РАЗВЛЕКАТЕЛЬНЫХ ЦЕНТРАХ <i>Степанов О. И., Зайцева Е. Е., Стахеев М. В., Худякова С. А.....</i>	3
АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНЫЙ (ЭВАКУАЦИОННЫЙ) СТЫКОВОЧНЫЙ МОБИЛЬНЫЙ ЛИФТ <i>Калач А. В., Тарарыкин А. М., Порхачев М. Ю., Сотников Д. И.....</i>	11
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВРЕМЕННОГО РЯДА ГИБЕ- ЛИ ЛЮДЕЙ ПРИ ПОЖАРАХ НА ТЕРРИТОРИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ <i>Кайбичев И. А., Кайбичева Е. И.....</i>	16
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ИНЖЕНЕРНО- ТЕХНИЧЕСКОГО РЕШЕНИЯ СНИЖАЮЩЕГО ВОЗДЕЙСТВИЕ ОПАСНЫХ ФАКТОРОВ ПОЖАРА ПРОЛИВА НА ЛИНЕЙНОЙ ЧАСТИ МАГИСТРАЛЬНОГО НЕФТЕПРОВОДА <i>Назаров В. П., Артемов А. С., Кокорин В. В., Шахманов Ф.Ф.....</i>	31
РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ <i>Киселев В. В., Топоров А. В., Пучков П. В., Яковенко Т. А., Топорова Е. А.....</i>	37
УПРАВЛЕНИЕ ПРОФИЛАКТИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ НА ОСНОВЕ МАТРИЧНОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ РИСКОВ <i>Прус Ю. В., Чистякова А. А., Россинская К. Г.....</i>	42
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ПОЖАРНОГО РИСКА ДЛЯ ЗДАНИЙ, СООРУЖЕНИЙ И ПОЖАРНЫХ ОТСЕКОВ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ Ф1.2, Ф2-Ф4 С ПОМОЩЬЮ УЧЕТА В ПРОЦЕССЕ РАСЧЕТА НАЛИЧИЯ ПРОТИВОПОЖАРНЫХ ДВЕРЕЙ <i>Тряпицын А. Б., Полунин Г. А.....</i>	50
МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ ГОРЮЧЕЙ СРЕДЫ НА ОСНОВЕ ВЕЩЕСТВ, ОБРАЩАЮЩИХСЯ НА ОБЪЕКТАХ НЕФТЕГАЗОВОГО КОМПЛЕКСА <i>Калач А. В., Черепашин А.М., Калач Е. В.....</i>	57
ИЗУЧЕНИЕ ЭКСТРАКТИВНЫХ КОМПОНЕНТОВ КОПОТИ ПОСЛЕ ГОРЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ В ПРИСУТСТВИИ ГОРЮЧИХ ЖИДКОСТЕЙ МЕТОДОМ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ <i>Медведев А. Ю., Косенко Д. В., Дементьев Ф. А., Ожегов Э. А.....</i>	62

**ДИАГНОСТИКА ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПОЖАРА НА
ОГНЕЗАЩИТНЫЕ ПОКРЫТИЯ ИНТУМЕСЦЕНТНОГО ТИПА
МЕТОДАМИ ТЕРМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА**

Беззапонная О. В., Пискашева А. С., Ефимов И. А., Выгузова Е. В., Глухих П. А..... 72

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО
РАЗВИТИЯ СВЕРДЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ, ВЛИЯЮЩИХ
НА ПОЖАРНУЮ БЕЗОПАСНОСТЬ РЕГИОНА**

*Кайбичев И. А., Тужиков Е. Н., Первалов А. С.,
Синякова М. Г., Боронина Л. Н..... 81*

ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

УДК 614.842.6

*hudyakovac@mail.ru***О ТАКТИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЯХ ЗВЕНЬЕВ
ГАЗОДЫМОЗАЩИТНОЙ СЛУЖБЫ СПАСЕНИЯ ПОСТРАДАВШИХ
В ТОРГОВО-РАЗВЛЕКАТЕЛЬНЫХ ЦЕНТРАХ****ABOUT THE TACTICAL POSSIBILITIES OF THE GAS AND SMOKE
PROTECTION SERVICE UNITS FOR RESCUE VICTIMS IN SHOPPING MALLS**

*Степанов О. И., Зайцева Е. Е.,
Главное управление МЧС России по Ханты-Мансийскому
автономному округу – Югре, Ханты-Мансийск,
Стахеев М. В., Худякова С. А., кандидат педагогических наук,
Уральский институт ГПС МЧС России, Екатеринбург*

*Stepanov O. I., Zaitceva E. E.,
Main Department of EMERCOM of Russia
on Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug – Ugra, Khanty-Mansiysk,
Stakheev M. V., Khudiakova S. A.,
The Ural Institute of State Firefighting Service of Ministry
of Russian Federation for Civil Defense, Yekaterinburg*

Сформулирована необходимость исследования тактических возможностей личного состава и звеньев газодымозащитной службы. Предложен порядок проведения опытов со звеньями газодымозащитной службы по выявлению предельных возможностей спасения пострадавших. Изложены результаты опытной части пожарно-тактических учений в здании торгово-развлекательного центра. Зафиксированы и приведены результаты замера параметров работы звеньев газодымозащитной службы при проведении пожарно-тактического учения. Сформулированы заключения о расширении тактических возможностей звеньев газодымозащитной службы с учетом применения средств спасения пострадавших. Приведено сравнение результатов работы звеньев газодымозащитной службы в различном составе сил и средств. Приведены выводы о направлениях дальнейшего исследования оперативно-тактических действий звеньями газодымозащитной службы.

Ключевые слова: пожаротушение, позиция по тушению, газодымозащитная служба, спасение, эвакуация, опасные факторы пожара.

The necessity of research the tactical possibilities of personnel and gas and smoke protection service units is formulated. A procedure is proposed for carrying out experiments with gas and smoke protection service units to identify the limit possibilities to rescue victims. The results of the fire-tactical training experiment in shopping mall are presented. The parameters of the work of gas and smoke protection service units during the fire-tactical training were recorded and presented in the article. The previously obtained information on the possibilities of gas and smoke protection service units to rescue victims was supplemented. The conclusions on expanding the tactical possibilities of gas and smoke protection service units are formulated, taking into account the use of rescue tools. Comparison of the results of the work of gas and

smoke protection service units of different assignment is given. Conclusions on the directions for further research on operational-tactical actions by gas and smoke protection service units are given.

Keywords: firefighting, extinguishing position, gas and smoke protective service, rescue, evacuation, dangerous factors of fire.

Наиболее эффективными позициями по тушению пожара, с точки зрения спектра выполняемых задач на месте пожара, являются звенья газодымозащитной службы (ГДЗС). Именно эти позиции способны проводить эффективную эндогенную разведку пожара, поскольку осуществляют проникновение внутрь объекта пожара и непосредственное воздействие на зону горения в условиях недоступной для дыхания среды и воздействия опасных факторов пожара [1]. Силы и средства пожарно-спасательных подразделений на месте пожара формируют систему управления, которая включает данные позиции по тушению, которые и являются исполнительными элементами всей системы [2].

Исследования тактических возможностей газодымозащитников в целом звеньев ГДЗС являются необходимыми

для понимания начальником караула (подразделения) возможностей оперативных отделений в общем.

В качестве практического аппарата исследования тактических возможностей звеньев ГДЗС выступают пожарно-тактические учения (ПТУ) и занятия по решению пожарно-тактических задач (ПТЗ) [3]. Правильно спланированные и проведенные ПТУ, ПТЗ позволят прийти к пониманию предельных возможностей каждого оперативного отделения пожарно-спасательного подразделения.

В целях исследования тактических возможностей звеньев ГДЗС в г. Ханты-Мансийске 9.08.2019 проведено комплексное ПТУ в здании торгово-развлекательного центра «Галактика», входящего в комплекс торговых центров «Сатурн» и «Меридиан».



Рисунок 1. Расположение ТРЦ «Галактика» в г. Ханты-Мансийске

Для тушения объекта привлекаются силы и средства Ханты-Мансийского пожарно-спасательного гарнизона в составе 2 пожарно-спасательных подразделений и 2 аварийно-спасательных формирований:

– 4 отделения на автоцистернах пожарных (АЦ);

– 1 отделение на пожарном коленчатом подъемнике (АКП);

– 2 расчета на аварийно-спасательных машинах (АСМ).

Исследования ранее произошедших пожаров в торгово-развлекательных центрах показали, что звенья ГДЗС весьма ограничены в возможности спасения пострадавших, особенно при необходи-

мости массового спасения. Звенья ГДЗС, в основном, ограничены по самому важному исчерпываемому ресурсу – запасу воздуха в дыхательном аппарате (ДАСВ). Этот ресурс является определяющим и наиболее показательным при анализе работы звеньев ГДЗС.

При планировании ПТУ, в рамках опытной составляющей, были поставлены задачи по установлению предельных параметров работы звеньев ГДЗС на аналогичных объектах по «времени работы» и «количеству спасаемых пострадавших».

На каждое работающее звено было выделено 5 статистов, имитировавших пострадавших без сознания. При проведении операций по спасению привлекались звенья ГДЗС из 2, 3 и 4 человек.

Пострадавшие располагались группами по 5 человек на втором этаже здания, расстояние от места включения звена ГДЗС до места расположения пострадавших составляло не менее 70 м с учетом лестничных маршей (Рисунки 2, 3).



Рисунок 2. Размещение пострадавших на объекте условного пожара

Структура звена ГДЗС достаточно подробно регламентирована в нормативных документах [4], поэтому при плани-

ровании ПТУ сравнивались звенья в соответствующем составе газодымозащитников.

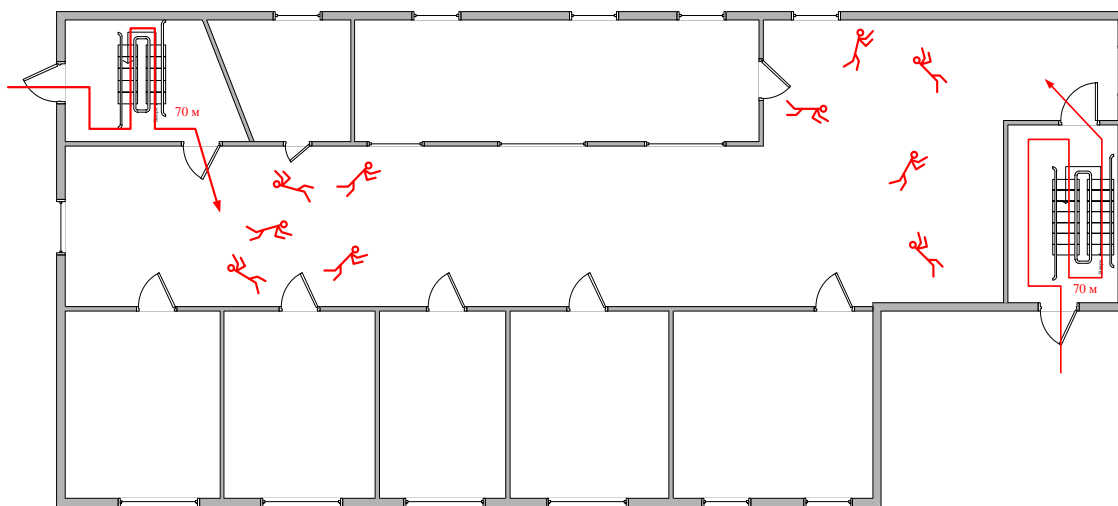


Рисунок 3. Схема расположения пострадавших с привязкой к выходам, с которых работают звенья ГДЗС

Звенья ГДЗС, помимо штатного снаряжения, оснащались специально разработанными средствами спасения по-

страдавших. 2 звена ГДЗС первого прибывшего подразделения оснащались:

– спасательными петлями (петлями с карабинами) [5, 6] (Рисунок 4);

– скатками противопожарных (спасательных) покрывал (носилок) [7, 8] (Рисунок 5).



Рисунок 4. Примеры спасательных петель, применявшихся при ПТУ

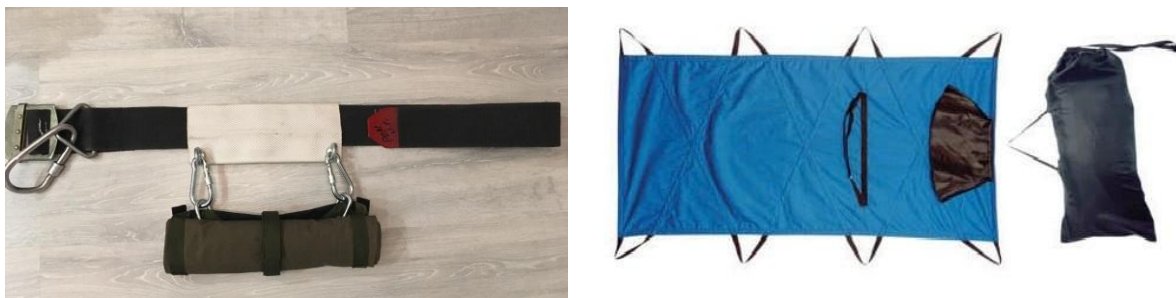


Рисунок 5. Примеры спасательных полотен (носилок [7]), применявшихся при ПТУ

Остальные звенья ГДЗС проводили действия без применения средств спасения пострадавших, но с минимальным перечнем оснащения звена.

Схема размещения пострадавших на 2-м этаже объекта условного пожара и зоны работы звеньев ГДЗС на объекте представлена на рисунке 6.

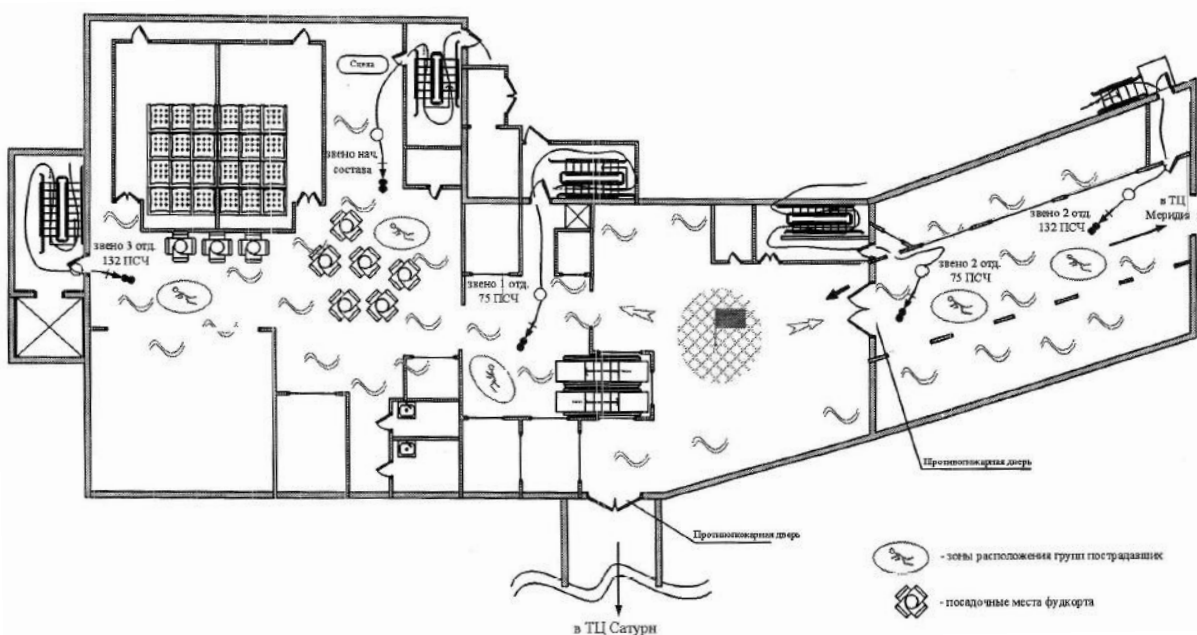


Рисунок 6. Размещение пострадавших на 2-м этаже ТРЦ

За каждым звеном закреплялся ответственный хронометрист, фиксировав-

ший общее время работы звена от момента включения в ДАСВ до момента выноса

последнего пострадавшего, которого смогло спасти контролируемое звено ГДЗС.

Итоговое время фиксировалось по выносу на свежий воздух последнего спасенного из расположенных пострадавших или по выключению звена ГДЗС из-за

первого срабатывания звукового сигнала ДАСВ.

Результаты работы звеньев ГДЗС сведены в таблицу и позволяют сделать выводы о тактических возможностях звеньев в различном составе сил и с применением средств спасения пострадавших.

Таблица

Результаты работы звеньев ГДЗС в различном составе

Кол-во человек в звене	Среднее давление при включении, атм.	Среднее время проведения действий, мин, сек	Среднее количество спасенных	Среднее давление при завершении действий, атм.	Наличие средств спасения
2	289	12,11	5	60	есть
2	282	13,32	3	53	нет
3	291	14,13	3	63	нет
4	288	07,22	5	160	нет

В результате опытов установлено, что средняя предельная дистанция передвижения по объекту пожара (при проведении спасательной операции) составляет не более 200 м. При этом среднее предельное время работы газодымозащитников не более 13 мин [9, 10].

Скорость продвижения газодымозащитников составляла значения в диапазоне 10–13 м/мин при условии смешанного передвижения с пострадавшим и без него.

Следует понимать, что в ДАСВ, которые оснащены спасательными устройствами, время работы газодымоза-

щитников сократится до значений 9–11 минут.

Отмечается, что эффективность работы звеньев ГДЗС, оснащенных спасательными петлями (покрывалами и гибкими носилками), в 1,5–2 раза выше по параметрам «количество вынесенных пострадавших» и «время проведения спасательной операции», чем звеньев, имеющих лишь минимальный перечень оснащённости звена ГДЗС.

Работа звеньев из 2 газодымозащитников с указанным оборудованием также более эффективна, чем применение звеньев из 3 и более газодымозащитников без средств спасения (Рисунок 7, 8).

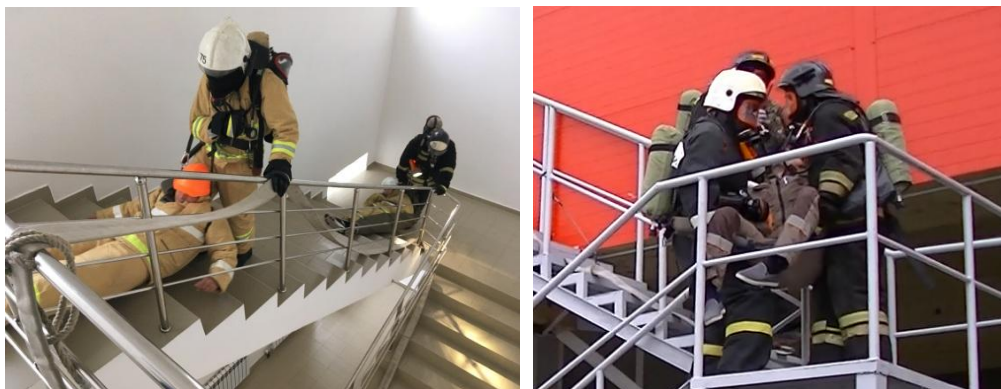


Рисунок 7. Спасение пострадавших звеньями из 2 (слева) и 3 (справа) газодымозащитников



Рисунок 8. Передача пострадавших расчетам скорой помощи

Исследования параметров работы звеньев ГДЗС являются фундаментальной основой для понимания руководителями тушения пожаров фактических тактических возможностей подчиненных оперативных отделений пожарно-спасательных подразделений. С учетом применения современных средств подачи огнетушащих веществ (автоматические ручные пожарные стволы, стволы высокого давления), на первые позиции среди характеристик, определяющих тактические возможности пожарно-спасательных подразделений, выходит именно время задействования сил и средств ГДЗС.

Исследования показали, что проводимый на стадии планирования боевых действий пожарно-спасательных подразделений расчет сил и средств для торгово-развлекательных центров должен содержать расчет (результат замера) предельных параметров работы звеньев ГДЗС на месте пожара.

Тактические возможности звена ГДЗС, даже в идеальных условиях (полной видимости, компактного расположения пострадавших и доступности эвакуационных путей), не превышают 3–5 спасаемых человек, а при условии отсутствия на вооружении спасательных петель, веревок и носилок (полотен) не превы-

шают 2–3 человек.

Пути расширения возможностей сил и средств ГДЗС во многих отечественных и зарубежных подразделениях (формированиях) приняты [7, 8, 11–15]:

- внедрение в систему подготовки личного состава ГДЗС комплексов занятий практической направленности с максимально возможным воспроизведением условий среды реального пожара (нулевая видимость, работа в аутентичными по массогабаритным параметрам манекенами, узкие, протяженные и сложные преодолеваемые препятствия, опасные факторы пожара);

- применение систем спасания (безранцевый аварийный ДАСВ, RIT bag);

- отработка приемов оказания помощи газодымозащитнику в непригодной для дыхания среде, а также приемов, связанных с аварийным обеспечением пострадавших газодымозащитников воздухом;

- применение средств спасания пострадавших (спасательные петли (петли с карабинами), скатки противопожарных (спасательных) покрывал (носилки)).

Внедрение лишь части из указанных средств и методик позволяет повысить эффективность звеньев ГДЗС на 50–100 %.

1. Степанов О. И., Денисов А. Н., Стахеев М. В. Создание позиций по тушению при управлении пожаротушением в зданиях низкой устойчивости при пожаре // Техносферная безопасность. 2018. № 4 (21). С. 10–17. URL: <https://www.uigps.ru/userfls/ufiles/nauka/journals/tb/tb21/2.pdf>.
2. Денисов А. Н., Степанов О. И. Структура системы управления пожарно-спасательными подразделениями на начальном этапе пожаротушения // Технологии техносферной безопасности. 2017. № 3 (73). С. 3–7.
3. Приказ МЧС России от 26.10.2017 № 472 «Об утверждении Порядка подготовки личного состава пожарной охраны».
4. Приказ МЧС России от 09.01.2013 № 3 «Об утверждении Правил проведения личным составом федеральной противопожарной службы Государственной противопожарной службы аварийно-спасательных работ при тушении пожаров с использованием средств индивидуальной защиты органов дыхания и зрения в непригодной для дыхания среде».
5. Универсальная спасательная петля. Рекомендации. Методика использования. М., 2018. 49 с.
6. Голубев С. Г. Учебник для рядового состава пожарной охраны. Ленинград, 1938.
7. Степанов О. И. Спасательное покрывало: патент на изобретение № 2696758.
8. Кабелев Н. А. Пожарная разведка: тактика, стратегия и культура. Екатеринбург, 2016. 348 с.
9. Тужиков Е. Н. Экспериментальная проверка эффективности управления звеньями газодымозащитной службы при внедрении датчиков неподвижного состояния // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2018. 45 (4). С. 124–132.
10. Степанов О. И., Стахеев М. В. Исследование реализации тактического потенциала сил и средств газодымозащитной службы при решении оперативных задач по тушению пожаров в зданиях IV–V степени огнестойкости // Техносферная безопасность. 2016. № 1 (10). С. 26–32.
11. Легошин М. Ю. и др. Практическая подготовка пожарных и спасателей в современных учебно-тренировочных комплексах: электронное учебное пособие ФГБОУ ВО ИПСА ГПС МЧС России, 2017. 213 с.
12. Приказ Главного управления МЧС России по Курской области от 11.02.2019 № 63 «Об организации работы по подготовке и проведению открытых соревнований, посвященных пожарным и спасателям, погибшим при исполнении своего профессионального долга, на звание «Лучшее звено аварийной разведки и спасения пожарных» и «Лучшая команда аварийной разведки и спасения пожарных» имени Петра Станкевича».
13. Михаэль Р. Мэсон, Джеффри С. Пиндельски. Аварийная разведка и спасение пожарных (АРИСП) в США. Делмар, 2006 г. / сокр. пер. ГБУ АО «Служба спасения им. И. А. Поливаного».
14. Corbett G. P. Fire Engineering's Handbook for Firefighter I and II. Tulsa, 2009. 1200 p.
15. Schottke D. Fundamentals of Fire Fighter Skills, 3 edition. Burlington, 2012. 1103 p.

References

1. Stepanov O. I., Denisov A. N., Stakheev M. V. Sozdanie pozitsij po tusheniyu pri upravlenii pozharotusheniem v zdaniyakh nizkoj ustojchivosti pri pozhare // Tekhnosfernaya bezopasnost'. 2018. № 4 (21). P. 10–17. URL: <https://www.uigps.ru/userfls/ufiles/nauka/journals/tb/tb21/2.pdf>.
2. Denisov A. N., Stepanov O. I. Struktura sistemy upravleniya pozharo-spasatel'nymi podrazdeleniyami na nachal'nom etape pozharotusheniya // Tekhnologii tekhnosfernoj bezopasnosti. 2017. № 3 (73). P. 3–7.
3. Prikaz MCHS Rossii ot 26.10.2017 № 472 «Ob utverzhenii Poryadka podgotovki lichnogo sostava pozharnoj ohrany».
4. Prikaz MCHS Rossii ot 09.01.2013 № 3 «Ob utverzhenii Pravil provedeniya lichnym sostavom federal'noj protivopozharnoj sluzhby Gosudarstvennoj protivopozharnoj sluzhby avarijno-spasatel'nyh rabot pri tushenii pozharov s ispol'zovaniem sredstv individual'noj zashchity organov dyhaniya i zreniya v neprigodnoj dlya dyhaniya srede».
5. Universal'naya spasatel'naya petlya. Rekomendacii. Metodika ispol'zovaniya. M., 2018. 49 p.
6. Golubev S. G. Uchebnik dlya ryadovogo sostava pozharnoj ohrany. Leningrad, 1938.
7. Stepanov O. I. Spasatel'noe pokryvalo: patent na izobretenie № 2696758.
8. Kabelev N. A. Pozharnaya razvedka: taktika, strategiya i kul'tura. Ekaterinburg, 2016. 348 p.
9. Tuzhikov E. N. Eksperimental'naya proverka effektivnosti upravleniya zven'yami gazodymozashchitnoj sluzhby pri vnedrenii datchikov nepodvizhnogo sostoyaniya // Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskie nauki. 2018. 45 (4). P. 124–132.
10. Stepanov O. I., Stakheev M. V. Issledovanie realizacii takticheskogo potentziala sil i sredstv gazodymozashchitnoj sluzhby pri reshenii operativnykh zadach po tusheniyu pozharov v zdaniyah IV–V stepeni ognestojkosti // Tekhnosfernaya bezopasnost'. 2016. № 1 (10). P. 26–32.
11. Legoshin M. YU. et al. Prakticheskaya podgotovka pozharnyh i spasatelej v sovremennyh uchebno-trenirovochnykh kompleksah: elektronnoe uchebnoe posobie FGBOU VO IPSA GPS MCHS Rossii, 2017. 213 p.

12. Приказ Главного управления МЧС России по Курской области от 11.02.2019 №63 «Об организации работы по подготовке и проведению открытых соревнований, посвященных пожарным и спасателям, погибшим при исполнении своего профессионального долга, на звание «Лучшее звено аварийно-разведки и спасения пожарных» и «Лучшая команда аварийно-разведки и спасения пожарных» имени Петра Станкевича».

13. Mihael' R. Mason, Dzheffri S. Pindel'ski. Avarijnaya razvedka i spasenie po-zharnyh (ARISP) v SSHA. Delmar, 2006 g. GBU AO «Sluzhba spaseniya im. I. A. Polivanogo».

14. Corbett G. P. Fire Engineering's Handbook for Firefighter I and II. Tulsa, 2009. 1200 p.

15. Schottke D. Fundamentals of Fire Fighter Skills, 3 edition. Burlington, 2012. 1103 p.

УДК 614.84

avkalach@gmail.com

**АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНЫЙ (ЭВАКУАЦИОННЫЙ)
СТЫКОВОЧНЫЙ МОБИЛЬНЫЙ ЛИФТ****EMERGENCY RESCUE (EVACUATION)
DOCKING MOBILE ELEVATOR**

*Калач А. В., доктор химических наук, профессор,
Воронежский государственный технический университет, Воронеж,
Тарарыкин А. М., Порхачев М. Ю., кандидат педагогических наук, доцент,
Уральский институт ГПС МЧС России, Екатеринбург,
Сотников Д. И., Воронежский институт – филиал ФГБОУ ВО «Ивановская
пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России», Воронеж*

*Kalach A. V., Voronezh State Technical University, Voronezh
Tararikin A. M., Porkhachev M. Yu.,
The Ural Institute of State Firefighting Service of Ministry
of Russian Federation for Civil Defense, Yekaterinburg
Sotnikov D. I., Voronezh Institute – branch of Ivanovsky Fire
and Rescue Academy of the Ministry of Emergencies of Russia, Voronezh*

В статье описана конструкция устройства мобильного передвижного лифта на специальном автомобиле, причем, лифт предполагает наличие специальных стыковочных рельс и механизма, обеспечивающих его движение в вертикальной плоскости высокоэтажного здания. Разработанное устройство предлагается применять для эвакуации при пожаре из многоэтажных зданий с целью снижения гибели и травматизма в результате несвоевременной эвакуации людей из зданий и сооружений.

Ключевые слова: эвакуация, пожар, пожарная безопасность, лифт, многоэтажное здание.

The article describes the design of the mobile elevator device on a special car. At the same time, the elevator assumes the presence of special docking rails and a mechanism ensuring its movement in the vertical plane of the high-rise building. The developed device is proposed to be used for evacuation in case of fire from multi-storey buildings in order to reduce deaths and injuries as a result of untimely evacuation of people from buildings and structures.

Keywords: evacuation, fire, fire safety, elevator, high-rise buildings.

В Российской Федерации остается высоким уровень риска возникновения чрезвычайных ситуаций различного генезиса. При этом степень тяжести последствий возникающих чрезвычайных ситуаций возрастает: увеличивается материальный и финансовый ущерб, сохраняются значительные санитарные и безвозвратные потери населения и наносится

непоправимый вред объектам окружающей среды [1].

В связи с этими фактами проблема предупреждения, ликвидации и смягчения последствий чрезвычайных ситуаций является актуальной. Кроме того, обеспечение требуемого уровня пожарной безопасности представляет собой одну из важнейших составляющих национальной

безопасности страны. Среди очевидной проблемы обеспечения требуемого уровня пожарной безопасности, подлежащей разрешению, остается повышение эффективности действий подразделений по-

жарной охраны различных видов. Современная тенденция строительства новых городских районов предполагает создание многоэтажных жилых и многофункциональных зданий [1–7].

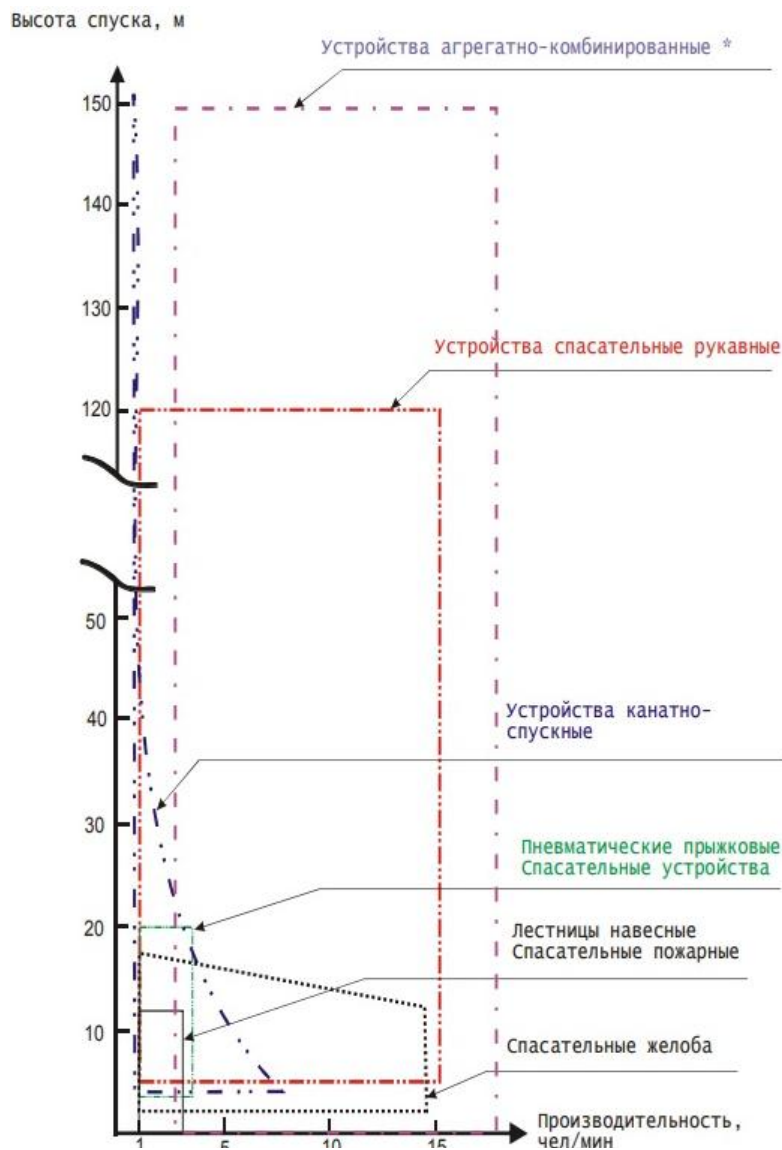


Рисунок 1. Предлагаемые области применения устройств спасения с различных высот [8]

В последние годы некоторые крупные пожары, возникавшие в высотных зданиях на территории Российской Федерации, ликвидировать традиционными методами и средствами не всегда удавалось. Результатом этого служило полное разрушение зданий и сооружений,

а также массовая гибель людей. В связи с этим проблема эвакуации людей при пожарах из высотных зданий стоит крайне остро, необходима разработка и совершенствование стратегии эвакуации людей из конкретного здания.

Кроме того, каждому жильцу дома, оказавшемуся заложником чрезвычайной ситуации (например, пожара в многоэтажном здании), важно чувствовать уверенность в обеспечении собственной безопасности.

Зачастую доступные средства спасения представляют собой единственную возможность осуществления безопасной эвакуации людей из зоны ЧС. В настоящее время решение этой проблемы возможно следующими двумя путями.

Первый – заключается в создании специальных технических средств, функционирующих на внешних источниках энергии. К таким системам относятся автоподъемники, автолестницы, фасадные лифты, специализированные мобильные спасательные системы и летательные аппараты.

Второй путь связан с созданием специальных технических средств, функционирующих на принципе плавного снижения энергии падения массы груза с высоты.

К этой группе средств относят канатно-спускные устройства, рукавные спасательные системы и амортизирующие прыжковые спасательные устройства. Возможные области применения специальных технических средств спасения с различных высот представлены на рис. 1 [8, 9].

Современные методы возможной эвакуации из зданий повышенной этажности включают вертолетные платформы; автоматические канатно-спускные устройства; пожарные спасательные рукава; специальные пожарные лестницы; лестницы стационарные, навесные не задымляемые; прыжковые пневматические уст-

ройства; комплекты спасательного снаряжения с высоты; натяжные полотна; спасательные трапы [8]. Прыжковые спасательные устройства применимы лишь для снижения энергии падения с высоты людей при пожарах и других аварийных ситуациях. Однако при использовании спасательных устройств данного типа велика вероятность травматизма людей, в связи с чем применение допускается только в исключительных случаях при отсутствии или недостатке других спасательных средств.

Главной причиной летальных последствий при пожарах в высотных зданиях является блокирование маршрутов эвакуации продуктами горения и огнем. Людей, оказавшихся заложниками огненной стихии, обычно могут спасти только подъемники и лестницы, достающие до верхних этажей, или вертолеты, но если есть возможность у жильцов выбраться на крышу здания. Многоэтажные здания характеризуются быстрым развитием пожара вдоль вертикального направления и интенсивным задымлением верхних этажей, а также повышенной сложностью обеспечения эвакуации и проведения спасательных работ. Имеющаяся в некоторых мегаполисах современная подъемно-крановая спасательная техника обеспечивает возможность эвакуации жильцов с внешней стороны зданий, высотой не более 30–50 м, а в единичных случаях — до 90 м. Решение этой проблемы возможно с применением, например, мобильного стыковочного лифта. Схематичное изображение особенности конструкции такого лифта приведено на рис. 2 [1].

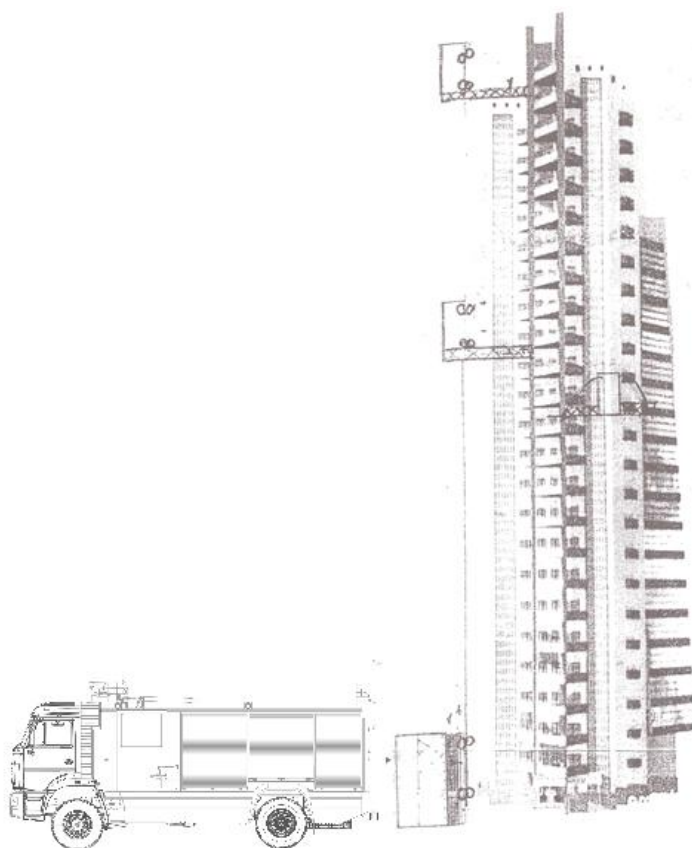


Рисунок 2. Особенности конструкции, функционирования и область применения мобильного стыковочного лифта

Такой лифт предполагает наличие специальных стыковочных рельс и механизма, обеспечивающего его движение в вертикальной плоскости высокоэтажного здания. В процессе эксплуатации в базовом режиме работы конструкции стыковочных рельс не требуют эксплуатационных затрат.

Сам мобильный передвижной лифт располагается на специальном автомобиле в парке спецтехники и может обслуживаться совместно с другими автомобилями теми же специалистами.

Литература

1. Сотников Д. И., Калач Е. В., Калач А. В. Современные тенденции в развитии пожарной техники и аварийно-спасательного транспорта // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2019. № 1. С. 31–34. URL: http://vestnik.sibpsa.ru/wp-content/uploads/2019/v1/N12_31-34.pdf.
2. Boyce K. E. Safe evacuation for all – Fact or Fantasy? Past experiences, current understanding and future challenges // Fire Safety Journal. 2017. V. 91. P. 28–40. URL: [//doi.org/10.1016/j.firesaf.2017.05.004](https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2017.05.004).
3. McConnell N. C., Boyce K. E. Refuge areas and vertical evacuation of multi-storey buildings: the end users' perspectives // Fire Mater. 2015. 39. Issue 4. P. 396–406. DOI 10.1002/fam.2205.
4. Jönsson A., Anderson J., Nilsson D. A risk perception analysis of elevator evacuation in high-rise buildings // Proceedings of the Fifth Human Behaviour in Fire Symposium, Interscience Communication. 2012. P. 398–409.
5. Heyes E., Spearpoint M. Lifts for evacuation – human behaviour considerations // Fire Mater. 2012. 36. Issue 4. P. 297–308.
6. Kinsey M. J., Galea E. R., Lawrence P. J. Human factors associated with the selection of lifts/elevators or stairs in emergency and normal usage conditions // Fire Technol. 2012. 48. Issue 1. P. 3–26.
7. Zhang Xin Study on rapid evacuation in high-rise buildings // Engineering Science and Technology, an International Journal. 2017. V. 20. Issue 3. P. 1203–1210. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jestch.2017.04.007>.

8. Интернет ресурс. URL: <https://fireman.club/statyi-polzovateley/sredstva-spaseniya-s-vyisoty-i-mobilnyie-spuskovyye-statsionarnyye/>.

9. Методические рекомендации по применению средств индивидуальной защиты (СИЗ) и спасения людей при пожаре: утверждены Главным государственным инспектором РФ по пожарному надзору, генерал-полковником Кирилловым Г. Н. от 11 октября 2011 года за номером 2-4-60-12-19.

References

1. Sotnikov D. I., Kalach E. V., Kalach A. V. Modern trends in the development of fire equipment and rescue transport // Scientific and analytical journal Siberian Fire and Rescue Gazette. 2019. № 1. P. 31–34. URL: http://vestnik.sibpsa.ru/wp-content/uploads/2019/v1/N12_31-34.pdf.

2. Boyce K. E. Safe evacuation for all – Fact or Fantasy? Past experiences, current understanding and future challenges // Fire Safety Journal. 2017. V. 91. P. 28–40. URL: [//doi.org/10.1016/j.firesaf.2017.05.004](https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2017.05.004).

3. McConnell N. C., Boyce K. E. Refuge areas and vertical evacuation of multi-storey buildings: the end users' perspectives // Fire Mater. 2015. 39. Issue 4. P. 396–406. DOI 10.1002/fam.2205.

4. Jönsson A., Anderson J., Nilsson D. A risk perception analysis of elevator evacuation in high-rise buildings // Proceedings of the Fifth Human Behaviour in Fire Symposium, Interscience Communication. 2012. P. 398–409.

5. Heyes E., Spearpoint M. Lifts for evacuation – human behaviour considerations // Fire Mater. 2012. 36. Issue 4. P. 297–308. DOI 10.1002/fam.111.

6. Kinsey M. J., Galea E. R., Lawrence P. J. Human factors associated with the selection of lifts/elevators or stairs in emergency and normal usage conditions // Fire Technol. 2012. 48. Issue 1. P. 3–26.

7. Zhang Xin Study on rapid evacuation in high-rise buildings // Engineering Science and Technology, an International Journal. 2017. V. 20. Issue 3. P. 1203–1210. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jestch.2017.04.007>.

8. Internet resource. URL: <https://fireman.club/statyi-polzovateley/sredstva-spaseniya-s-vyisoty-i-mobilnyie-spuskovyye-statsionarnyye/>.

9. Methodological recommendations on the use of personal protective equipment (PPE) and rescue of people in case of fire: approved by the Chief State Inspector of the Russian Federation for Fire Supervision, Colonel General Kirillov G. N. of October 11, 2011 under the number 2-4-60-12-19.

УДК 614.84:519

kaibichev@mail.ru

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВРЕМЕННОГО РЯДА ГИБЕЛИ ЛЮДЕЙ ПРИ ПОЖАРАХ НА ТЕРРИТОРИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**MATHEMATICAL MODELING OF THE TEMPORARY ROW TO RUINS OF THE PEOPLE AT FIRE ON TERRITORY OF THE RUSSIAN FEDERATION**

*Кайбичев И. А., доктор физико-математических наук, доцент,
Уральский институт ГПС МЧС России, Екатеринбург,
Кайбичева Е. И., кандидат экономических наук,
Уральский государственный экономический университет, Екатеринбург*

*Kaibichev I. A.,
The Ural Institute of State Firefighting Service of Ministry
of Russian Federation for Civil Defense, Yekaterinburg
Kaibicheva E. I., Ural State University of Economics, Yekaterinburg*

Предпринята попытка найти вид функциональной зависимости между числом погибших при пожарах на территории России и фактором времени. В процессе регрессионного анализа использованы наиболее известные функции, применяющиеся в экономике и биологии.

Ключевые слова: математическая модель, число погибших при пожарах, временной ряд, Российская Федерация.

The undertaken attempt to find the type to functional dependency between number of people who died at fire on territory of the Russia and factor of time. In process regression analysis are used the most known functions, using in economy and biologies.

Keywords: the mathematical model, number of people who died at fire, temporary row, Russian Federation.

Математический аппарат теории временных рядов [1] находит применение во многих отраслях человеческой деятельности [2,3]. Одной из таких областей стала пожарная статистика. Моделирование временного ряда количества пожаров производственной функцией Кобба – Дугласа выполнено Прановым [4, 5]. Линейная модель для числа пожаров в Воронежской области (для 2000–2010 годов) предложена в работе [6]. Такая же модель применена для объяснения зависимости числа пожаров за год на объектах с обращением нефтепродуктов в 2000–2013 годах от номера года [7]. Для Пензенской области данные по числу пожаров аппроксимировали полиномами второй степени [8]. Проведенные расчеты [9] показали, что количество пожаров в большин-

стве муниципалитетов Ивановской области аппроксимирует полином 2 или 3 степени. Для моделирования числа пожаров в Красноярском крае в течение 2016 года успешно применена интегрированная модель авторегрессии-скользящего среднего Бокса – Дженкинса [10]. Также для этого была использована автокорреляционная функция [11].

Краткосрочный прогноз гибели людей при пожарах на один временной период вперед выполнен Лабинским на основе использования нейронных сетей [12].

Корреляционный анализ основных показателей пожарной статистики в Российской Федерации за 2001–2015 годы показал [13], что количество пожаров, размер материального ущерба, число по-

гибших, травмированных, число уничтоженных строений линейно зависит от номера года. Коэффициенты линейной аппроксимации были получены в результате регрессионного анализа [14]. Аналогичные расчеты проведены для гибели людей при пожарах в городской местности Российской Федерации [15].

Проведенный анализ научных исследований показывает, что в настоящий момент времени математическое моделирование гибели людей при пожарах на территории Российской Федерации ограничено аппроксимацией только линейной

функцией. Цель работы состоит в рассмотрении возможности аппроксимации наиболее известными функциями, используемыми в экономике и биологии.

График зависимости между числом погибших при пожарах [16–29] и номером года (Рис. 1) свидетельствует об уменьшении гибели людей при пожарах с увеличением номера года. Поэтому в дальнейшем для аппроксимации зависимости числа погибших при пожарах от времени целесообразно ограничиться рассмотрением только убывающих функций.

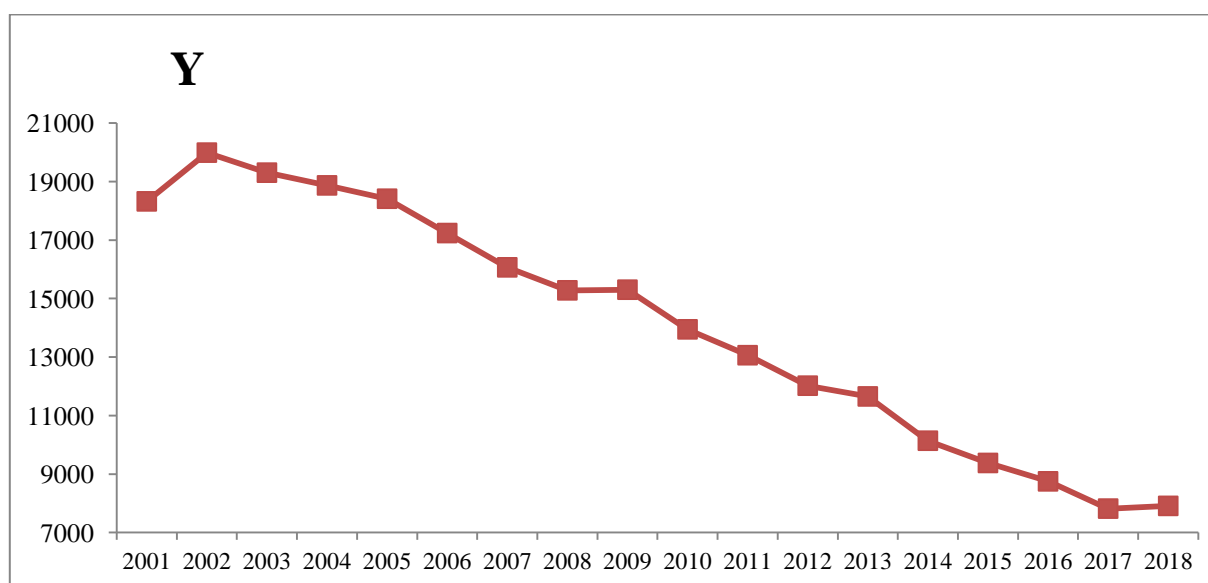


Рисунок 1. Зависимость между числом погибших при пожарах (Y) и номером года (T)

Переходим к процедуре регрессионного анализа. Рассмотрим различные классы математических функций, которые могут подойти к описанию имеющейся зависимости между Y и T.

Линейная модель

В такой модели считается, что моделируемая величина Y_m зависит от переменной T линейно

$$Y_m = a * (T - 2000) + b. \quad (1)$$

Здесь a, b – некоторые константы. Константы подбирают с использованием метода наименьших квадратов. При этом

использовали условие минимума среднего значения квадрата ошибки. Ошибку вычисляют как разницу между фактическим и модельными значениями ($e = Y - Y_m$).

Применение регрессионного анализа [30] дало коэффициенты линейной зависимости между модельным числом погибших Y_m и номером года T: $a = -766,769$, $b = 21364,46$.

Модельное значение для числа погибших при пожарах на территории Российской Федерации (Таб. 1) в дальнейшем рассчитываем по формуле (1). Сравнение модельного и реального значений показало, что средняя ошибка модели

равно 0,01, среднее значение квадрата ошибки равно 469338,78. Близость к нулю средней ошибки позволяет говорить о случайном характере отклонений модельных значений гибели людей при пожарах от реальных величин. Расчет коэффициента корреляции между ошибкой линейной модели и номером года (Т) дал

значение $2,141 \cdot 10^{-6}$. Это приводит к выводу об отсутствии связи между этими величинами.

Отметим, что линейные модели достаточно часто встречаются в экономике [31, 32]. Например, есть линейная зависимость затрат на производство продукции от объема производства.

Таблица 1
Линейная модель

Т	Y	Y _м	e = Y - Y _м	e ²
2001	18321	20598	-2277	5183342,85
2002	19988	19831	157	24672,09
2003	19303	19064	239	57045,80
2004	18868	18297	571	325597,77
2005	18412	17531	881	776832,24
2006	17238	16764	474	224818,21
2007	16066	15997	69	4749,84
2008	15279	15230	49	2370,54
2009	15301	14464	837	701334,79
2010	13946	13697	249	62113,82
2011	13061	12930	131	17159,84
2012	12019	12163	-144	20803,83
2013	11652	11396	256	65297,52
2014	10138	10630	-492	241766,02
2015	9377	9863	-486	236125,99
2016	8749	9096	-347	120519,27
2017	7816	8329	-513	263569,02
2018	7909	7563	346	119978,68
среднее	14080	14080	0,01	469338,78

Гиперболическая модель

Применяется для описания зависимости предельного расхода электроэнергии на единицу продукции Z от объема выпущенной продукции X [31, 32]:

$$Z = a + \frac{b}{x}. \quad (2)$$

Здесь a, b – некоторые константы.

Классический пример гиперболической модели – кривая Филлипса (b > 0), описывающая связь безработицы с изменениями зарплат [31, 32]. Чем выше безработица, тем меньше прирост денежной заработной платы, тем ниже рост цен, и

наоборот, чем ниже безработица и выше занятость, тем больше прирост денежной заработной платы, тем выше темп роста цен. Впоследствии кривая Филлипса была использована для описания зависимости между ценами и безработицей.

При b < 0 получим медленно повышающуюся функцию с верхним пределом равным a. Это кривая Энгеля [33], описывающая зависимость между объемом потребления товаров или услуг и доходом потребителя при неизменных ценах и предпочтениях. Она отражает ситуацию роста доходов. При этом доля доходов, расходуемых на продовольствие

уменьшается, а доля затрат на непродовольственные товары растет до некоторого предельного значения.

Применение регрессионного анализа [30] дало гиперболическую модель

$$Y = 11953,71 + \frac{10951,36}{(T-2000)}. \quad (3)$$

Это частный случай кривой Филлипса. Из уравнения (7) можно сделать вывод, что минимальное число погибших

на территории РФ не может превышать 11954 (с учетом округления до целого). Модельное значение для числа погибших при пожарах на территории Российской Федерации (Таб. 2) в дальнейшем рассчитываем по формуле (3).

Сравнение модельного и реального значений показало, что средняя ошибка модели равно 0, среднее значение квадрата ошибки равно 10216413,89.

Таблица 2
Гиперболическая модель

T	Y	Y _м	e = Y - Y _м	e ²
2001	18321	22905	-4584	21013720
2002	19988	17429	2559	6546475
2003	19303	15604	3699	13681378
2004	18868	14692	4176	17442719
2005	18412	14144	4268	18215962
2006	17238	13779	3459	11965107
2007	16066	13518	2548	6491327
2008	15279	13323	1956	3827377
2009	15301	13171	2130	4538904
2010	13946	13049	897	804882
2011	13061	12949	112	12479
2012	12019	12866	-847	717960
2013	11652	12796	-1144	1309020
2014	10138	12736	-2598	6749353
2015	9377	12684	-3307	10934942
2016	8749	12638	-3889	15125657
2017	7816	12598	-4782	22866657
2018	7909	12562	-4653	2165532
среднее	14080	14080	0,00	10216413,89

Расчет коэффициента корреляции между ошибкой гиперболической модели и номером года дал значение -0,69. Это не позволяет считать ошибку случайной величиной.

Величина среднего квадрата ошибки для гиперболической модели превышает аналогичное значение линейной модели. Поэтому гиперболическая модель в нашем случае не подходит.

Показательная модель

Применяется для аналитического описания тенденции развития показателя с течением времени, когда есть нижний или верхний предел [31, 32]:

$$Y_m = K a^{bT}. \quad (4)$$

Здесь K, a, b – некоторые константы, T – время. Такая функция применяется в демографических расчетах и в страховом деле.

Убывание функции (4) при росте времени реализуется в двух случаях. В первом случае $0 < a < 1$ и $b > 1$. Тогда кривая (4) имеет верхний предел равный K и нижний предел, равный 0 . Второй случай существует при $a > 1$, $b < 1$.

Для первого случая регрессионный анализ [30] дал модель

$$Y_M = 22357,71 * 0,944355^{0,913698(T-2000)}. \quad (5)$$

Из формулы (5) следует, что максимальное возможное количество погибших 22358 (с учетом округления до целого). Модельное значение для числа погибших при пожарах на территории Российской Федерации (Таб. 3) в дальней-

шем рассчитываем по формуле (9). Сравнение модельного и реального значений показало, что средняя ошибка модели равна -28 , среднее значение квадрата ошибки равно 1053719,20.

Расчет коэффициента корреляции между ошибкой показательной модели с верхним и нижним пределами и номером года дал значение $-0,20$. Это позволяет считать ошибку случайной величиной.

Величина среднего квадрата ошибки для показательной модели с верхним и нижним пределами превышает аналогичное значение линейной модели. Поэтому показательная модель с верхним и нижним пределами в нашем случае не подходит.

Таблица 3

Показательная модель с верхним и нижним пределами

T	Y	Y _M	e = Y - Y _M	e ²
2001	18321	21218	-2897	8393805
2002	19988	20137	-149	22135
2003	19303	19110	193	37070
2004	18868	18136	732	535149
2005	18412	17212	1200	1439761
2006	17238	16335	903	81568
2007	16066	15502	564	317745
2008	15279	14712	567	321258
2009	15301	13962	1389	1791939
2010	13946	13251	695	483378
2011	13061	12575	486	235812
2012	12019	11934	85	7146
2013	11652	11326	326	106146
2014	10138	10249	-611	373244
2015	9377	10201	-824	679133
2016	8749	9681	-932	868952
2017	7816	9188	-1372	1881712
2018	7909	8719	-810	656882
среднее	14080	14108	-28	1053719,20

Для второго случая регрессионный анализ [30] дал модель

$$Y_M = 19667,16 * 1,226588^{-0,16302(T-2000)}. \quad (6)$$

Модельное значение для числа погибших при пожарах на территории Российской Федерации (Таб. 4) в дальнейшем рассчитываем по формуле (6).

Таблица 4

Показательная модель с нижним пределом

T	Y	Y _м	e = Y - Y _м	e ²
2001	18321	19023	-702	493006
2002	19988	18400	1588	251042
2003	19303	17798	1505	2265940
2004	18868	17215	1653	2732736
2005	18412	16651	1761	3100452
2006	17238	16106	1132	1281564
2007	16066	15579	487	237617
2008	15279	15068	211	44347
2009	15301	14575	726	527091
2010	13946	14098	-152	23020
2011	13061	13636	-575	330725
2012	12019	13190	-1171	1370224
2013	11652	12758	-1106	1222498
2014	10138	12340	-2202	4848407
2015	9377	11936	-2559	6547626
2016	8749	11545	-2796	7817548
2017	7816	11167	-3351	11228806
2018	7909	10801	-2892	8365247
среднее	14080	14549	-469	3053216,41

Несложно убедиться, что в этом случае существует только нижний предел равный 0. Сравнение модельного и реального значений показало, что средняя ошибка модели равна -469, среднее значение квадрата ошибки равно 3053216,41.

Расчет коэффициента корреляции между ошибкой показательной модели с нижним пределом и номером года дал значение -0,88. Это не позволяет считать ошибку случайной величиной.

Величина среднего квадрата ошибки для показательной модели с нижним пределом превышает аналогичное значение линейной модели. Поэтому показательная модель с нижним пределом в нашем случае не подходит.

Модель Перла – Рида

Модель Перла – Рида описывает наступающее с течением времени насыщение [34]:

$$Y_m = \frac{K}{1+a \cdot \exp(bt)}. \quad (7)$$

Здесь K, a, b – некоторые константы, t – время. Эта функция применяется в демографии для расчета численности населения, прогнозирования рынка мобильной связи [34].

В результате регрессионного анализа [30] получили модель Перла – Рида

$$Y_m = \frac{22751,52}{1+0,127919 \cdot \exp(0,156827(T-2000))}. \quad (8)$$

Модельное значение для числа погибших при пожарах на территории Российской Федерации (Таб. 5) в дальнейшем рассчитываем по формуле (8).

Таблица 5
Модель Перла – Рида

T	Y	Y _M	e = Y - Y _M	e ²
2001	18321	19790	-1469	2158420
2002	19988	19362	626	391573
2003	19303	18885	418	175078
2004	18868	18355	513	263293
2005	18412	17772	640	409913
2006	17238	17135	103	10617
2007	16066	16446	-380	144115
2008	15279	15706	-427	182732
2009	15301	14922	379	143696
2010	13946	14098	-152	23149
2011	13061	13243	-182	33098
2012	12019	12365	-346	120030
2013	11652	11476	176	30994
2014	10138	10585	-447	200002
2015	9377	9704	-327	107007
2016	8749	8843	-94	8846
2017	7816	8011	-195	38213
2018	7909	7218	691	478135
среднее	14080	14106	-26	273273,90

Сравнение модельного и реально-го значений показало, что средняя ошибка модели равно -26, среднее значение квадрата ошибки равно 273273,90.

Расчет коэффициента корреляции между ошибкой модели Перла – Рида и номером года дал значение -0,0041. Это позволяет считать ошибку случайной величиной.

Величина среднего квадрата ошибки для модели Перла – Рида меньше аналогичного значения линейной модели. Поэтому модель Перла – Рида лучше линейной модели.

Модель Гомпертца

Описывает наступающее с течением времени насыщение [35]:

$$Y_M = a \exp(b \exp(c T)). \quad (9)$$

Эта функция описывает ситуацию с мобильными телефонами. Пока стои-

мость была высокой, рост количества был медленный, затем наступил период бурного роста, потом наступило насыщение. Функция (9) также применялась в демографии при описании численности населения в ограниченном пространстве.

Поскольку число погибших при пожарах не может быть отрицательной величиной, то получаем ограничение $a > 0$. Убывание функции (9) с течением времени наблюдается при $b > 0$, $c < 0$. В этой ситуации функция (9) имеет предел, равный a .

В результате регрессионного анализа [30] получили модель Гомпертца

$$Y_M = 125,6744 \exp(5,189123 \exp(-0,01086 (T - 2000))). \quad (10)$$

Модельное значение для числа погибших при пожарах на территории Российской Федерации (Таб. 8) в дальнейшем рассчитываем по формуле (10).

Таблица 8
Модель Гомпертца

T	Y	Y _м	e = Y - Y _м	e ²
2001	18321	21306	-2985	8911297
2002	19988	20157	-169	28466
2003	19303	19081	222	49416
2004	18868	18073	795	63287
2005	18412	17128	1284	1648029
2006	17238	16242	996	991138
2007	16066	15411	655	428649
2008	15279	14631	648	419948
2009	15301	13898	1403	1968535
2010	13946	13209	737	543167
2011	13061	12561	500	249902
2012	12019	11951	68	4561
2013	11652	11378	274	75329
2014	10138	10837	-699	488506
2015	9377	10327	-950	903340
2016	8749	9847	-1098	1205665
2017	7816	9394	-1578	2489436
2018	7909	8966	-1057	1117220
среднее	14080	14133	-53	1230827,18

Сравнение модельного и реального значений показало, что средняя ошибка модели равна -53, среднее значение квадрата ошибки равно 1230827,18.

Расчет коэффициента корреляции между ошибкой модели Гомпертца и номером года дал значение -0,25. Это не позволяет считать ошибку случайной величиной.

Величина среднего квадрата ошибки для модели Гомпертца больше аналогичного значения модели Перла – Рида. Поэтому модель Гомпертца в нашем случае не подходит.

Модель Гомпертца – Мейкхама

Описывает смертность человека и большинства животных [36]:

$$Y_m = a \exp(b k^{cX} + d). \quad (11)$$

Здесь a, b, c, d, k – некоторые константы, X – возраст человека.

Согласно закону Гомпертца – Мейкхама смертность является суммой независимого от возраста компонента (члена Мейкхама, задается константой d) и компонента, зависящего от возраста (функция Гомпертца, член $b k^{cX}$), который увеличивается с возрастом и описывает старение организма. В защищённых средах, где внешние причины смерти отсутствуют (в лабораторных условиях, в зоопарках или для людей в развитых странах) независимый от возраста компонент часто становится малым, и формула упрощается до функции Гомпертца.

Закон смертности Гомпертца – Мейкхама хорошо описывает динамику смертности человека в диапазоне возраста 30–80 лет. В области большего возраста смертность не возрастает так быстро, как предполагает этот закон смертности.

До 1950-х годов смертность людей была в большей мере вызвана независимым от времени компонентом закона

смертности (членом или параметром Мейкхама), тогда как зависимый от возраста компонент (функция Гомпертца) почти не изменялась. После 1950-х годов картина изменилась, смертность в позднем возрасте снизилась и кривая выживания сгладилась.

Поскольку число погибших при пожарах не может быть отрицательной величиной, то получаем ограничение $a > 0$.

В результате регрессионного анализа [30] получили модель Гомпертца-Мейкхема

$$Y_m = 125,6744 \exp(-0,00013 + 5,189123 * 26725663^{-0,01086(T-2000)}). \quad (12)$$

Модельное значение для числа погибших при пожарах на территории Российской Федерации (Таб. 9) в дальнейшем рассчитываем по формуле (12).

Таблица 9
Модель Гомпертца-Мейкхема

T	Y	Y _m	e = Y - Y _m	e ²
2001	18321	21301	-2980	8878036
2002	19988	20149	-161	25851
2003	19303	19071	232	53951
2004	18868	18061	807	651081
2005	18412	17115	1297	1682179
2006	17238	16228	1010	10202238
2007	16066	15396	670	449301
2008	15279	14614	665	441585
2009	15301	13881	1420	2017170
2010	13946	13191	755	569763
2011	13061	12543	518	268539
2012	12019	11933	86	7432
2013	11652	11359	293	86088
2014	10138	10818	-680	462126
2015	9377	10308	-931	867126
2016	8749	9828	-1072	1136669
2017	7816	9375	-1559	2428962
2018	7909	8947	-1038	1076957
среднее	14080	14118	-37	1230558,62

Сравнение модельного и реального значений показало, что средняя ошибка модели равно -37, среднее значение квадрата ошибки равно 1230558,62.

Расчет коэффициента корреляции между ошибкой модели Гомпертца – Мейкхема и номером года дал значение – 0,246. Это не позволяет считать ошибку случайной величиной.

Величина среднего квадрата ошибки для модели Гомпертца – Мейкхе-

ма больше аналогичного значения модели Перла – Рида. Поэтому модель Гомпертца – Мейкхема в нашем случае не подходит.

Модель Вейбулла

В теории надежности известно распределение Вейбулла для плотности вероятности [37]:

$$f(X) = \frac{k}{a} \left(\frac{X}{a}\right)^{k-1} \exp\left[-\left(\frac{X}{a}\right)^k\right]. \quad (13)$$

Здесь X – наработка до отказа, константы k и a являются параметрами. Тогда получается распределение, в котором интенсивность отказов пропорциональна вре-

мени. В материаловедении коэффициент k известен как модуль Вейбулла.

В результате регрессионного анализа [30] получили модель Вейбулла

$$Y_m = 341144,4 * \frac{1,157469}{13,459} \left(\frac{T-2000}{13,459} \right)^{0,157469} \exp \left[- \left(\frac{T-2000}{13,459} \right)^{1,157469} \right]. \quad (14)$$

Для получения количества погибших в (14) мы умножили плотность вероятности (13) на нормирующую константу 341144,4.

Модельное значение для числа погибших при пожарах на территории Российской Федерации (Таб. 10) в дальнейшем рассчитываем по формуле (14).

Таблица 10
Модель Вейбулла

T	Y	Y _m	e = Y - Y _m	e ²
2001	18321	18545	-224	50077
2002	19988	19465	523	273556
2003	19303	19425	-122	14831
2004	18868	18960	-92	8417
2005	18412	18267	145	20984
2006	17238	17446	-208	43419
2007	16066	16556	-490	23783
2008	15279	15632	-353	124711
2009	15301	14701	600	360503
2010	13946	13778	168	28220
2011	13061	12876	185	34134
2012	12019	12003	16	242
2013	11652	11165	487	237031
2014	10138	10365	-277	51498
2015	9377	9605	-228	51868
2016	8749	8886	-137	18854
2017	7816	8209	-393	154617
2018	7909	7573	336	112690
среднее	14080	14081	-1	101418,73

Сравнение модельного и реального значений показало, что средняя ошибка модели равна -1, среднее значение квадрата ошибки равно 101418,73.

Расчет коэффициента корреляции между ошибкой модели Вейбулла и номером года дал значение -0,012. Это позволяет считать ошибку случайной величиной.

Величина среднего квадрата ошибки для модели Вейбулла меньше

аналогичного значения модели Перла – Рида. Поэтому модель Вейбулла эффективнее модели Перла – Рида.

Модель Парето

В социологии известно распределение Парето для плотности вероятности [38]:

$$f(X) = \alpha * \frac{k^{a+1}}{X^{a+1}}. \quad (15)$$

Здесь α и a – некоторые константы.

В результате регрессионного анализа [30] получили модель Парето

$$Y_M = 21388,01 * \left(\frac{1,327313}{T-2000}\right)^{1-0,74989} \quad (16)$$

Модельное значение для числа погибших при пожарах на территории Российской Федерации (Таб. 11) в дальнейшем рассчитываем по формуле (16).

Таблица 11
Модель Парето

T	Y	Y _M	e = Y - Y _M	e ²
2001	18321	22958	-4637	21498669
2002	19988	19304	684	468535
2003	19303	17442	1861	3463754
2004	18868	16231	2637	6953911
2005	18412	15350	3062	9376342
2006	17238	14666	2572	6616900
2007	16066	14111	1955	3822059
2008	15279	13647	1632	2661806
2009	15301	13251	2050	4201200
2010	13946	12907	1039	1080189
2011	13061	12603	458	210091
2012	12019	12331	-312	97555
2013	11652	12087	-435	189158
2014	10138	11865	-1727	2982359
2015	9377	11662	-2285	5221066
2016	8749	11475	-2726	7432328
2017	7816	11303	-3487	12155982
2018	7909	11142	-3233	10453004
среднее	14080	1410	-49	5493605,98

Сравнение модельного и реального значений показало, что средняя ошибка модели равна -49, среднее значение квадрата ошибки равно 5493605,98.

Расчет коэффициента корреляции между ошибкой модели Парето и номером года дал значение -0,531. Это не позволяет считать ошибку случайной величиной.

Величина среднего квадрата ошибки для модели Парето больше аналогичного значения модели Вейбулла. Поэтому модель Парето не подходит.

Модель Эрланга

В теории надежности известно распределение Эрланга для плотности вероятности [39]:

$$f(X) = \frac{a}{k!} X^k \exp(-aX) \quad (17)$$

Константа $a > 0$, k – порядок распределения Эрланга ($k = 0, 1, 2, \dots$).

Для моделирования были опробованы распределения Эрланга с $k = 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10$. Из рассмотренных функций минимум среднего значения квадрата ошибки дала модель Эрланга с $k=0$:

$$Y_M = 22357,72 * \exp(-0,0523111774 * (T - 2000)) \quad (18)$$

Модельное значение для числа погибших при пожарах на территории Российской Федерации (Таб. 12) в дальнейшем рассчитываем по формуле (18).

Сравнение модельного и реального значений показало, что средняя ошибка модели равна -28, среднее значение квадрата ошибки равно 1053719,20.

Таблица 12
Модель Эрланга

T	Y	Y_m	$e = Y - Y_m$	e^2
2001	18321	21218	-2897	8393843
2002	19988	20137	-149	22136
2003	19303	19110	193	37068
2004	18868	18136	732	535142
2005	18412	17212	1200	1439752
2006	17238	16335	903	815675
2007	16066	15502	564	317743
2008	15279	14712	567	321255
2009	15301	13962	1339	1791935
2010	13946	13251	695	483376
2011	13061	12575	486	235812
2012	12019	11934	85	7146
2013	11652	11326	326	106146
2014	10138	10749	-611	373244
2015	9377	10201	-824	679133
2016	8749	9681	-932	868951
2017	7816	9188	-1372	1881709
2018	7909	8719	-810	656880
среднее	14080	14108	-28	1053719,20

Расчет коэффициента корреляции между ошибкой модели Эрланга и номером года дал значение -0,20. Это позволяет считать ошибку случайной величиной.

Величина среднего квадрата ошибки для модели Эрланга больше аналогичного значения модели Вейбулла. Поэтому модель Эрланга не подходит.

Заключение

Рассмотрены различные классы математических функций, которые могут подойти к описанию имеющейся зависи-

мости между числом погибших при пожарах на территории Российской Федерации и фактором времени, учитываемом путем задания номера года.

Критерием оптимальности аппроксимации выбрано условием минимума среднего значения квадрата ошибки между модельным и фактическим значением.

В результате исследования установлено, что наилучшую аппроксимацию зависимости числа погибших при пожарах от номера года дает модель Вейбулла (Рис. 2).

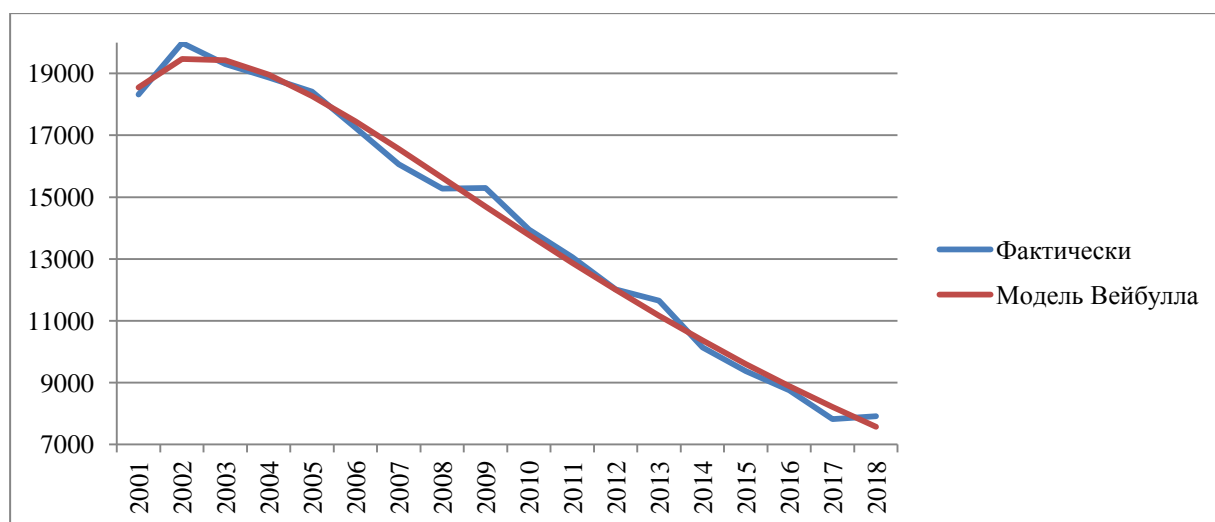


Рисунок 2. Сравнение фактического числа погибших при пожарах с моделью Вейбулла

Полученные результаты дают возможность оценки числа погибших при пожарах на будущие периоды. Это может оказаться полезным для планирования деятельности противопожарной службы.

Литература

1. Box G. E. P., Jenkins G. M., Reinsel G. C. et al. Time Series Analysis: Forecasting and Control. N.Y., 2015. 712 p.
2. Лукашин Ю. П. Адаптивные методы краткосрочного прогнозирования временных рядов. М., 2003. 416 с.
3. Shumway R., Stoffer D. Time Series Analysis and Its Applications with R Examples. Springer Texts in Statistics, 2017. 564 p.
4. Пранов Б. М. О некоторых подходах к моделированию и прогнозированию временных рядов пожарной статистики // Технологии техносферной безопасности. 2014. Вып. 5(57). С. 5. URL: <http://ipb.mos.ru/ttb>.
5. Пранов Б. М. Адекватные междисциплинарные модели в прогнозировании рядов статистических данных // Программные продукты и системы. 2018. № 3(31). С. 444–447.
6. Меньших А. В., Тростянский С. Н. Моделирование структуры временных рядов пожарной статистики // Вестник Воронежского института МВД России. 2012. № 4. С. 97–103.
7. Ширяев Е. В. и др. Статистический анализ пожаров на объектах с обращением нефтепродуктов // Интернет-журнал «Технологии техносферной безопасности». 2014. Вып. 3(55). С. 8. URL: <http://ipb.mos.ru/ttb>.
8. Асанина Д. А., Шишов В. Ф. Прогнозирование количество городских пожаров в регионе // Научно-методический электронный журнал «Концепт». 2014. Т. 20. С. 3256–3260. URL: <http://e-koncept.ru/2014/54915.htm>.
9. Салихова А. Х. и др. Опыт прогнозирования обстановки с пожарами на территории субъекта Российской Федерации на примере Ивановской области // Техносферная безопасность. 2018. № 1 (18). С. 9–16.
10. Матеров Е. Н. Использование языка программирования R в вопросах пожарной безопасности: анализ статистики количества пожаров на основе теории временных рядов // Научно-аналитический журнал «Сибирский пожарно-спасательный вестник». 2019. № 1 (12). С. 52–57.
11. Батуро А. Н. Прогнозирование количества пожаров в регионе на основе теории временных рядов // Технологии гражданской безопасности. 2013. Т. 10. № 3 (37). С. 84–88.
12. Лабинский А. Ю. Особенности использования нейронной сети для прогнозирования временных рядов // Научно-аналитический журнал «Вестник Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России. 2018. № 1. С. 40–44.
13. Кайбичев И. А., Яковлев Е. Е. Корреляционный анализ основных показателей пожарной статистики в Российской Федерации за 2001–2015 годы // Актуальные вопросы естествознания: материалы II Межвузовской научно-практической конференции, Иваново, 12 апреля 2017 года / сост. Н. Е. Егорова. – Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2017. – С. 158–161.

14. Кайбичев И. А., Калимуллина К. И. Регрессионный анализ основных показателей пожарной статистики в Российской Федерации // Актуальные проблемы обеспечения пожарной безопасности в Российской Федерации: материалы Дней науки (22–26 мая 2017 г.) в 2-х частях / сост. М. Ю. Порхачев, О. Ю. Демченко. – Екатеринбург: Уральский институт ГПС МЧС России, 2017. – Ч. 1. – С. 86–95.

15. Кайбичев И. А., Калимуллина К. И. Регрессионный анализ гибели и травмирования людей в городской местности Российской Федерации // Проблемы обеспечения безопасности при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций: сб. ст. по материалам V Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. уч. 15–16 дек. 2016 г. : в 2-х ч. – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский институт ГПС МЧС России, 2017. – Ч. 2. – С. 49–51.

16. Пожары и пожарная безопасность в 2005 году: статистический сборник / под общ. ред. Н. П. Копылова. М., 2006. 139 с.

17. Пожары и пожарная безопасность в 2006 году: статистический сборник / под общ. ред. Н. П. Копылова. М., 2007. 137 с.

18. Пожары и пожарная безопасность в 2007 году: статистический сборник / под общ. ред. Н. П. Копылова. М., 2008. 137 с.

19. Пожары и пожарная безопасность в 2008 году: статистический сборник / под общ. ред. Н. П. Копылова. М., 2009. 137 с.

20. Пожары и пожарная безопасность в 2009 году: статистический сборник / под общ. ред. Н. П. Копылова. М., 2010. 135 с.

21. Пожары и пожарная безопасность в 2010 году: статистический сборник / под общ. ред. В. И. Климкина. М., 2011. 140 с.

22. Пожары и пожарная безопасность в 2011 году: статистический сборник / под общ. ред. В. И. Климкина. М., 2012. 137 с.

23. Пожары и пожарная безопасность в 2012 году: статистический сборник / под общ. ред. В. И. Климкина. М., 2013. 137 с.

24. Пожары и пожарная безопасность в 2013 году: статистический сборник / под общ. ред. В. И. Климкина. М., 2014. 137 с.

25. Пожары и пожарная безопасность в 2014 году: статистический сборник / под общ. ред. А. В. Матюшина. М., 2015. 124 с.

26. Пожары и пожарная безопасность в 2015 году: статистический сборник / под общ. ред. А. В. Матюшина. М., 2016. 124 с.

27. Пожары и пожарная безопасность в 2016 году: статистический сборник / под общ. ред. Д. М. Гордиенко. М., 2017. 124 с.

28. Пожары и пожарная безопасность в 2017 году: статистический сборник / под общ. ред. Д. М. Гордиенко. М., 2018. 125 с.

29. Пожары и пожарная безопасность в 2018 году: статистический сборник / под общ. ред. Д. М. Гордиенко. М., 2019. 125 с.

30. Харченко М. А. Корреляционный анализ. Воронеж, 2008. 31 с.

31. Кремер Н. Ш., Путко Б. А. Эконометрика / под ред. Н. Ш. Кремера. М., 2010. 328 с.

32. Эконометрика / под ред. И. И. Елисейевой. М., 2002. 344 с.

33. Кривая Энгеля. URL: ru.wikipedia.org.

34. Дубовцев А. В., Ермолаев М. Б. Прогнозирование рынка мобильной связи на основе S-образных моделей // Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение. 2010. № 4 (24). С. 39–41.

35. Функция Гомперца. URL: ru.wikipedia.org.

36. Распределение Гомперца. URL: ru.wikipedia.org.

37. Распределение Вейбулла. URL: ru.wikipedia.org.

38. Распределение Парето. URL: ru.wikipedia.org.

39. Гамма-распределение. URL: ru.wikipedia.org.

Referenses

1. Box G. E. P. et al. Time Series Analysis: Forecasting and Control. N.Y., 2015. 712 p.

2. Lukashin YU. P. Adaptivnye metody kratkosrochnogo prognozirovaniya vremennyh ryadov. M., 2003. 416 p.

3. Shumway R., Stoffer D. Time Series Analysis and Its Applications with R Examples. Springer Texts in Statistics, 2017. 564 p.

4. Pranov B. M. O nekotoryh podhodah k modelirovaniyu i prognozirovaniyu vremennyh ryadov pozharnej statistiki // Tekhnologii tekhnosfernoj bezopasnosti. 2014. vyp. 5(57). P. 5. URL: <http://ipb.mos.ru/ttb>.

5. Pranov B. M. Adekvatnye mezhdisciplinarnye modeli v prognozirovanii ryadov statisticheskikh dannyh // Programmnye produkty i sistemy. 2018. № 3(31). P. 444–447.
6. Men'shih A. V., Trostyanskiy S. N. Modelirovanie struktury vremennyh ryadov pozharnej statistiki // Vestnik Voronezhskogo instituta MVD Rossii. 2012. № 4. P. 97–103.
7. Shiryaev E. V. et al. Statisticheskij analiz pozharov na ob"ektah s obrashcheniem nefteproduktov // Tekhnologii tekhnosfernoj bezopasnosti. 2014. vyp. 3(55). 8 p. URL: <http://ipb.mos.ru/ttb>.
8. Asanina D. A., SHishov V. F. Prognozirovanie kolichestvo gorodskih pozharov v regione // Koncept. 2014. T. 20. P. 3256–3260. URL: <http://e-koncept.ru/2014/54915.htm>.
9. Salihova A. H. et al. Opyt prognozirovaniya obstanovki s pozharami na territorii sub"ekta Rossijskoj Federacii na primere Ivanovskoj oblasti // Tekhnosfernaya bezopasnost'. 2018. № 1 (18). P. 9–16.
10. Materov E. N. Ispol'zovanie yazyka programmirovaniya R v voprosah pozharnej bezopasnosti: analiz statistiki kolichestva pozharov na osnove teorii vremennyh ryadov // Sibirskij pozharo-spasatel'nyj vestnik. 2019. № 1 (12). P. 52–57.
11. Batur A. N. Prognozirovanie kolichestva pozharov v regione na osnove teorii vremennyh ryadov // Tekhnologii grazhdanskoj bezopasnosti. 2013. T. 10. № 3(37). P. 84–88.
12. Labinskij A. YU. Osobennosti ispol'zovaniya nejronnoj seti dlya prognozirovaniya vremennyh ryadov // Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta GPS MCHS Rossii. 2018. № 1. P. 40–44.
13. Kajbichev I. A., Yakovlev E. E. Korrelyacionnyj analiz osnovnyh pokazatelej pozharnej statistiki v Rossijskoj Federacii za 2001–2015 gody // Aktual'nye voprosy estestvoznaniya: materialy II Mezhvuzovskoj nauchno-prakticheskoy konferencii, Ivanovo, 12 aprelya 2017 goda / sost. N. E. Egorova. Ivanovo: Ivanovskaya pozharo-spasatel'naya akademiya GPS MCHS Rossii, 2017. – P. 158–161.
14. Kajbichev I. A., Kalimullina K. I. Regressionnyj analiz osnovnyh pokazatelej pozharnej statistiki v Rossijskoj Federacii // Aktual'nye problemy obespecheniya pozharnej bezopasnosti v Rossijskoj Federacii: materialy Dnej nauki (22–26 maya 2017 g.) v 2-h chastyah / sost. M. YU. Porhachev, O. YU. Demchenko. – Ekaterinburg: Ural'skij institut GPS MCHS Rossii, 2017. – Ch. 1. – P. 86–95.
15. Kajbichev I. A., Kalimullina K. I. Regressionnyj analiz gibeli i travmirovaniya lyudej v gorodskoj mestnosti Rossijskoj Federacii // Problemy obespecheniya bezopasnosti pri likvidacii posledstvij chrezvychajnyh situacij: sb. st. po materialam V Vseros. nauch.-prakt. konf. s mezhdunar. uch. 15–16 dek. 2016 g. : v 2-h ch. – Voronezh: FGBOU VO Voronezhskij institut GPS MCHS Rossii, 2017. – Ch. 2. – P. 49–51.
16. Pozhary i pozharnaya bezopasnost' v 2005 godu. M., 2006. 139 p.
17. Pozhary i pozharnaya bezopasnost' v 2006 godu. M., 2007. 137 p.
18. Pozhary i pozharnaya bezopasnost' v 2007 godu. M., 2008. 137 p.
19. Pozhary i pozharnaya bezopasnost' v 2008 godu. M., 2009. 137 p.
20. Pozhary i pozharnaya bezopasnost' v 2009 godu. M., 2010. 135 p.
21. Pozhary i pozharnaya bezopasnost' v 2010 godu. M., 2011. 140 p.
22. Pozhary i pozharnaya bezopasnost' v 2011 godu. M., 2012. 137 p.
23. Pozhary i pozharnaya bezopasnost' v 2012 godu. M., 2013. 137 p.
24. Pozhary i pozharnaya bezopasnost' v 2013 godu. M., 2014. 137 p.
25. Pozhary i pozharnaya bezopasnost' v 2014 godu. M., 2015. 124 p.
26. Pozhary i pozharnaya bezopasnost' v 2015 godu. M., 2016. 124 p.
27. Pozhary i pozharnaya bezopasnost' v 2016 godu. M., 2017. 124 p.
28. Pozhary i pozharnaya bezopasnost' v 2017 godu. M., 2018. 125 p.
29. Pozhary i pozharnaya bezopasnost' v 2018 godu. M., 2019. 125 p.
30. Harchenko M. A. Korrelyacionnyj analiz. Voronezh, 2008. 31 p.
31. Kremer N. SH., Putko B. A. Ekonometrika: uchebnik dlya studentov vuzov. M., 2010. 328 p.
32. Ekonometrika. M., 2002. 344 p.
33. Krivaya Engelya. URL: ru.wikipedia.org.
34. Dubovcev A. V., Ermolaev M. B. Prognozirovanie rynka mobil'noj svyazi na osnove S-obraznyh modelej // Sovremennye naukoemkie tekhnologii. Regional'noe prilozhenie. 2010. № 4 (24). P. 39–41.
35. Funkciya Gomperca. URL: ru.wikipedia.org.
36. Raspredelenie Gomperca. URL: ru.wikipedia.org.
37. Raspredelenie Vejbulla. URL: ru.wikipedia.org.
38. Raspredelenie Pareto. URL: ru.wikipedia.org.
39. Gamma-raspredelenie. URL: ru.wikipedia.org.

УДК 614.84

v.k.ekb@yandex.ru

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ
ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКОГО РЕШЕНИЯ СНИЖАЮЩЕГО
ВОЗДЕЙСТВИЕ ОПАСНЫХ ФАКТОРОВ ПОЖАРА ПРОЛИВА
НА ЛИНЕЙНОЙ ЧАСТИ МАГИСТРАЛЬНОГО НЕФТЕПРОВОДА**

**EXPERIMENTAL SUBSTANTIATION OF AN ENGINEERING SOLUTION
TO REDUCE THE IMPACT OF HAZARDOUS FACTORS OF THE STRAIT
FIRE ON THE LINEAR PART OF THE MAIN OIL PIPELINE**

*Назаров В. П., доктор технических наук, профессор,
Артемов А. С., Академия ГПС МЧС России, Москва
Кокорин В. В., кандидат технических наук, доцент,
Уральский институт ГПС МЧС России, Екатеринбург,
Шахманов Ф. Ф., кандидат технических наук,
Главное управление МЧС по Республике Башкортостан, Уфа*

*Nazarov V. P, Artemov A. S.,
Academy of State fire service of EMERCOM of Russia, Moscow,
Kokorin V. V.,
The Ural Institute of State Firefighting Service of Ministry
of Russian Federation for Civil Defense, Yekaterinburg,
Shakhmanov F. F.,
The main Department of the Ministry of emergency situations
in the Republic of Bashkortostan, Ufa*

Приведены результаты эксперимента, обосновывающего предлагаемое инженерно-техническое решение по снижению пожарного риска участков линейной части магистральных нефтепродуктопроводов, имеющих высокую степень опасности, за счет создания узкой полосы обвалования вдоль опасного участка. Эксперимент доказывает, что изменением геометрической формы поверхности пожара пролива можно снизить воздействие таких опасных факторов, как тепловой поток и повышенная температура окружающей среды.

Ключевые слова: магистральный трубопровод, риск-ориентированный подход, опасные факторы пожара, пожар пролива, тепловое излучение.

The results of an experiment substantiating the proposed engineering solution to reduce the fire risk of sections of the linear part of the main oil pipelines with a high degree of danger due to the creation of a narrow strip of debris along the hazardous section are presented. The experiment proves that by changing the geometric shape of the surface of a strait fire, it is possible to reduce the effects of such dangerous factors as heat flux and elevated ambient temperature.

Keywords: main pipeline, risk-based approach, fire hazard factors, fire Strait, thermal radiation.

В последнее время, в связи с расширением границ городских и сельских муниципальных образований, имеются случаи сокращения расстояний от оси магистрального трубопровода до зданий,

сооружений различного назначения [1, 2]. В качестве решения этой проблемы предлагается внедрение риск-ориентированного подхода к формированию требований пожарной безопасности

линейной части магистральных трубопроводов [3]. Снизить пожарный риск участков линейной части магистральных нефтепродуктопроводов [4], имеющих высокую степень опасности, предлагается за счет дополнительных противопожарных мероприятий. Одним из таких мероприятий является создание узкой полосы обвалования вдоль опасного участка магистрального трубопровода, проложенного вблизи населенного пункта. В целях обоснования представленного инженерно-технического решения был проведен ряд экспериментов, направленных на оп-

ределение зависимости воздействия опасных факторов пожара от геометрической формы поверхности горения.

Эксперименты проводились 4 июля 2019 года на территории учебно-тренировочного полигона одной из пожарно-спасательных частей г. Уфы и состояли из двух основных блоков:

- 1) горение жидкости в противнях, расставленных в одну линию (рисунок 1);
- 2) горение жидкости в противнях, расставленных в форме прямоугольника (рисунок 2).



а)

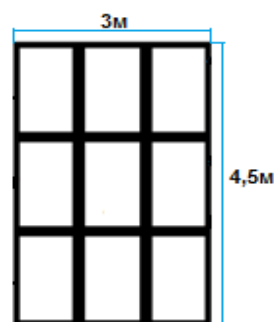


б)

Рисунок 1. Расположение противней в одну линию:
а) на территории полигона, б) схема расстановки



а)



б)

Рисунок 2. Расположение противней в форме прямоугольника:
а) на территории полигона, б) схема расстановки

Эксперименты проводились следующим образом.

В каждый из девяти противней (размеры 1500x1000x200 мм) наливалось 30 л холодной воды и 3 л смеси бензина АИ-92 с ДТ (летним) в соотношении 2/5.

Противни размещались на территории учебно-тренировочного полигона в зависимости от блока проводимого исследования: либо в линию, либо в форме прямоугольника (рисунок 3). На расстоянии 2 и 4 м от исследуемых емкостей с ЛВЖ

устанавливались два металлических листа (№ 1 и № 2 соответственно) в вертикальном положении (размеры 2020x1000x1 мм), в отверстиях которых на высоте 1,75 м закреплялись термопары. Снятие показаний температуры с термопар производилось в процессе экспериментов в автоматическом режиме с интервалом каждые 20 сек. Для получения дополнительных показателей использовались тепловизор

марки Testo 875i и приборы фото- видео- фиксации, установленные на расстоянии 10 м от исследуемых емкостей.

В момент проведения экспериментов температура воздуха была плюс 23 °С, атмосферное давление 740 мм рт. ст., ветер слабый (0–4 м/с) юго-восточного направления, относительная влажность воздуха 56 %.



Рисунок 3. Ход проведения экспериментов: а) первый блок, б) второй блок

Основные результаты измерений, полученных термопарами, представлены в таблицах 1, 2.

Таблица 1
Результаты температуры нагрева, полученные термопарами
в первом блоке экспериментов

Номер металлического листа (расст. до противня)	Температура нагрева листа в зависимости от времени горения жидкости, °С								
	0 с	20 с	40 с	60 с	80 с	100 с	120 с	140 с	160 с
№ 1 (2 м)	25 °С	48 °С	72 °С	62 °С	45 °С	34 °С	33 °С	33 °С	31 °С
№ 2 (4 м)	25 °С	31 °С	39 °С	42 °С	38 °С	33 °С	33 °С	32 °С	31 °С
Номер металлического листа (расст. до противня)	Температура нагрева листа в зависимости от времени горения жидкости, °С							Высота пламени, м	
	180 с	200 с	220 с	240 с	260 с	280 с	300 с		
№ 1 (2 м)	30 °С	затух	затух	затух	затух	затух	затух	Средн. – 2,5	
№ 2 (4 м)	28 °С	затух	затух	затух	затух	затух	затух	МАХ – 3,5	

Таблица 2
 Результаты температуры нагрева, полученные термопарами
 во втором блоке экспериментов

Номер металлического листа (расст. до противня)	Температура нагрева листа в зависимости от времени горения жидкости, °С								
	0 с	20 с	40 с	60 с	80 с	100 с	120 с	140 с	160 с
№ 1 (2 м)	25 °С	31 °С	67 °С	71 °С	74 °С	60 °С	45 °С	40 °С	38 °С
№ 2 (4 м)	25 °С	29 °С	40 °С	74 °С	60 °С	45 °С	34 °С	30 °С	31 °С
Номер металлического листа (расст. до противня)	Температура нагрева листа в зависимости от времени горения жидкости, °С							Высота пламени, м	
	180 с	200 с	220 с	240 с	260 с	280 с	300 с		
№ 1 (2 м)	35 °С	30 °С	29 °С	затух	затух	затух	затух	Средн. – 4,0	
№ 2 (4 м)	29 °С	27 °С	25 °С	затух	затух	затух	затух	МАХ – 6,5	

В процессе проведения каждого блока экспериментов замеры температуры нагрева осуществлялись так же и при помощи тепловизора. Снятие показаний производились в четырех точках каждого

вертикального металлического листа (М1, М2, М3 и т. д.) в автоматическом режиме. Полученные результаты были обработаны в программном обеспечении IRSofttesto (рисунок 4).

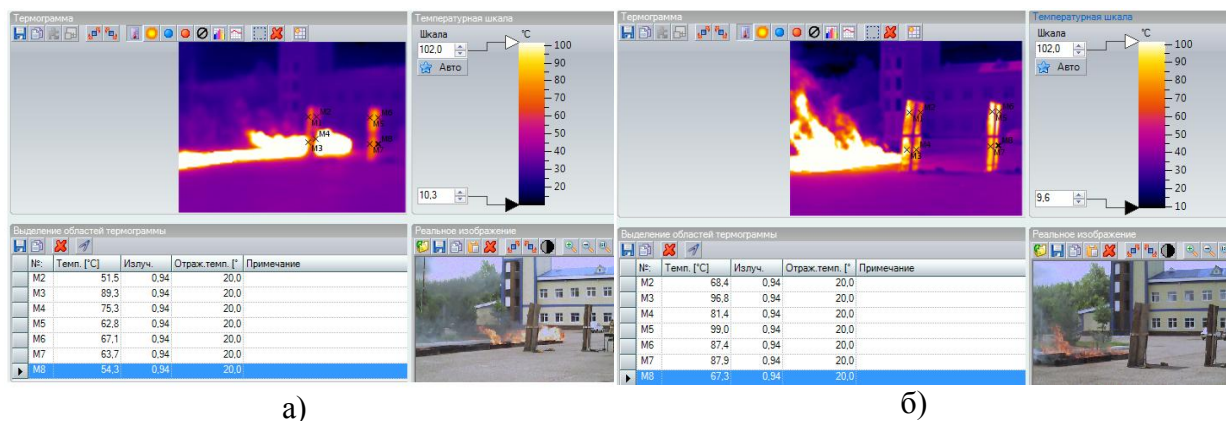


Рисунок 4. Обработка результатов в IRSofttesto:
 а) первый блок, б) второй блок

Обработанные результаты измерений, полученные тепловизором на 120 с, представлены в таблице 3.

Таблица 3

Результаты температуры нагрева, полученные тепловизором на 120 с

Номер блока экспериментов	Температура нагрева листа, °С							
	Металлический лист № 1, (2 м от противня)				Металлический лист № 2, (4 м от противня)			
	<i>M1</i>	<i>M2</i>	<i>M3</i>	<i>M4</i>	<i>M5</i>	<i>M6</i>	<i>M7</i>	<i>M8</i>
Первый	60,9	51,5	89,3	75,3	62,8	67,1	63,7	54,3
	Средн. – 69,25				Средн. – 61,98			
Второй	99,4	68,4	96,8	81,4	99,0	87,4	87,9	67,3
	Средн. – 86,5				Средн. – 85,4			

На основании ряда проведенных исследований было установлено, что результаты, полученные во втором блоке экспериментов, значительно превосходят результаты первого блока по следующим показателям:

- высота пламени,
- продолжительность горения,
- температура нагрева,
- интенсивность излучения пламени.

Таким образом, можно сделать однозначный вывод, что характер повреж-

дения конструкций, расположенных вблизи пожара, напрямую зависит от геометрических форм поверхности горения. Для снижения воздействия опасных факторов пожара необходимо применять различные инженерно-технические решения, направленные на предотвращение растекания горючей жидкости по территории, в частности создание узкой полосы обвалования вдоль опасного участка линейной части магистрального трубопровода, проложенного вблизи населенного пункта.

Литература

1. Приказ МЧС России от 24.04.2013 № 288 «Об утверждении свода правил СП 4.13130 «Системы противопожарной защиты. Ограничение распространения пожара на объектах защиты. Требование к объемно-планировочным и конструктивным решениям».
2. СП 36.13330.2012. Магистральные трубопроводы. М., 2012. 83 с.
3. Категорирование линейных участков магистральных трубопроводов по степени пожарного риска / А. В. Фомин, Ф. Ф. Шахманов, А. С. Артёмов // Наука и образование в XXI веке: теория, методология, практика: материалы международной научно-практической конференции. Ч. 3. Уфа, 2019. С. 72–77.
4. Аналитический обзор пожаров, произошедших на объектах нефтегазовой отрасли республики Башкортостан / В. П. Назаров, А. С. Артёмов, Ф. Ф. Шахманов // Инновационные научные исследования в современном мире: материалы международной научно-практической конференции. Ч. 1, 23 мая 2019 г. Уфа, 2019. С. 80–86.
5. Методы определения площади пролива нефтепродуктов на горизонтальную поверхность / В. В. Кокорин и др. // Технологии техносферной безопасности. 2017. № 2 (72). С. 130–134.

References

1. Prikaz MCHS Rossii ot 24.04.2013 № 288 «Ob utverzhdenii svoda pravil SP 4.13130 «Sistemy protivopozharnoj zashchity. Ogranichenie rasprostraneniya pozhara na ob"ektah zashchity. Trebovanie k ob"yomno-planirovochnym i konstruktivnym resheniyam».
2. SP 36.13330.2012. Magistral'nye truboprovody. M., 2012. 83 p.
3. Kategorirovanie linejnyh uchastkov magistral'nyh truboprovodov po stepeni pozharnogo riska / A. V. Fomin, F. F. SHahmanov, A. S. Artyomov // Nauka i obrazovanie v XXI veke: teoriya, metodologiya,

praktika: materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. CH. 3, 4 oktyabrya 2019 g. Ufa: Izd. NIC Vestnik nauki, 2019. – P. 72–77.

4. Analiticheskij obzor pozharov proizoshedshih na ob"ektah neftegazovoj otrasli respubliky Bashkortostan / V.P. Nazarov, A.S. Artyomov, F.F. SHahmanov // Innovacionnye nauchnye issledovaniya v sovremennom mire: materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. CH. 1, 23 maya 2019 g. – Ufa: Izd. NIC Vestnik nauki, 2019. – P. 80–86.

5. Metody opredeleniya ploshchadi proliva nefteproduktov na gorizontal'nyu poverhnost' / V. V. Kokorin et al // Tekhnologii tekhnosfernoj bezopasnosti. 2017. № 2 (72). P. 130–134.

УДК 629.028

yakovenkota@bk.ru

РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ**DEVELOPMENT OF A DEVICE FOR MOVING CARS**

*Киселев В. В., кандидат технических наук,
Топоров А. В., кандидат технических наук,
Пучков П. В., кандидат технических наук,
Ивановская пожарно-спасательная академия
ГПС МЧС России, Иваново,
Яковенко Т. А., кандидат технических наук,
Уральский институт ГПС МЧС России, Екатеринбург,
Топорова Е. А., кандидат технических наук
Ивановский государственный
политехнический университет, Иваново*

*Kiselev V. V., Puchkov P. V., Toporov A. V.,
Ivanovo Fire and Rescue Academy
of the Emergency Ministry of Russia, Ivanovo,
Yakovenko T. A., The Ural Institute of State Firefighting Service of Ministry
of Russian Federation for Civil Defense, Yekaterinburg,
Toporova E. A., Ivanovo State Polytechnic University, Ivanovo*

Пожары на автомобильных парковках, особенно в подземных или многоуровневых паркингах, представляют серьезную угрозу жизни граждан и сохранности имущества. В ходе таких пожаров необходимо проведение эвакуации автомобильного транспорта. В статье описывается конструкция устройства, предназначенного для перемещения автомобильного транспорта в стесненных условиях автомобильных парковок.

Ключевые слова: эвакуация, безопасность, пожар, автопарковка, буксировочное устройство.

Fires in car parkings, especially in underground or multi-level parking lots, pose a serious threat to the lives of citizens and the safety of property. During such fires, the evacuation of road transport is necessary. This paper describes the design of a device intended to move vehicles in the cramped conditions of car parks.

Keywords: evacuation, safety, fire, parking, towing device.

Ежегодно увеличивается количество автомобильного транспорта и растет плотность городской застройки. Уходят в прошлое времена, когда большинство личных автомобилей хранились в индивидуальных гаражах. Все чаще городские жители прибегают к услугам различных видов парковок. Парковки организуются в крупных торговых центрах, жилых комплексах, возле станций метрополитена. Увеличение числа автомобилей ска-

зывается на росте количества пожаров на автомобильном транспорте. Причем такие пожары происходят как во время поездки, так и на стоянке. Согласно статистики в качестве основных причин пожаров называют короткое замыкание электропроводки и электрооборудования, неисправность топливной системы, а также занесение открытого источника огня. Тушение таких пожаров может осложняться сразу несколькими факторами, к

числу которых можем отнести наличие в гаражах автомобилей, заправленных бензином или сжиженным газом, а также плотность размещения транспортных средств на территории стоянок.

В настоящее время существуют различные технологии тушения таких пожаров, также отрабатываются на занятиях с личным составом пожарно-спасательных частей боевые действия при тушении подобных пожаров. В статье предлагается описание конструкции устройства предназначенного для перемещения автомобильного транспорта на парковках в условиях ограниченного пространства. Приспособление для перемещения автомобиля должно обеспечивать его надежное крепление, возможность

вывешивания колес автомобиля над землей и иметь тела качения для снижения тягового усилия лебедки.

Принципиальная схема устройства представлена на рисунке 1. Предлагается для фиксации горящего автомобиля использовать колеса передней или задней оси. Для этого устройство должно иметь П-образную форму в части, взаимодействующей с колесами. Рама устройства должна иметь ролики или колеса, способные воспринимать нагрузку, сопоставимую с максимально возможной нагрузкой на ось перемещаемого автомобиля. В передней части рамы предполагается установить стойку, за которую закрепляется буксировочный трос ручной или автомобильной лебедки.

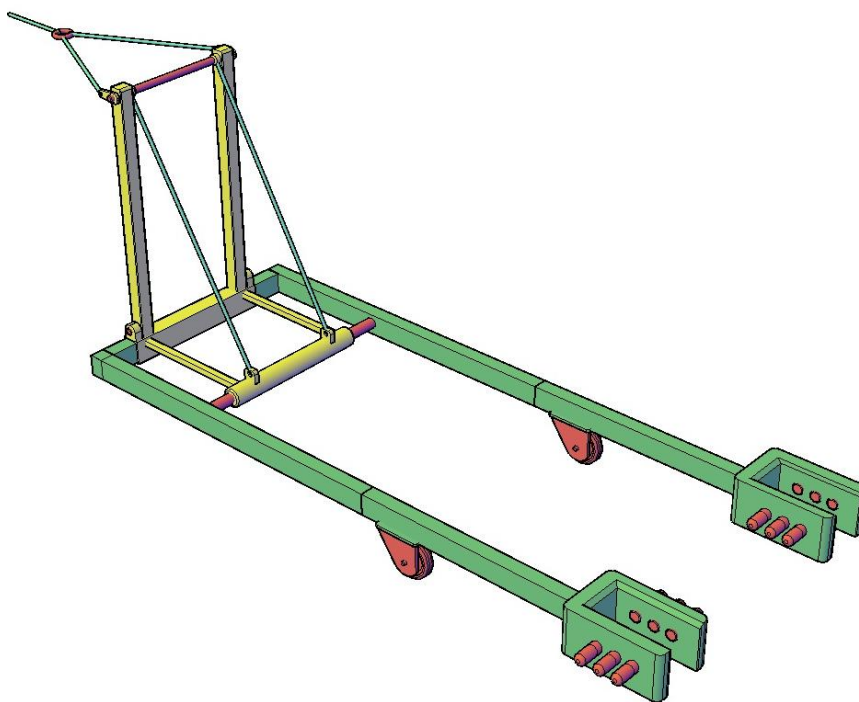


Рисунок 1. Трехмерная модель буксировочного устройства

Работает устройство следующим образом. Устройство П-образными частями, расположенными в задней части рамы, устанавливается на колеса автомобиля. Трос закрепляется за стойку и при помощи лебедки создается необходимое тяговое усилие. При этом, за счет возникновения пар сил от тягового усилия на стойке и на П-образной части (в которой

закреплено колесо автомобиля) возникает усилие, действующее вверх и приподнимающее ось автомобиля над землей. Далее за счет натяжения троса происходит перемещение автомобиля по направлению натяжения троса. В этом случае, даже если колеса автомобиля заблокированы, сопротивление движению будет создаваться лишь силой сопротивления ка-

чению роликов, а не силой трения колес автомобиля об дорожное покрытие.

В случае подъема колес одной оси автомобиля при помощи буксировочного устройства остается проблема перемещения не зафиксированной оси по опорной поверхности. Наибольшие нагрузки на лебедку будут наблюдаться, если буксировка производится за менее нагруженную ось, а колеса автомобиля заблокированы постановкой на стояночный тормоз или передачу. В этом случае усилие со стороны лебедки должно превышать величину силы трения колес о грунт. Сопротивлением качения роликов устройства пренебрегается.

$$F_{л} = P_{ось} \cdot k_{тр}, \quad (1)$$

где $F_{л}$ – требуемое тяговое усилие троса лебедки,

$P_{ось}$ – нагрузка на ось легкового автомобиля массой до 3,5 тонн, $P_{ось} = 17500$ Н;

$k_{тр}$ – коэффициент трения скольжения резины колес об асфальт, $k_{тр} = 0,7$.

Учитывая максимальную нагрузку на ось (с учетом перераспределения) требуемое тяговое усилие троса лебедки составит

$$F_{л} = 17500 \cdot 0,7 = 12250 \text{ Н.}$$

Для проектируемого устройства по перемещению легковых автомобилей на парковках целесообразно предусмотреть установку лебедки с тяговым усилием не менее 15000 Н.

Для обеспечения равномерного натяжения тросов, присоединенных к буксировочным устройствам колес автомобиля, необходимо выполнить трос в виде петли, закрепленной с обеих сторон за траверсу (рис. 2). Это объясняется необходимостью исключения возникающих сил, направленных к оси автомобиля и стремящихся сблизить буксировочные устройства.

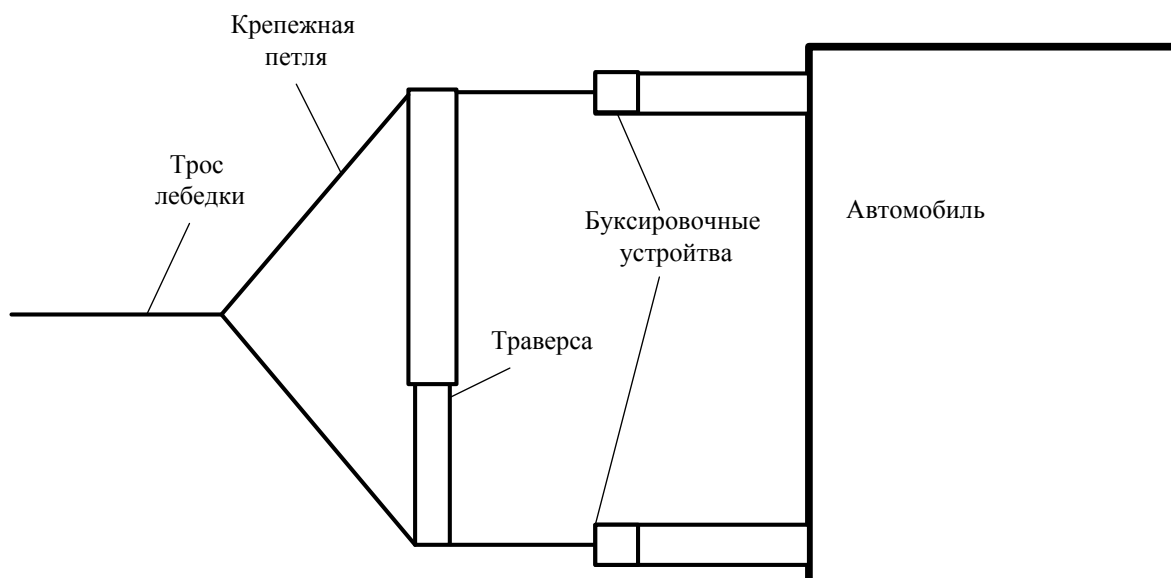


Рисунок 2. Схема крепления троса к буксировочным устройствам

Важными критериями при проектировании устройства выступали его габаритные размеры. Устройство не должно быть громоздким для обеспечения возможности его транспортировки при выезде на пожар. При расчете размеров

учитывался тот факт, что конструкция буксировочного устройства должна обеспечивать перемещение самых крупных по габаритам и массе легковых автомобилей. Принимая во внимание габариты наиболее крупных легковых автомобилей, сде-

лали вывод, что расстояние от переднего или заднего бампера до оси не превышает 1500 мм. Следовательно, разрабатываемое устройство должно иметь габариты рамы более этого значения. Учитывая этот факт, раму устройства предлагается выполнить раздвижной с изменением длины от 1500 до 2500 мм. Высоту стойки предлагается принять 1000 мм, исходя из удобства закрепления за трос лебедки автомобиля или ручной лебедки. Важным моментом является расположение опор-

ного ролика устройства. Ролик должен быть расположен наиболее близко к колесу, но в то же время помещаться под днищем автомобилей с наименьшим дорожным просветом. Принимая максимальный диаметр шин равным 700 мм, предлагается разместить ролик на расстоянии 400 мм от оси колеса. Таким образом, пришли к основным габаритным размерам проектируемого устройства, представленным на рисунке 3.

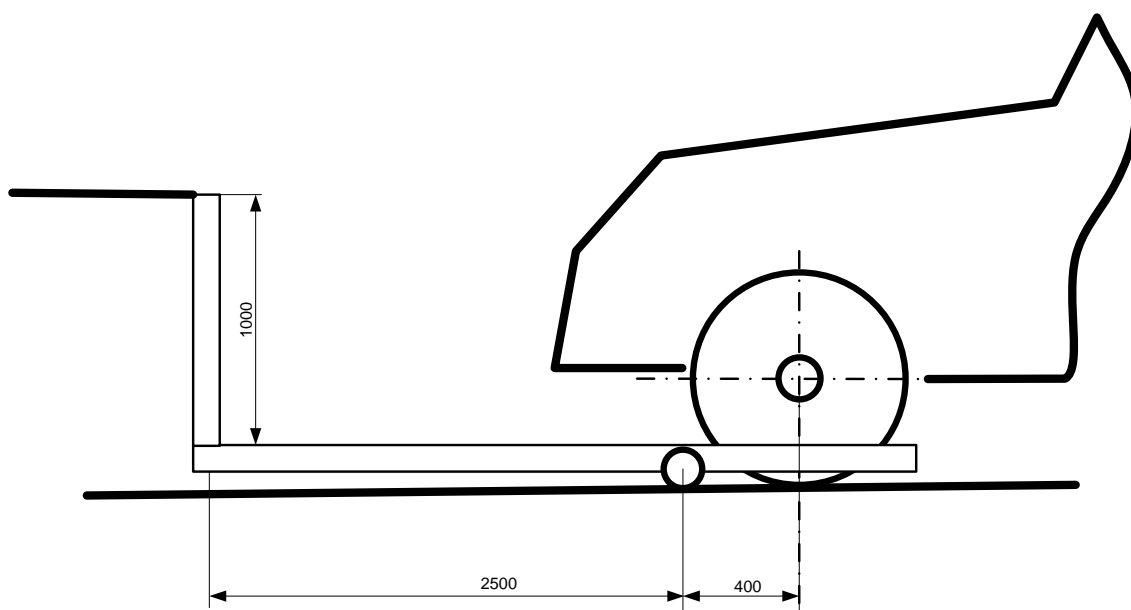


Рисунок 3. Основные габаритные размеры устройства

Как отмечалось выше, для обеспечения минимальных транспортировочных габаритов необходимо выполнить отдельные элементы устройства складными. Это относится к раме и стойке. Стойку предлагается выполнить складной вдоль рамы в транспортном положении.

Для снижения нагрузки на шарнир стойки предлагается установить трос от верхней части стойки к раме, под углом 30° . Общая компоновка устройства в сложенном состоянии представлена на рисунке 4.

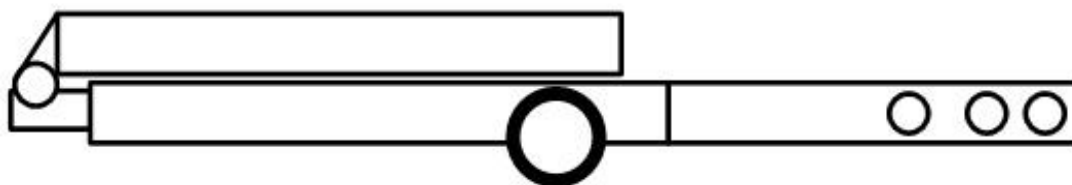


Рисунок 4. Устройство в сложенном состоянии

Таким образом, за счет складывания мы получаем достаточно компактное

устройство, которое может транспортироваться на место вызова в пожарном ав-

томобиле или храниться на парковках. Предлагаемое устройство для перемещения легковых автомобилей на парковках при пожарах позволит повысить эффек-

тивность работы пожарных подразделений и снизить риск распространения огня на большие площади.

Литература

1. Авдеев М. В. Технология ремонта машин и оборудования / М. В. Авдеев, Е. А. Воловик, И. Е. Ульман. М., 2007. 357 с.
2. Кирсанов Е. А., Новиков С. А. Основы конструкции, расчета и эксплуатации технологического оборудования для АТП. Ч. 1. М., 2007. 81 с.
3. Зарубин В. П. и др. Разработка передвижной мастерской для проведения технического обслуживания пожарных автомобилей // Техносферная безопасность. 2017. № 4 (17). С. 3–7.
4. Азизов И. И., Карханов А. В., Киселев В. В. Актуальность разработки и применения мобильных подъемных устройств для проведения ремонта пожарной техники // Надежность и долговечность машин и механизмов: сборник материалов IX Всероссийской научно-практической конференции. – 2018. – С. 3–5.
5. Киселев В. В. Мобильные подъемные устройства для проведения технического обслуживания пожарных автомобилей // Исторический опыт, современные проблемы и перспективы образовательной и научной деятельности в области пожарной безопасности: сборник тезисов докладов материалов международной научно-практической конференции. – 2018. – С. 361–364.

References

1. Avdeev M. V. Volovik E. A., Ul'man I. E. Tekhnologiya remonta mashin i oborudovaniya. M., 2007. 357 p.
2. Kirsanov E. A., Novikov S. A. Osnovy konstrukcii, rascheta i ekspluatatsii tekhnologicheskogo oborudovaniya dlya ATP. CH. 1. M., 2007. 81 p.
3. Zarubin V. P. et al. Razrabotka peredvizhnoj masterskoj dlya provedeniya tekhnicheskogo obsluzhivaniya pozharnyh avtomobilej // Tekhnosfernaya bezopasnost'. 2017. № 4 (17). P. 3–7.
4. Azizov I. I., Karhanov A. V., Kiselev V. V. Aktual'nost' razrabotki i primeneniya mobil'nyh pod"emnyh ustrojstv dlya provedeniya remonta pozharnoj tekhniki // Nadezhnost' i dolgovechnost' mashin i mekhanizmov: sbornik materialov IX Vserossijskoj nauchno-prakticheskoi konferencii. – 2018. – P. 3–5.
5. Kiselev V. V. Mobil'nye pod"emnye ustrojstva dlya provedeniya tekhnicheskogo obsluzhivaniya pozharnyh avtomobilej // Istoricheskij opyt, sovremennye problemy i perspektivy obrazovatel'noj i nauchnoj deyatel'nosti v oblasti pozharnoj bezopasnosti: sbornik tezisov dokladov materialov mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoi konferencii. – 2018. – P. 361–364.

УДК 614.8:5

chistanal@rambler.ru

**УПРАВЛЕНИЕ ПРОФИЛАКТИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ
НА ОСНОВЕ МАТРИЧНОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ РИСКОВ****MANAGEMENT OF PREVENTIVE ACTIVITIES
AT RISK-BASED REPRESENTATION**

*Прус Ю. В., доктор физико-математических наук, профессор,
РГУ нефти и газа (НИУ) им. И. М. Губкина, Москва,
Чистякова А. А., Всероссийский ордена «Знак Почета»
научно-исследовательский институт
противопожарной обороны МЧС России, Балашиха,
Россинская К. Г., кандидат технических наук,
Академия Государственной противопожарной
службы МЧС России, Москва*

*Prus Yu. V., RSU of Oil and Gas (NRU) I. M. Gubkin, Moscow,
Chistyakova A. A., All-Russian Research Institute
for Fire Protection of EMERCOM of Russia, Balashikha,
Rossinskaya K. G., Academy of the State Fire Service
of the EMERCOM of Russia, Moscow*

Описывается история развития математического аппарата теории техногенных, природных и пожарных рисков, обосновывается целесообразность перехода к векторно-матричной форме представления рисков. Предлагается дискретно-событийная имитационная модель совокупности рисков в социотехнической системе, описывающая последовательность событий, приводящих к возникновению и реализации опасностей. Авторами рассматривается вариант адаптации предлагаемой модели к управлению профилактической работой по обеспечению пожарной безопасности в жилом секторе.

Ключевые слова: техногенный риск, природный риск, пожарный риск, социотехническая система, риск-ориентированный подход, случайный процесс, система обеспечения безопасности.

The history of the development of the mathematical apparatus of the theory of technogenic, natural and fire risks is described, the feasibility of the transition to a vector-matrix form of risk representation is justified. A discrete-event simulation model of the totality of risks in the socio-technical system is proposed, which describes the sequence of events leading to the emergence and implementation of dangers. The authors are considering the option of adapting the proposed model to the management of preventive work to ensure fire safety in the residential sector.

Keywords: technological risk, natural risk, fire risk, socio-technical system, risk-oriented approach, random process, security system. *Keywords:* technological risk, natural risk, fire risk, socio-technical system, risk-oriented approach, random process, security system.

Развитие общественных институтов и социальных организаций, формирование социально-информационной инфраструктуры создают условия, способ-

ствующие значительному снижению рисков гибели населения при реализации соответствующих федеральных и региональных целевых программ.

Однако, несмотря на проводимые профилактические мероприятия, основные социально-экономические потери от пожаров происходят в жилом секторе. Так, в Российской Федерации от пожаров в 2014 году погибло – 10253 человека, травмировано – 11089 человек (из них в жилом секторе погибло 9339 человек) в 2015 году погибло – 9419 человек, травмировано – 10977 человек (из них в жилом секторе 8515 человек), в 2016 году погибло – 8760 человек, травмировано – 9909 человек (из них в жилом секторе 7982 человека), в 2017 году погибло – 7824 человека, травмировано – 9361 человек (из них в жилом секторе 7211 человек) [5].

Многолетние исследования международной пожарной статистики, проводимые Н. Н. Брушлинским, С. В. Соколовым, Е. М. Алехиным [1], доказали эффективность подхода к представлению индивидуального риска как комбинации рисков, обусловленных вероятностью реализации опасности, а также условной вероятностью наступления определенного вида последствий.

К пожарным рискам относятся:

риск R_1 для человека столкнуться с пожаром (его опасными факторами) за единицу времени. Удобно этот риск измерять в единицах $\left[\frac{\text{пожар}}{\text{чел.} \cdot \text{год}} \right]$;

риск R_2 для человека погибнуть при пожаре (оказаться его жертвой). Здесь единица измерения имеет вид $\left[\frac{\text{жертва}}{\text{пожар}} \right]$;

риск R_3 для человека погибнуть от пожара за единицу времени $\left[\frac{\text{жертва}}{\text{чел.} \cdot \text{год}} \right]$.

Очевидно, что эти риски связаны соотношением

$$R_3 = R_1 \cdot R_2. \quad (1)$$

Риск R_1 характеризует возможность реализации пожарной опасности, а риски R_2 и R_3 – некоторые последствия этой реализации.

В качестве пожарных рисков, характеризующих материальный ущерб от пожаров, используются следующие риски:

риск R_4 уничтожения строений в результате пожара, $\left[\frac{\text{уничт. строение}}{\text{пожар}} \right]$;

риск R_5 прямого материального ущерба от пожара, $\left[\frac{\text{денежная единица}}{\text{пожар}} \right]$.

Поиск эффективных способов моделирования, мониторинга и управления рисками в социотехнических системах требует развития современных методов учета и анализа многомерных статистических данных. Для полноты описания техногенных, природных и пожарных рисков необходимо использование новых форм представления их показателей [1–3].

При имитационном моделировании сложной структуры совокупности рисков в социотехнических системах традиционно применяются методы дискретно-событийного моделирования, основанные на рассмотрении хронологической последовательности событий, приводящих к возникновению и реализации опасностей. В [1, 2] предложено разбиение факторов риска на две группы, одна из которых связана с возникновением опасного явления и подверженностью его неблагоприятному воздействию, а другая – с уязвимостью подвергающихся опасности объектов, при этом ожидаемые последствия реализации опасности определяются некоторым мультипликатором указанных групп факторов.

На основе этого подхода авторами [1, 2] предложена применяемая в настоящее время методика сравнительного анализа статистических данных о пожарах, использующая при оценке уровня и определении основных причин пожарной опасности соответствующие показатели, получившие название «интегральные пожарные риски». В соответствии с [1] для оценки вероятности подвергнуться воздействию опасных факторов пожара вводится риск R_2 , а при разграничении по

степени тяжести последствий пожаров в указанной методике используются несколько интегральных пожарных рисков, такие как риск гибели, риски различных степеней травмирования и пр.

Дальнейшая детализация структуры рисков требует применения более сложного математического аппарата для разделения объектов защиты на отдельные группы, отличающихся по степени уязвимости, а также по подверженности воздействию опасных факторов. При использовании скалярного представления риска невозможно построить модель, позволяющую оперировать не только с последовательностью событий, обуславливающих возникновение факторов риска, но и с результатами их воздействия.

Перспективным направлением развития этого подхода представляется детализация объектов защиты по группам риска и видам последствий на основе векторно-матричного представления рисков [3]. Наиболее полное компьютерное имитационное моделирование динамики рисков в реальных социотехнических системах возможно на основе предложенного в [3] подхода к построению динамической модели социотехнической системы, заключающегося в учете текущих состояний и взаимного влияния входящих в рассматриваемую систему объектов, на основе векторно-матричного представления основных факторов пожарных и техногенных рисков.

В соответствии [3] социотехническая система представляется ориентированным графом:

$$O = \{O, V\}, \quad (2)$$

множество вершин которого соответствует находящимся на некоторой территории объектам:

$$O = \{o_i\}, \quad i = \{1, \dots, N\}, \quad (3)$$

а множество дуг:

$$V = \{v_{ij}\}, \quad v_{ij} = (o_i, o_j), \quad (4)$$

отражает попарное взаимодействие между указанными объектами.

Текущее состояние каждого объекта описывается вектором:

$$\vec{p}_j = (p_1^j, \dots, p_i^j, \dots, p_g^j), \quad (5)$$

компоненты которого p_i^j – вероятности пребывания j -го объекта в i -м состоянии [4].

Имитационное моделирование основано на следующих предположениях:

на каждом из объектов – «источников опасности» o_i в течение определенного временного интервала Δt возможно возникновение опасных событий вида k с вероятностью P_i^k ;

воздействие указанного опасного события на объект «защиты» o_j приводит к изменению его состояния и к возникновению «ущерба» как ряда возможных последствий:

текущее состояние объектов – «источников опасности» o_i , а также объектов защиты может влиять как на возникновение опасных событий, так и на их возможные последствия.

В случае реализации угрозы вида k , обусловленной опасным событием на объекте o_i , моделирование ущерба на объекте o_j требует представления рисков в векторной форме, что возможно при введении «вектора последствий», отражающего негативные последствия для объекта o_j защиты.

Необходимо ввести «вектор возможных последствий», характеризующий возможные негативные последствия, а также «вектор ожидаемых последствий», характеризующий ожидаемые в течение определенного времени негативные последствия.

Для определения компонентов вектора возможных последствий, обусловленных наступлением опасного со-

бытия, вектор текущего состояния объекта защиты связывается с условными вероятностями различных последствий реализации угрозы вида k с помощью оператора:

$$\vec{v}_i = \vec{p}_j^0 \mathbf{S}_j^{k_i}. \quad (6)$$

Компоненты s_{lm}^k матрицы оператора $\mathbf{S}_j^{k_i}$ характеризуют уязвимость объекта o_j к негативному воздействию k и представляют условные вероятности наступления последствий $m = \{1, \dots, M\}$ в зависимости от исходного состояния объекта защиты $l = \{1, \dots, L\}$ [4]:

$$\mathbf{S}_j^{k_i} = \begin{pmatrix} s_{11}^k & \dots & s_{1M}^k \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ s_{L1}^k & \dots & s_{LM}^k \end{pmatrix}. \quad (7)$$

$$\vec{r}_j = (r_1^j, \dots, r_m^j, \dots, r_M^j) = (v_1^j P_i^k, \dots, v_m^j P_i^k, \dots, v_M^j P_i^k). \quad (9)$$

Компоненты вектора ожидаемых последствий (8) можно рассматривать как композицию двух событий:

первое, наступающее с вероятностью P_i^k , событие «объект o_j подвергается опасности вида k при наступлении соответствующего опасного события на объекте o_i »;

второе, характеризуется условной вероятностью v_m^j , событие «наступление негативного последствия s для объекта o_j вследствие реализации угрозы» [4, 5].

Это позволяет трактовать компоненты вектора вероятных последствий как показатели ущерба, а сам вектор вероятных последствий применять в качестве характеристики совокупности однородных рисков.

Выбор оптимальных решений при обеспечении противопожарной и противоаварийной защиты может быть основан на изучении возможности изменения степеней уязвимости, характеризуемыми соответствующими значениями компонент матрицы оператора (7) с учетом текущего состояния объектов защиты [5].

«Вектор ожидаемых последствий», характеризующий степень риска для объекта защиты, можно представить следующим образом:

$$\vec{r}_j = \vec{v}_j P_i^k. \quad (8)$$

Компоненты вектора ожидаемых последствий представляют собой произведение отдельных возможных негативных для объекта защиты последствий на вероятность наступления в течение определенного временного интервала Δt соответствующего опасного события:

Вместе с тем, существующие способы оценки индивидуальных рисков на основе анализа имеющихся статистических данных не позволяют в полной мере реализовать риск-ориентированный подход при управлении профилактической деятельностью. Для определения совокупности направленных на максимальное предотвращение социально-экономических потерь мероприятий необходимо создание соответствующего инструментария, позволяющего выявить статистические закономерности для распределения объектов генеральной совокупности по группам риска, и детализации ущерба по степени тяжести.

Для построения векторно-матричной модели, позволяющей детализировать аспекты рисков, связанные с комбинацией случайных событий, с одной стороны, а также сопровождающим эти события обстоятельствами и воздействиями на объект защиты, с другой, актуализируем основные положения и введем ряд дополнительных элементов модели.

Совокупность объектов целесообразно разбить на n групп (кластеров) и

представить в виде вектора распределения объектов защиты по группам риска:

$$\vec{C} = (c_1, \dots, c_i, \dots, c_n) , \quad (10)$$

при этом компоненты c_i вектора распределения объектов определяются количеством представителей в соответствующем кластере. В качестве критериев, определяющих разбиение совокупности объектов по кластерам, предлагается использовать статистические характеристики показателей риска.

В случае нормировки компонентов (нахождение доли в общем распределении)

$$c_i / \sum_{i=1}^n c_i \quad (11)$$

$$\mathbf{V} = \begin{pmatrix} v_1 & \dots & 0 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & \vdots & v_i & \vdots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & \dots & 0 & \dots & v_n \end{pmatrix}, \quad (12)$$

Тогда распределение опасных событий по отдельным кластерам можно представить вектором \vec{F} (от английского frequency – частота), компонентами которого являются частотные характеристики соответствующих кластеров. Указанный

данный вектор является аналогом вектора состояния системы.

При обработке статистических данных необходимо наряду с оценкой уязвимости объектов защиты предусмотреть возможность проведения оценки их подверженности опасному воздействию.

Составляющую риска, отражающую подверженность объектов защиты опасному воздействию, можно представить диагональной матрицей \mathbf{V} (виктимность от лат. victima – жертва), компоненты которой v_i соответствуют отдельным кластерам c_i и определяются вероятностными характеристиками, подвергнутся опасностям определенного вида.

вектор может быть найден как произведение вектора \vec{C} распределения объектов по определенным группам риска на матрицу виктимности \mathbf{V} :

$$\vec{F} = \vec{C}\mathbf{V} = (c_1, \dots, c_i, \dots, c_n) \begin{pmatrix} v_1 & \dots & 0 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & \vdots & v_i & \vdots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & \dots & 0 & \dots & v_n \end{pmatrix} = (f_1, \dots, f_i, \dots, f_n), \quad (13)$$

Составляющую риска, отражающую уязвимость объектов защиты, представим прямоугольной матрицей \mathbf{S} (от английского sensitivity – чувствительность), компоненты которой характеризуют уязвимости отдельных представителей кластеров c_i и определяются условными вероятностями s_{ij} наступления по-

следствий вида j для объектов защиты из c_i .

В соответствии с [3] введем «вектор ожидаемых потерь», компоненты которого характеризуют составляющие ожидаемого ущерба по видам последствий для совокупности объектов защиты:

$$\vec{D} = (d_1 \dots d_m) = \vec{C} \mathbf{V} \mathbf{S} = \vec{F} \mathbf{S} =$$

$$= (f_1, \dots, f_i, \dots, f_n) \begin{pmatrix} s_{11} & \dots & s_{1n} \\ \dots & \dots & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \dots & \dots & \dots \\ s_{n1} & \dots & s_{nn} \end{pmatrix}. \quad (14)$$

Компоненты вектора \vec{D} представляют собой произведение частотных характеристик распределения опасных событий по отдельным кластерам совокупности объектов защиты на условные вероятности наступления определенных видов последствий.

Отдельные составляющие ожидаемого ущерба (14) обусловлены композицией наступления отдельных негативных для совокупности объектов защиты событий:

первое, имеющее вероятность v_i , событие «объект из кластера c_i подвергается опасности»;

второе, с условной вероятностью s_{ij} , событие «возможность наступления

негативного последствия d_j для объекта из кластера c_i вследствие реализации рассматриваемой угрозы» [4].

Каждая компонента вектора ожидаемых потерь представляет собой сумму ожидаемых потерь вида j по всем кластерам:

$$d_j = \sum_{i=1}^n c_i v_i s_{ij}. \quad (15)$$

Индивидуальный риск последствий вида j , усредненный по всем кластерам, определяется отношением соответствующей компоненты вектора ожидаемых потерь к мощности множества (совокупности) объектов

$$\{\sum_{i=1}^n c_i\}: R^j = d_j = \frac{d_j}{\sum_{i=1}^n c_i} = \frac{\sum_{i=1}^n c_i v_i s_{ij}}{\sum_{i=1}^n c_i}. \quad (16)$$

Индивидуальный риск последствия вида j характеризуется отношением вклада отдельного кластера в d_j к его мощности $\{c_i\}$ для представителя выбранного кластера:

$$R_i^j = v_i s_{ij}. \quad (17)$$

Объединяя вышеуказанные риски, в соответствии с подходом [3], введем вектор индивидуального риска по кластерам

$$\vec{R}_i = (R_i^1, \dots, R_i^j, \dots, R_i^m). \quad (18)$$

А также общий для совокупности объектов индивидуальный риск:

$$\vec{R} = (R^1, \dots, R^j, \dots, R^m). \quad (19)$$

Планируемая деятельность, направленная на снижение компонент рисков, как на представителей отдельных кластеров \vec{R}^1, \vec{R} общего риска.

Предлагаемая модификация векторно-матричной модели рисков достаточно адекватно описывает относящиеся к определенным группам объектов защиты цепочки взаимосвязанных событий, а также результат каждой возможной комбинации случайных событий. Элементы векторно-матричной модели и связи между ними отражают такие свойства объектов защиты, как подверженность определенного вида опасностям и их уязвимость.

Авторами предлагается следующий вариант адаптации

предлагаемой модели к управлению профилактической работы по обеспечению пожарной безопасности в жилом секторе. Компоненты основных элементов модели основываются на статистических характеристиках показателей риска и экспертных оценках.

Определим компоненты вектора ожидаемого ущерба, отражающие следующее распределение по видам последствий для объектов защиты (людей):

- d_1 – гибель;
- d_2 – тяжелые травмы;
- d_3 – травмы средней тяжести;
- d_4 – легкие травмы.

Определим компоненты вектора распределения объектов защиты по группам риска. С учетом возрастной классификации, трудоспособности, различий по половым признакам, места проживания, физических параметров предложено следующее разбиение объекта по уязвимости:

- c_1 – дети и подростки до 18 лет;
- c_2 – трудоспособное население (мужчины 16–64 лет, женщины 16–59 года);
- c_3 – лица старше трудоспособного возраста (мужчины 65 лет и старше, женщины 60 лет и старше);
- c_4 – инвалиды и лица с ограниченными возможностями.

Каждой из перечисленных групп соответствует одна из четырех групп риска.

Проведение оценки подверженности воздействиям опасных факторов пожара для каждой группы риска позволяет определить компоненты v_i матрицы виктимности (12). При этом у представителей отдельных групп риска существует вероятность наступления различных пожароопасных событий, на которую оказывают влияние их психофизиологические и возрастные особенности.

Определение вероятности различных видов исхода при условии, что представитель определенной группы риска подвергся воздействию опасных факторов пожара, т. е. компонент s_{ij} матрицы (7) основывается на анализе данных о пожарах и их последствиях из [6].

Такая модификация векторно-матричной модели позволяет ввести новые показатели эффективности отдельных профилактических мероприятий, необходимых для определения единых подходов и требований к планированию профилактической деятельности в целом. Детализация объектов защиты, в частности распределение населения по группам риска, позволяет определить комплекс профилактических мероприятий по повышению культуры безопасности, сделать профилактические мероприятия адресными, учитывающими специфику групп риска, а также оптимизировать затраты на оснащение жилого сектора средствами противопожарной защиты.

Литература

1. Брушлинский Н. Н., Соколов С. В., Клепко Е. А. Основы теории пожарных рисков и ее приложения. М., 2012. 192 с.
2. Брушлинский Н. Н., Соколов С. В. Современные проблемы обеспечения пожарной безопасности в России. М., 2014. 178 с.
3. Прус Ю. В. и др. Моделирование структуры и динамики техногенных и пожарных рисков в социотехнических системах // Технологии техносферной безопасности. 2014. № 4. С. 16.
4. Прус Ю. В. Структура и тензорные характеристики техногенных рисков // Проблемы обеспечения безопасности при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. 2014. № 1 (3). 264 с.
5. Присяжнюк Н. Л. и др. Социотехнические системы. Проблемы рисков безопасности // Вестник Санкт Петербургского университета ГПС МЧС России. 2017. № 2.
6. Пожары и пожарная безопасность в 2017 г.: статистический сборник. М., 2018. 125 с.
7. Прус Ю. В., Присяжнюк Н. Л., Чистякова А. А. Управление техногенными, природными и пожарными рисками на основе динамической стохастической модели угроз в социотехнической системе //

XXIX Международная научно-практическая конференция, посвященная 80-летию ФГБУ ВНИИПО МЧС России. М., 2017. С. 193–196.

8. Словарь-справочник по социальной работе / под ред. Е. И. Холостовой. М., 1997. 424 с.

References

1. Brushlinskij N. N., Sokolov S. V., Klepko E. A. Osnovy teorii pozharnyh riskov i ee prilozheniya. М., 2012. 192 p.

2. Brushlinskij N. N., Sokolov S.V. Sovremennye problemy obespecheniya po-zharnoj bezopasnosti v Rossii. М., 2014. 178 p.

3. Prus YU. et al. Modelirovanie struktury i dinamiki tekhnogennyh i pozharnyh riskov v sociotekhnicheskikh sistemah // Tekhnologii tekhnosfernoj bezopasnosti. 2014. № 4. 16 p.

4. Prus YU. V. Struktura i tenzornye harakteristiki tekhnogennyh riskov // Problemy obespecheniya bezopasnosti pri likvidacii posledstvij chrezvychajnyh situacij. Voronezhskij institut GPS MCHS Rossii. 2014. № 1 (3). 264 p.

5. Prisyazhnyuk N. L et al. Sociotekhnicheskie sistemy. Problemy riskov bezopasnosti // Vestnik Sankt Peterburgskogo universiteta GPS MCHS Rossii. 2017. № 2. 121 p.

6. Pozhary i pozharnaya bezopasnost' v 2017 g.: statisticheskij sbornik. М., 2018. 125 p.

7. Prus YU. V. Prisyazhnyuk N. L., CHistyakova A. A. Upravlenie tekhnogenymi, pri-rodnyimi i pozharnymi riskami na osnove dinamicheskoy stohasticheskoy modeli ugroz v sociotekhnicheskoy sisteme //XXIX Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferen-ciya, posvyashchennaya 80-letyu FGBU VNIPO MCHS Rossii. М., 2017. P. 193–196.

8. Slovar'-spravochnik po social'noj rabote / pod red. E. I. Holostovoj. М., 1997. 424 p.

УДК 628.74.05:006.354

poluninga@mail.ru

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ПОЖАРНОГО РИСКА
ДЛЯ ЗДАНИЙ, СООРУЖЕНИЙ И ПОЖАРНЫХ ОТСЕКОВ
ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ Ф1.2, Ф2-Ф4
С ПОМОЩЬЮ УЧЕТА В ПРОЦЕССЕ РАСЧЕТА НАЛИЧИЯ
ПРОТИВОПОЖАРНЫХ ДВЕРЕЙ**

**IMPROVEMENT OF FIRE RISK CALCULATION METHODS
FOR BUILDINGS, STRUCTURES AND FIRE COMPARTMENTS
OF THE FUNCTIONAL FIRE HAZARD F1-F4 BY ACCOUNTING
IN THE PROCESS OF CALCULATING THE AVAILABILITY
OF FIRE DOORS**

*Тряпицын А. Б., кандидат технических наук, доцент,
Полунин Г. А., кандидат технических наук,
Южно-Уральский государственный университет, Челябинск*

*Tryapitsyn A. B., Polunin G. A.,
South Ural State University, Chelyabinsk*

С 2008 года с выходом Технического регламента «О требованиях пожарной безопасности» начался переход к новому риск-ориентированного подходу обеспечения пожарной безопасности в зданиях и сооружениях на территории РФ. Новый подход был воспринят профессиональным сообществом неоднозначно. Многие специалисты в области пожарной безопасности вполне обосновано его критиковали. Анализ критических замечаний применительно к риск-ориентируемому подходу обеспечения пожарной безопасности проведен в статье. Однако гибкое нормирование, закрепленное в Техническом регламенте «О требованиях пожарной безопасности», имеет и целый ряд преимуществ, к которым следует отнести возможность стимулирования владельцев зданий и сооружений к использованию различных технических средств, обеспечивающих повышение пожарной безопасности находящихся в них людей. Далеко не все технические средства учитываются при расчетах пожарного риска. В статье предлагается изменение методики расчета пожарного риска за счет учета наличия противопожарных дверей в процессе расчета. Внесение таких изменений позволит, на наш взгляд, в перспективе обеспечить более эффективную локализацию пожара в зданиях и сооружениях, а следовательно, повысить уровень безопасности людей в этих зданиях. Владельцам зданий и сооружений измененная методика расчета пожарного риска обеспечит большую гибкость выбора совокупности технических средств для обеспечения пожарной безопасности находящихся в них людей.

Ключевые слова: пожар, противопожарная дверь, эвакуация, блокирование путей эвакуации, пожарный риск.

Since 2008, with the release of the technical regulation «On Fire Safety Requirements», a transition has begun to a new risk-based approach to ensuring fire safety in buildings and structures in the Russian Federation. The new approach was perceived ambiguously by the professional community. Many experts in the field of fire safety justifiably criticized him. The analysis of critical remarks in relation to the risk-based

approach to ensuring fire safety was carried out in this article. However, the flexible standardization enshrined in the technical regulation «On Fire Safety Requirements» has a number of advantages, which include the ability to stimulate the owners of buildings and structures to use various technical means to increase the fire safety of people in them. Unfortunately, not all technical means are taken into account when calculating fire risk. In this article, we propose changes to the methodology for calculating fire risk by taking into account the presence of fire doors in the calculation process. The introduction of these changes will allow, in our opinion, in the future to ensure a more effective localization of the fire in buildings and structures, and, therefore, to increase the safety of people in these buildings. The owners of buildings and structures, the modified methodology for calculating fire risk will provide greater flexibility in choosing a set of technical means to ensure the fire safety of people in them.

Keywords: fire, fire door, evacuation, blocking escape routes, fire risk.

В соответствии с законом «О пожарной безопасности» [1] пожар – неконтролируемое горение, причиняющее материальный ущерб, вред жизни и здоровью граждан, интересам общества и государства.

Использование новых технологий строительства, строительных материалов и архитектурных решений приводит к необходимости в индивидуальном подходе к обеспечению требований пожарной безопасности строящихся и реконструируемых зданий. Обеспечить такой индивидуальный подход позволяет [2], где указано, что пожарная безопасность объекта защиты считается обеспеченной при выполнении одного из следующих условий: в полном объеме выполнены требования пожарной безопасности, установленные техническими регламентами, принятыми в соответствии с Федеральным законом «О техническом регулировании», и пожарный риск не превышает допустимых значений, установленных в [2]; в полном объеме выполнены требования пожарной безопасности, установленные техническими регламентами, принятыми в соответствии с Федеральным законом «О техническом регулировании» и нормативными документами по пожарной безопасности.

Федеральный закон «Технический регламент о пожарной безопасности» [2] ввел новые для российского нормативно-правового поля принципы риск-

ориентированного подхода к обеспечению пожарной безопасности. Ключевым понятием такого подхода стало понятие пожарного риска как вероятности гибели одного человека в течение года от воздействия опасных факторов пожара. Приемлемое значение пожарного риска согласно [2] не должно превышать 10^{-6} в год на человека.

Новые принципы нормирования специалистами в области пожарной безопасности подвергаются критике, которая по мере более широкого использования нового подхода становится, на наш взгляд, все более конструктивной.

В первую очередь подверглись критике значения допустимого пожарного риска, законодательно установленные в 123 ФЗ [2]. Более сорока лет назад, начиная с 1976 г., оценивалась не гибель человека, а только вероятность воздействия на человека опасных факторов пожара, включая их предельно допустимые значения. Если человек находится некоторое время под воздействием предельно допустимых значений опасных факторов пожара, то он может получить отравление, ожоги и даже погибнуть, если он не успеет покинуть здание, в котором произошел пожар. Соответственно, вероятность воздействия опасных факторов пожара больше, чем смерть человека в результате их воздействия. В действующем техническом регламенте значение допус-

тимого уровня осталось тем же, хотя понятие гибели человека гораздо серьезнее, чем вероятность воздействия на него опасных факторов пожара.

Также критикуется введенное с 1976 г. нормативное значение индивидуального пожарного риска (вероятность воздействия опасных факторов пожара на людей по более ранним документам или вероятность гибели человека по более поздним документам), равное 10^{-6} в год

на человека, которое принято за аксиому и до настоящего времени не обосновывается или проверяется на возможность достижения или выполнимости.

В таблице представлена динамика пожаров и их последствий в РФ за 2014 – 2018 годы. За 2018 год общее количество пожаров и количество погибших и пострадавших людей на пожарах возросло по сравнению с 2017 годом [3].

Таблица
Динамика пожаров и их последствий в РФ

Год	Показатель, характеризующий динамику пожаров и их последствия	Сведения о пожарах и их последствиях в РФ
2014	Количество пожаров, ед.	153002
	Количество погибших, чел.	10253
	Количество погибших на 1 млн жителей РФ, чел.	70,5
2015	Количество пожаров, ед.	146209
	Количество погибших, чел.	9419
	Количество погибших на 1 млн жителей РФ, чел.	64,2
2016	Количество пожаров, ед.	139703
	Количество погибших, чел.	8760
	Количество погибших на 1 млн жителей РФ, чел.	59,7
2017	Количество пожаров, ед.	133077
	Количество погибших, чел.	7828
	Количество погибших на 1 млн жителей РФ, чел.	53,2
2018	Количество пожаров, ед.	132074
	Количество погибших, чел.	7913
	Количество погибших на 1 млн жителей РФ, чел.	53,8

Из данных таблицы видно, что фактическое значение вероятности гибели при пожаре в РФ превышает приемлемое значение более чем в 50 раз.

Методики расчета пожарного риска, в том числе и актуальные, подвергаются обоснованной критике. Самые серьезные сомнения, публикуемые в научных статьях, касаются оспаривания самой возможности расчета пожарных рисков методами математического описания параметров внутренних пожаров твердых горючих материалов по численным значениям опасных факторов пожара. По мнению авторов, основные параметры динамики внутренних пожаров (линейная

скорость распространения пожара, площадь пожара, массовая скорость выгорания горючей нагрузки, количество и состав продуктов сгорания при внутренних пожарах) известны современной науке о горении с погрешностью не менее 150–300 %. Поэтому, по мнению противников действующей методики, при расчете значений пожарного риска возможна погрешность в размере до 500–1000 % [4].

Подвергаются сомнению и значения вероятностей возникновения пожаров в здании, которые установлены методикой без статистического либо методологического обоснования. Вероятности воз-

никновения пожара для одних и тех же групп зданий в различных нормативных документах могут иметь различные значения; к примеру значение вероятности возникновения пожара в складах многономенклатурной продукции в МДС 21-3.2001 имеет величину $9,4 \cdot 10^{-6}$ и более поздних Рекомендациях по оценке пожарных рисков для промышленных предприятий имеет величину $9,0 \cdot 10^{-5}$ различаются почти в 10 раз.

Актуальны вопросы о наличии различий в сценариях и продолжительности эвакуации людей при расчете и при реальных пожарах, что обусловлено иным (нерасчетным) поведением людей. К примеру, при пожаре в торговом центре «Адмирал», произошедшем 11 марта 2015 года, люди погибли по причине того, что уже после завершения эвакуации в безопасную зону они вернулись в горящее здание с целью спасения материальных ценностей [5]. Также поведение людей может отличаться от расчетного вследствие нахождения людей в наркотическом или алкогольном опьянении или нахождения под воздействием сильнодействующих лекарственных препаратов.

Наиболее актуальным является вопрос корректного применения нормативной документации, действовавшей в различные периоды времени. Это связано с тем, что подавляющее большинство объектов защиты введено в эксплуатацию до принятия технического регламента [2] и современной расчетной методики [6], соответственно возникает вопрос о правомерности применения актуальных документов на старые объекты.

Следует отметить, что понимание принципов обеспечения пожарной безопасности, заложенной в 123 ФЗ, со стороны профессионального сообщества так же менялись. Если изначально считалось, что все отклонения от требований пожарной безопасности могут быть обоснованы расчетами пожарного риска, то по мере использования методики выяснилось, что обоснованными могут считаться только

отклонения от требований, которые учитываются в расчетах пожарного риска: несоответствующая требованиям пожарной безопасности площадь оконных проемов в лестничной клетке, отсутствие внутреннего противопожарного водопровода в здании расчетом пожарного риска не учитывается, а следовательно такие отклонения от требований пожарной безопасности должны быть обязательно устранены вне зависимости от величины расчетного значения индивидуального пожарного риска.

Введенные федеральным законом [2] требования к пожарной безопасности устанавливают процедуру оценки пожарной безопасности объекта защиты, согласно которой ряд требований, изложенных в сводах правил, регламентирующих вопросы пожарной безопасности, не обязательны для выполнения, если расчетное значение пожарного риска не превышает 10^{-6} . Методика расчета пожарного риска для зданий, сооружений и пожарных отсеков функциональной пожарной опасности Ф1.2, Ф2–Ф4 утверждена Приказом МЧС № 382 [6]. Согласно этой методике возможно обосновать отсутствие или не соответствие требованиям сводов правил, регламентирующих требования к системам обеспечения пожарной безопасности: системам автоматического пожаротушения, оповещения при пожаре, системам управления эвакуацией, системам дымоудаления, не соответствие требованиям пожарной безопасности путей эвакуации и эвакуационных выходов. В тех случаях, когда значение пожарного риска оказывается неприемлемым, предусмотрена разработка компенсирующих мероприятий, которые бы позволили повысить пожарную безопасность граждан, после чего расчет пожарного риска проводится с учетом предлагаемых компенсационных мероприятий.

Одним из эффективнейших мероприятий, повышающих пожарную безопасность, является установка противопожарных дверей. Противопожарные двери

в качестве наружных и внутренних конструкций могут быть установлены в любых производственных помещениях, жилых или общественных зданиях, однако на практике размещаются там, где это четко предусмотрено проектом либо определено заключением инспектора пожарного надзора согласно требованиям [2] и [7].

В соответствии с нормативной документацией [2] участки зданий, сооружений и помещения с различными классами пожарной опасности обязательно должны быть отделены друг от друга ограждающими противопожарными конструкциями с нормируемыми пределами огнестойкости. При этом требования к ним определяются с учетом функциональной пожарной опасности помещений и предельной величины пожарной нагрузки.

Противопожарные двери задерживают распространение по зданию продуктов горения и термического разложения, что позволяет существенно увеличить время блокирования опасными факторами пожара путей эвакуации и эвакуационных выходов, что в свою очередь позволяет гражданам своевременно покинуть горящее здание. Минимальное время, в течение которого противопожарная дверь обеспечивает защиту от пожара, составляет не менее 30 минут, чего вполне достаточно для безопасной эвакуации граждан из здания.

Следует отметить, что такое эффективное средство не учитывается в процессе расчета пожарного риска. В этой публикации мы предложим изменения в методике расчета и оценки пожарного риска [6], которые бы позволили устранить этот недостаток.

В соответствии с методикой расчета пожарного риска [6] рассматривается самый опасный вариант развития событий – когда все двери, в том числе и противопожарные, открыты. Таким образом, наличие или отсутствие противопожарных дверей внутри пожарного отсека

не влияет на распространение дыма, продуктов горения и термического разложения внутри здания. Вместе с тем здравый смысл позволяет утверждать, что противопожарные двери позволяют существенно повысить время блокирования путей эвакуации, а следовательно, дать больше времени гражданам безопасно покинуть здание.

Проще всего учесть наличие противопожарных дверей в здании можно при расчете времени блокирования путей эвакуации и эвакуационных выходов из здания опасными факторами пожара – при моделировании считаем эти двери закрытыми. Такой подход обладает несколькими недостатками.

Во-первых, появляется возможность при использовании противопожарных дверей на выходе из всех помещений, в которых размещается источник пожара в соответствии с расчетом пожарного риска, обеспечить приемлемый уровень риска при нарушении почти всех требований пожарной безопасности, изложенных в сводах правил [7–11]. Это значительно повысит фактический уровень пожарной опасности в здании, а со временем почти наверняка приведет к человеческим жертвам.

Во-вторых, на практике часть доводчиков может оказаться неисправными, в процессе эвакуации значительную часть времени, когда через них проходит поток граждан, противопожарные двери могут оказаться открытыми, а следовательно, расчетное значение блокирования путей эвакуации окажется значительно больше фактического – а следовательно, не все люди успеют покинуть здание в случае пожара при приемлемом расчетном значении пожарного риска. Это также негативно влияет на фактический уровень безопасности.

В-третьих, использование противопожарных дверей, которые, вне всякого сомнения, повышают пожарную безопасность большинства граждан, находящихся в здании, может несколько снизить

пожарную безопасность отдельных групп людей. В частности, расчетное время блокирования выхода из помещения, где произошел пожар, при условии закрытой противопожарной двери может оказаться существенно меньше, чем в случае, когда эта дверь в процессе расчета считается открытой. Возможны ситуации, когда использование противопожарной двери на пути эвакуации приведет к уменьшению времени блокирования этого пути.

Исходя из вышеперечисленного целесообразно ввести коэффициент, учитывающий наличие противопожарных дверей. Нами предлагается следующий алгоритм применения этого коэффициента.

Рассчитывается вероятность эвакуации при условии, что все противопожарные двери закрыты. С использованием для вычисления времени блокирования путей эвакуации и эвакуационных выходов специальных программ такое вычисление не потребует значительных затрат времени. Если полученное значение вероятности эвакуации, рассчитанное в соответствии с методикой [6], составит 0,999, то для расчета пожарного риска может быть использован коэффициент, который мы предлагаем рассчитывать следующим образом:

$$K_{\text{ПД}} = (1 - (1 - K_{\text{Обн}} \cdot K_{\text{Д}}) \cdot (1 - K_{\text{Д}} \cdot K_{\text{СОУЭ}})), \quad (1)$$

где $K_{\text{Д}}$ – коэффициент, учитывающий наличие и соответствие требованиям противопожарных дверей; $K_{\text{Д}}=0,8$, если противопожарные двери установлены и соответствуют требованиям пожарной безопасности, иначе $K_{\text{Д}}=0$;

$K_{\text{Обн}}$ – коэффициент, учитывающий соответствие системы пожарной сигнализации требованиям нормативных документов по пожарной безопасности; $K_{\text{Обн}}=0,8$, если пожарная сигнализация соответствует требованиям [10], иначе $K_{\text{Обн}}=0$;

$K_{\text{СОУЭ}}$ – коэффициент, учитывающий соответствие системы оповещения

людей о пожаре и управления эвакуацией людей требованиям нормативных документов по пожарной безопасности; $K_{\text{СОУЭ}}=0,8$, если системы оповещения людей о пожаре и управления эвакуацией людей соответствуют требованиям [8], иначе $K_{\text{СОУЭ}}=0$.

Расчетное значение пожарного риска для зданий, сооружений и пожарных отсеков классов функциональной пожарной опасности Ф1.2, Ф2-Ф4 в этом случае предлагается получить в соответствии со следующей формулой:

$$Q_{\text{В},i} = Q_{\text{П},i} \cdot (1 - K_{\text{АП},i}) \cdot P_{\text{ПР},i} \cdot (1 - P_{\text{Э},i}) \cdot (1 - K_{\text{ПЗ},i}) \cdot (1 - K_{\text{ПД},i}), \quad (2)$$

Авторами допускается, что предлагаемые изменения к методике расчета пожарного риска могут иметь недостатки, которые хотелось бы обсудить с профессиональным сообществом до предложения внесения изменений в методику расчета пожарного риска.

Заключение

Для повышения пожарной безопасности в зданиях и сооружениях классов функциональной пожарной опасности Ф1.2, Ф2-Ф4 авторами предлагается внести в методику расчета пожарного риска изменение, связанное с учетом наличия на путях эвакуации противопожарных дверей. Наличие дверей предлагается учесть с помощью специального коэффициента. Использование предлагаемого коэффициента позволит снизить расчетное значение пожарного риска при использовании противопожарных дверей, соответствии требованиям пожарной безопасности систем обнаружения пожара, оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре почти на порядок. Это стимулирует владельцев зданий к использованию таких средств противопожарной защиты в соответствии с риск-ориентируемой концепцией обеспечения пожарной безопасности. Вместе с тем, применение этой методики не позволит

недобросовестным проектировщикам «обеспечить выполнение требований пожарной безопасности» только за счет использования противопожарных дверей при нарушении требований пожарной безопасности, изложенных в сводах правил [7–11]. Дополнительный расчет вероятности эвакуации при условии закрытых

противопожарных дверей, который предлагается авторами как необходимое условие использования коэффициента, гарантирует то, что пожарная безопасность при использовании этого средства защиты не приведет к критическому ухудшению безопасности групп граждан в отдельных помещениях здания.

Литература

1. О пожарной безопасности: Федеральный закон от 21.12.1994 № 69 (ред. от 26.07.2019). Гл. 1 Ст. 1. С. 2.
2. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности: федеральный закон от 22.07.2008 № 123 (ред. от 26.07.2019).
3. Пожары и пожарная безопасность в 2018 году: статистический сборник / под общ. ред. Д. М. Гордиенко. М., 2019. 125 с.
4. Абдурагимов И. М. Еще раз о принципиальной невозможности выполнения расчетов пожарных рисков детерминированными методами // Пожаровзрывобезопасность. 2013. № 6. С. 13–23.
5. Адмирал. Битва за невинность. Новая газета. URL: <https://www.novayagazeta.ru/articles/2015/03/21/63501-171-admiral-187-bitva-za-nevinovnost>.
6. Приказ 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» (ред. от 2.12.2015).
7. СП 1.13130.2009 Системы противопожарной защиты. Эвакуационные пути и выходы (с Изменением № 1).
8. СП 3.13130.2009 Системы противопожарной защиты. Система оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре. Требования пожарной безопасности.
9. СП 4.13130.2013 Системы противопожарной защиты. Ограничение распространения пожара на объектах защиты. Требования к объемно-планировочным и конструктивным решениям.
10. СП 5.13130.2009 Системы противопожарной защиты. Установки пожарной сигнализации и пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования (с Изменением № 1).
11. СП 7.13130.2013 Отопление, вентиляция и кондиционирование. Требования пожарной безопасности.

References

1. O požarnoj bezopasnosti: federal'nyj zakon ot 21.12.1994 № 69 (red. ot 26.07.2019). Gl. 1 St. 1. P. 2.
2. Tekhnicheskij reglament o trebovaniyah požarnoj bezopasnosti: federal'nyj zakon ot 22.07.2008 № 123 (red. ot 26.07.2019).
3. Pozhary i požarnaya bezopasnost' v 2018 godu: statisticheskij sbornik. M., 2019. 125 p.
4. Abduragimov I. M. Eshche raz o principial'noj nevozmozhnosti vypolneniya raschetov požarnyh riskov determinirovannymi metodami // Pozharovzryvobezopasnost'. 2013. № 6. P. 13–23.
5. Admiral. Bitva za nevinnost'. Novaya gazeta. URL: <https://www.novayagazeta.ru/articles/2015/03/21/63501-171-admiral-187-bitva-za-nevinovnost>.
6. Prikaz MCHS RF ot 30 iyunya 2009 g. № 382 «Ob utverzhenii metodiki opredeleniya raschetnyh velichin požarnogo riska v zdaniyah, sooruzheniyah i stroeniyah razlichnyh klassov funkcional'noj požarnoj opasnosti» (red. ot 2.12.2015).
7. SP 1.13130.2009 Sistemy protivopozharnoj zashchity. Evakuacionnye puti i vyhody (s Izmeneniem № 1).
8. SP 3.13130.2009 Sistemy protivopozharnoj zashchity. Sistema opoveshcheniya i upravleniya evakuaciej lyudej pri požhare. Trebovaniya požarnoj bezopasnosti.
9. SP 4.13130.2013 Sistemy protivopozharnoj zashchity. Ogranichenie rasprostraneniya požara na ob"ektah zashchity. Trebovaniya k ob"emno-planirovochnym i konstruktivnym resheniyam.
10. SP 5.13130.2009 Sistemy protivopozharnoj zashchity. Ustanovki požarnoj signalizacii i požarotusheniya avtomaticheskie. Normy i pravila proektirovaniya (s Izmeneniem № 1).
11. SP 7.13130.2013 Otoplenie, ventilyaciya i kondicionirovanie. Trebovaniya požarnoj bezopasnosti.

УДК 614.84

avkalach@gmail.com

**МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ ГОРЮЧЕЙ СРЕДЫ
НА ОСНОВЕ ВЕЩЕСТВ, ОБРАЩАЮЩИХСЯ
НА ОБЪЕКТАХ НЕФТЕГАЗОВОГО КОМПЛЕКСА**

**FIRE HAZARD ASSESSMENT METHODOLOGY FOR COMBUSTIBLE MEDIUM
BASED ON SUBSTANCES HANDLING AT OIL AND GAS FACILITIES**

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

*Калач Е. В., кандидат технических наук, доцент
Воронежский государственный технический университет, Воронеж*

*Kalach A. V., Cherepakhin A. M., Kalach E. V.,
Voronezh State Technical University, Voronezh*

В статье приведены статистические данные по аварийности на объектах нефтегазового комплекса и представлен подход к описанию пожарной опасности, основанный на использовании обобщенного критерия пожарной опасности и методики оценки пожарной опасности горючей среды, обращаемой на объектах нефтегазового комплекса, на его основе. Представлена блок-схема предлагаемой методики.

Ключевые слова: аварии, горючая среда, нефтегазовый комплекс, обобщенный критерий, пожарная опасность.

The article provides statistical data on accidents at oil and gas complex facilities and presents the approach to fire hazard description, based on the use of the generalized fire hazard criterion and the method of fire hazard assessment of the combustible medium used at oil and gas complex facilities, based on it. A block diagram of the proposed technique is presented.

Keywords: Accidents, Fuel Environment, Oil and Gas Complex, Generalized Criterion, Fire Hazard.

В настоящее время вопросы обеспечения пожарной безопасности объектов нефтегазового комплекса стоят как никогда остро, поскольку произошел резкий скачок роста строительства объектов нефтегазовой отрасли промышленности. Вместе с ростом предприятий разрабатывались новые методики технологических процессов, которые повысили коэффициент обращения горючих газов и легковоспламеняющихся жидкостей на производственных объектах. На всех объектах нефтегазового комплекса постоянно присутствуют или находятся в обороте зна-

чительные объемы взрывоопасных веществ, что в свою очередь увеличивает риск возникновения пожара при аварийных ситуациях. Кроме того, усугубляющим является факт нахождения объектов производства в непосредственной близости к населенным пунктам, что может привести к многочисленным жертвам, при возникновении аварий и пожаров. Еще одним отрицательным моментом является постоянное хранение легковоспламеняющихся веществ и материалов на достаточно небольшой территории.

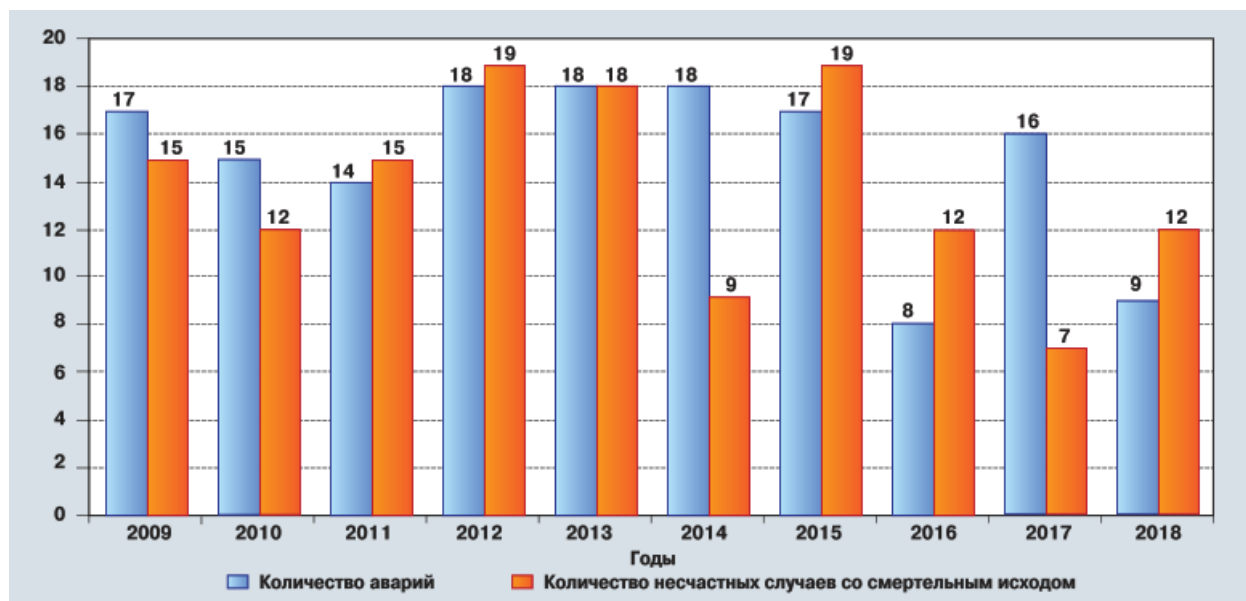


Рисунок 1. Динамика аварийности и производственного травматизма со смертельным исходом на объектах нефтегазодобычи в 2009–2018 годах

В 2019 г. экономический ущерб на объектах нефтегазодобывающей промышленности составил 40 млн рублей. Статистика взрывов, пожаров и выбросов опасных веществ в атмосферу в период с 2015–2017 гг. идёт на увеличение. Например, динамика роста пожаров за период с 2009–2018 гг. приведена на рис. 1 [1].

Анализ статистических данных показывает, что основными причинами возникновения аварий на объектах нефтегазового комплекса являлись внутренние опасные факторы, связанные с разгерметизацией и разрушением технических устройств (11 %), ошибки персонала, связанные с нарушением требований организации и производства газоопасных, огневых и ремонтных работ, а также организации работ по обслуживанию оборудования (89 %) [1].

При этом наибольшая часть опасных явлений, которые произошли на объектах нефтегазового комплекса, были реализованы в виде пожаров и взрывов 67 %, причем, 55,75 % всех пожаров и взрывов приходится на склады нефти и нефтепродуктов [2].

Все эти факторы предъявляют новые требования к дальнейшему развитию

и совершенствованию системы мероприятий предупреждения и ликвидации пожаров на объектах хранения нефтепродуктов.

Актуальной задачей является научное обоснование принципов и способов обеспечения промышленной и пожарной безопасности на предприятиях промышленности за счет установления взаимосвязей между пожарной опасностью горючей среды и составом веществ, обращающихся на объектах нефтегазового комплекса, в частности, в исследовательских лабораториях, например, при контроле качества нефтепродуктов.

Установлено, что физико-химические свойства горючей среды состава «тетрахлорметан – органический растворитель» за счет отклонения от закона Рауля приводят к уменьшению $t_{кип}$ по сравнению с $t_{кип}$ чистых компонентов, что в свою очередь увеличивает пожарную опасность.

Продуманы новые возможности описания пожарной безопасности, которые основаны не на функции риска, а на обобщенном критерии пожарной безопасности. Этот критерий может быть определен суммой нормированных на значения для i -го показателя безопасности

(свойства гипотетической горючей среды, имеющей оптимальное значение i -го показателя) R_F (1), определяемом на основе экспертных оценок [3, 4]

$$R_F = \sum_{i=1}^m a_i (x_i^s / x_i^w), \quad (1)$$

где R_F – критерий пожарной опасности для s -го компонента (растворителя), x_i^s – величина i -го показателя для s -го варианта горючей среды, a_i – коэффициент веса для i -го показателя, x_i^w – нормирующее значение для i -го показателя безопасности (свойства гипотетической горючей среды, имеющей оптимальное значение i -го показателя), m – количество показателей.

В качестве нормирующего значения для i -го параметра x_i^w в уравнении (1) на основе экспертного заключения взяты технологически приемлемые значения, характерные для горючей среды, применяемой на объектах нефтегазового комплекса. Определены пределы применимости обобщенного критерия. Для этого выполнены расчеты обобщенного критерия пожарной опасности для 70 индиви-

дуальных и 30 смешанных горючих сред, использующихся в нефтегазовой комплексе.

Обобщенный критерий, обладал следующими параметрами: температура кипения ($t_{\text{кип}}$), температура самовоспламенения ($t_{\text{СВП}}$) и давление пара над растворителем ($P_{\text{ПАР}}$), ПДК в воздухе рабочей зоны, температура вспышки ($t_{\text{ВСП}}$).

Чем ниже показатель R_F , тем более опасной является горючая среда. Для возможности проведения количественных расчетов в качестве вещества была выбрана вода (нетоксичная и негорючая), показатель ПДК условно приняли за 3000, а $t_{\text{ВСП}}$ и $t_{\text{СВП}}$ присвоили значение 1000. Для $t_{\text{ВСП}}$ и $t_{\text{СВП}}$ негорючих полига-логенпроизводных углеводородов, таких как хлороформ, ЧХУ и др., был использован аналогичный прием. Установленная последовательность пожарной опасности смеси в целом сохраняется при достаточно широкой вариации весовых коэффициентов. Вследствие анализа обобщенного критерия пожарной опасности была разработана методика, блок-схема которой приведена на рис. 2.

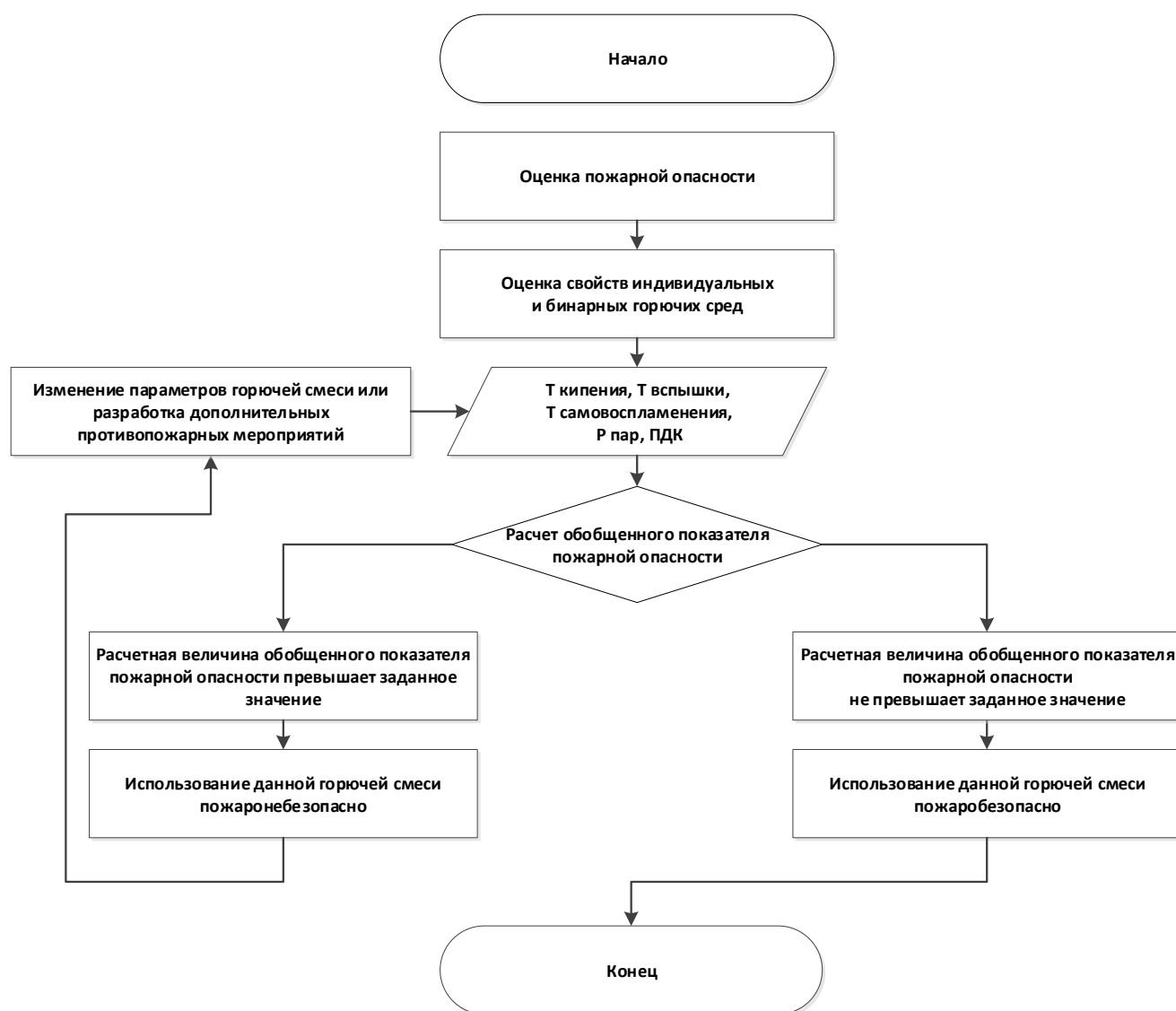


Рисунок 2. Блок-схема методики оценки пожарной опасности горючей среды на основе веществ, обращающихся на объектах нефтегазового комплекса

Разработанная нами методика позволяет количественно оценить по обобщенному критерию пожарную и экологическую опасность горючей смеси, не выполняя экспериментальных измерений по определению ее физико-химических характеристик.

Таким образом, предложена методика оценки пожарной опасности горючей среды, обращающейся на объектах нефтегазового комплекса, на основе обобщенного критерия, позволяющая исключать возникновение и неконтролируемое

развитие пожаров, способных привести к масштабным техногенным катастрофам пожара на объектах нефтегазового комплекса. Результаты диссертационного исследования могут быть использованы для количественного описания пожарной опасности горючих сред, установлении категорий объектов нефтегазового комплекса по взрывопожарной и пожарной опасности, при построении планов тушения пожаров, разработке и совершенствовании паспортов безопасности объектов защиты.

Литература

1. Годовой отчет о деятельности федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору в 2018 году. М., 2019. 410 с.
2. Дупляков Г. С. и др. Анализ и обобщение статистических данных по опасным техногенным явлениям на объектах нефтяной промышленности РФ // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2019. № 3. С. 7–12. URL: http://vestnik.sibpsa.ru/wp-content/uploads/2019/v3/N14_7-12.pdf.
3. Калач А. В., Черепакхин А. М., Калач Е. В. Взаимосвязь пожарной опасности с тяжестью последствий реализации пожароопасной ситуации на объектах нефтегазового комплекса с участием сложной гомогенной горючей среды / А. В. Калач, А. М. Черепакхин, Е. В. Калач // Техносферная безопасность. 2019. № 1 (22). С. 65–69.
4. Черепакхин А. М. и др. Пожарная опасность бинарных органических растворителей для жидкостной хроматографии // Пожаровзрывобезопасность. 2011. Т. 20. № 8. С. 9–11.

References

1. Annual Report on the Activities of the Federal Service for Environmental, Technological and Nuclear Supervision in 2018. M., 2019. 410 p.
2. Duplyakov G. S. et al. Analysis and synthesis of statistical data on dangerous man-made phenomena at oil industry facilities of the Russian Federation // Scientific and analytical journal Siberian Fire and Rescue Gazette, 2019. URL: http://vestnik.sibpsa.ru/wp-content/uploads/2019/v3/N14_7-12.pdf. P. 7.
3. Kalach A. V., Cherepakhin A. M., Kalach E. V. Relationship of fire hazard with severity of consequences of fire hazard situation at oil and gas complex facilities involving complex homogeneous fuel medium // Technospheric safety. 2019. № 1 (22). P. 65–69.
4. Turtle A. M. et al. Fire hazard of binary organic solvents for liquid chromatography // Fire and explosion safety. 2011. Vol. 20. № 8. P. 9–11.

УДК 614.841.26

demafa@mail.ru

**ИЗУЧЕНИЕ ЭКСТРАКТИВНЫХ КОМПОНЕНТОВ КОПОТИ
ПОСЛЕ ГОРЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ
В ПРИСУТСТВИИ ГОРЮЧИХ ЖИДКОСТЕЙ
МЕТОДОМ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ**

**EXAMINATION OF THE EXTRACTIVE COMPONENTS
OF THE SOOT AFTER BURNING OF DIFFERENT MATERIALS
IN THE PRESENCE OF FLAMMABLE LIQUIDS
BY MOLECULAR LUMINESCENCE**

*Медведев А. Ю.,
Уральский институт Государственной
противопожарной службы МЧС России, Екатеринбург,
Косенко Д. В., кандидат технических наук,
Дементьев Ф. А., кандидат технических наук, доцент,
Санкт-Петербургский университет Государственной
противопожарной службы МЧС России, Санкт-Петербург,
Ожегов Э. А., кандидат технических наук,
Уральский институт Государственной
противопожарной службы МЧС России, Екатеринбург*

*Medvedev A. Yu.,
The Ural Institute of State Firefighting Service of Ministry
of Russian Federation for Civil Defense, Yekaterinburg
Dement'ev F. A., Kosenko D. V.,
Saint Petersburg University of State Fire Service
of Emercom of Russia, Saint Petersburg,
Ozhegov E. A.,
The Ural Institute of State Firefighting Service of Ministry
of Russian Federation for Civil Defense, Yekaterinburg*

В статье проанализирован процесс образования копоти в результате горения различного вида пожарной нагрузки. Описан эксперимент по моделированию образования копоти на определенных объектах-носителях, в данном случае оконном стекле, в условиях максимально приближенных к реальному пожару. Изучены экстрактивные компоненты копоти, полученной после горения различных материалов в присутствии горючих жидкостей. Проведено исследование полученных образцов методом люминесцентного анализа гексановых экстрактов при разном режиме съемки спектров. Оценено влияние пробоотбора и пробоподготовки на получаемые результаты. Проведена обработка спектров люминесценции экстрактов копоти, показано, что можно четко дифференцировать копоть, полученную после горения разной пожарной нагрузки. Показана возможность обнаружения следов горючих жидкостей, оседающих на холодных поверхностях совместно с сажевыми частицами, а также их диагностики. Выявленные особенности химического состава экстрактов копоти имеют весьма информативный характер. Можно рекомендовать использование разработанной методики для поиска следов горючих жидкостей на относительно холодных по-

верхностях, покрытых копотью. Получены положительные результаты апробации методики, с помощью исследования экстрагируемых компонентов выявлены зоны с различной степенью прогрева в относительно низкотемпературном интервале от 20÷50 до 400 °С.

Ключевые слова: сажа, копоть, экстрактивные компоненты, люминесцентный анализ, горючая жидкость.

In the article was analyzed as the process of soot formation as a result of burning different types of fire load. An experiment is described to simulate soot formation on certain carrier objects, in this case glass, under conditions as close to a real fire. The extractive components of soot was obtained after burning various materials in the presence of flammable liquids were studied. A study of the obtained samples was carried out by the method of luminescent analysis of hexane extracts with different spectral recording modes. The influence of sampling and its preparation on the results was estimated. The luminescence spectra of soot extracts were obtained, and it is shown that after burning a different fire load can be clearly differentiated. The possibility of detecting traces of flammable liquids deposited on cold surfaces together with soot particles, as well as their diagnosis, is shown. The identified features of the chemical composition of soot extracts are very informative. It is possible to recommend using the developed methodology to search for traces of flammable liquids on relatively cold soot-covered surfaces. The positive results of testing the technique were obtained; using studies of the extracted components, zones with different degrees of heating in a relatively low temperature range from 20÷50 to 400 °С were identified.

Keywords: soot, soot, extractive components, luminescent analysis, flammable liquid.

В научной литературе и в практических руководствах к углеродистым образованиям, оседающим на стенах и иных конструкциях в условиях пожара, часто применяют наименование «сажа». Сажа представляет собой аморфный углерод, формирующийся в результате неполного сгорания углеводородов и других горючих материалов. Иногда также сажей неверно называют технический углерод, производимый в промышленных масштабах в качестве компонента наполнителя резин, пигмента, антистарителя пластмасс [1]. При соприкосновении с относительно холодными поверхностями на пожаре (не выше температуры 550–600 °С) твердые сажевые частицы оседают в виде копоти. Именно термин «копоть» является наиболее подходящим для названия этой субстанции, которая существует практически на любом пожаре. При этом копоть содержит помимо углерода большее или меньшее количество жидких экстрактивных компонентов. Состав этих компонентов может дать много ценной

информации относительно вида горючего материала, из которого сформировалась копоть. При высоком содержании экстрактивных компонентов копоть принято называть жирной, при низком – сухой, вплоть до практически чистого углерода. При температурах свыше 600 °С эти частицы полностью выгорают. Также они не оседают на поверхности, нагретые на пожаре свыше 600 °С [2].

Копоть представляет собой осевшую на конструкциях дисперсную фазу дыма. Состав продуктов горения, формирующих сажевые отложения, определяется условиями горения и природой материала [3]. Нерастворимая в органических растворителях составляющая копоти содержит углеродистые частицы и золу. Зольные минеральные компоненты попадают в дым и затем оседают в составе копоти в результате их отделения конвективными потоками от горящего материала. Интенсивнее горение способствует образованию большего количества зольных частиц материала способных перейти

в дисперсную фазу дыма и впоследствии осесть на поверхностях в составе копоти [4].

Экстрактивные органические соединения копоти образуются в зоне горения материалов. Именно их состав позволяет оценить состав горючего материала. Среди них могут находиться высоко конденсированные ароматические структуры и асфальтово-смолистые компоненты. В состав копоти могут также входить низкокипящие продукты пиролиза, адсорбируемые твердыми углеродистыми частицами. Сажа и копоть являются прекрасными сорбентами. Не исключено, что в случае нахождения на месте пожара горючих жидкостей, их пары тоже могут сорбироваться сажевыми частицами и осесть вместе с копотью [5].

Настоящая работа посвящена изучению экстрактивных компонентов копоти, оседающей на строительные конструкции в ходе пожара. Поскольку среди компонентов копоти существенную роль играют ароматические структуры, в качестве метода исследования был выбран метод молекулярной люминесценции. Молекулярная люминесценция является селективным методом именно по отношению к ароматическим структурам и дает возможность устанавливать их групповой состав. Кроме этого, люминесцентный метод имеет очень низкий предел обнаружения и высокую чувствительность при малых концентрациях анализируемых веществ [6].

Спектры люминесценции в настоящей работе получены на спектрофлуориметре «Флюорат-02-Панорама», выпускаемом НПФ «ЛЮМЕКС». Использовали два режима съемки спектров: первый режим – синхронное сканирование в диапазоне длин волн возбуждения 240–470 нм со смещением длины волны люминесценции 30 нм, коррекция – на опорный канал, шаг сканирования – 1 нм, чувствительность ФЭУ – минимальная;

- второй режим – сканирование по

регистрации: при длине волны возбуждения – 250 нм, диапазон длин волн люминесценции 270–470 нм, коррекция – на опорный канал, шаг сканирования – 1 нм, чувствительность ФЭУ – минимальная.

В качестве объекта исследования в работе была использована копоть, полученная при сгорании различных материалов, осаждавшаяся на стекле размером 40x40 см. В качестве материалов для исследования использовались: бензин АИ-92, сосновая древесина, резина, а также древесина с нанесенным на нее бензином. Выбор указанных объектов обусловлен спецификой их исследования в пожарно-технической экспертизе. Бензин – наиболее распространенный инициатор горения, используемый поджигателями. Дерево и резина – наиболее сложные объекты-носители для обнаружения на их поверхности следов горючих жидкостей. Пламенное горение материалов проводилось в течение 3÷5 минут до появления на стекле трещин или сильного закопчения. При помощи оптического пирометра измерялась температура нагрева стекла и стенок установки.

Пробоподготовка образцов для люминесцентного анализа заключалась в приготовлении экстрактов растворимых компонентов копоти. Для этого часть копоти со стекла отбиралась с помощью хлопчатобумажной ваты. Поскольку изначально не ставилась задача количественного определения экстрагируемых компонентов копоти, то масса копоти на вате не фиксировалась. В качестве экстрагента использовали гексан. Образец копоти на вате помещался в бюкс объемом 6 мл, туда же наливалось 5 мл гексана маркировки ХЧ. С помощью ультразвуковой ванны проводилось экстрагирование в течение 30 секунд. После этого экстракт фильтровался через фильтр «красная полоса» в чистый бюкс. Из полученного раствора отбирали 10 мкл, помещали в кювету спектрометра, туда же добавляли 3 мл гексана и проводили исследование.

На рисунке 1 показаны нормированные спектры люминесценции экстрактов копоти, образовавшейся при сгорании резины, древесины и бензина АИ-95. Спектры получены в режиме синхронного сканирования и нормированы по мак-

симальному значению интенсивности. Применение синхронной люминесценции позволяет анализировать достаточно сложные по составу смеси [6].

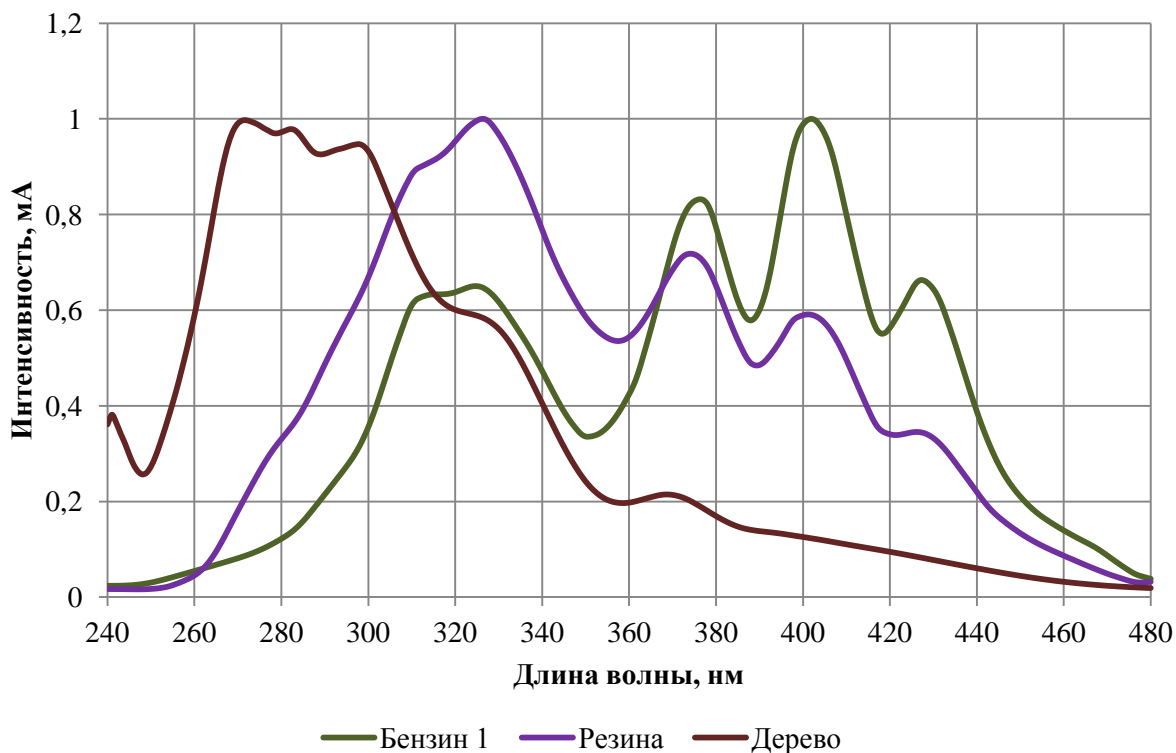


Рисунок 1. Спектры люминесценции экстрактов копоти в режиме синхронного сканирования

Изучение нормированных спектров дает наглядное представление о качественном составе образцов, не позволяя при этом оценивать количество экстрактивных компонентов в каждом образце. В спектре люминесценции бензина выделяется широкий максимум в диапазоне 300–340 нм, а также три узких максимума при 375, 405 и 425 нм. Максимумы люминесценции в диапазоне длин волн выше 400 нм связаны с наличием в экстрактах смолистых компонентов и окисленных структур [7, 8]. Фиолетовая флуоресценция окисленных нефтепродуктов является «универсальной флуоресценцией» карбонилсодержащих соединений [9]. Максимум при 375 нм характерен для полициклических аромати-

ческих углеводородов (ПАУ) [2]. Можно сделать вывод о том, что в копоти, полученной при горении бензина, содержится значительное количество ПАУ смол, являющихся продуктами пиролиза бензина. Этот диагностический признак может быть использован для выявления следов горения бензина.

В спектре люминесценции экстракта копоти, полученной при сгорании древесины, имеются интенсивные максимумы при 270, 280, 300 нм, связанные с люминесценцией бензола и толуола, максимум 330 нм, связанный с люминесценцией алкилзамещенных гомологов бензола и слабо интенсивный максимум при 370 нм, характерный для ПАУ. В спектре экстракта копоти, полученной при сгора-

нии резины, наиболее интенсивным является максимум люминесценции при 330 нм. Имеются также достаточно хорошо выраженные максимумы полициклических аренов и смолистых соединений. По этим признакам спектр экстракта копоти от сгорания резины напоминает спектр люминесценции копоти от сгорания бензина, что должно осложнить идентификацию бензина при его совместном присутствии с резиной на месте пожара. При сгорании древесины совместно с бензином, наоборот, вероятность диагностики бензина достаточна велика.

Аналогичные результаты были получены при исследовании экстрактивных

компонентов копоти в режиме сканирования по регистрации при длине волны возбуждения 250 нм (рисунок 2). Спектры люминесценции экстрактов копоти, полученной при сгорании бензина и древесины, существенно различаются между собой. Экстрагируемые компоненты копоти от сгорания резины по составу близки к копоти от сгорания бензина. Таким образом, и при этом режиме снятия спектров люминесценции диагностика бензина, находившегося на месте пожара совместно с резиновыми изделиями, также затруднена.

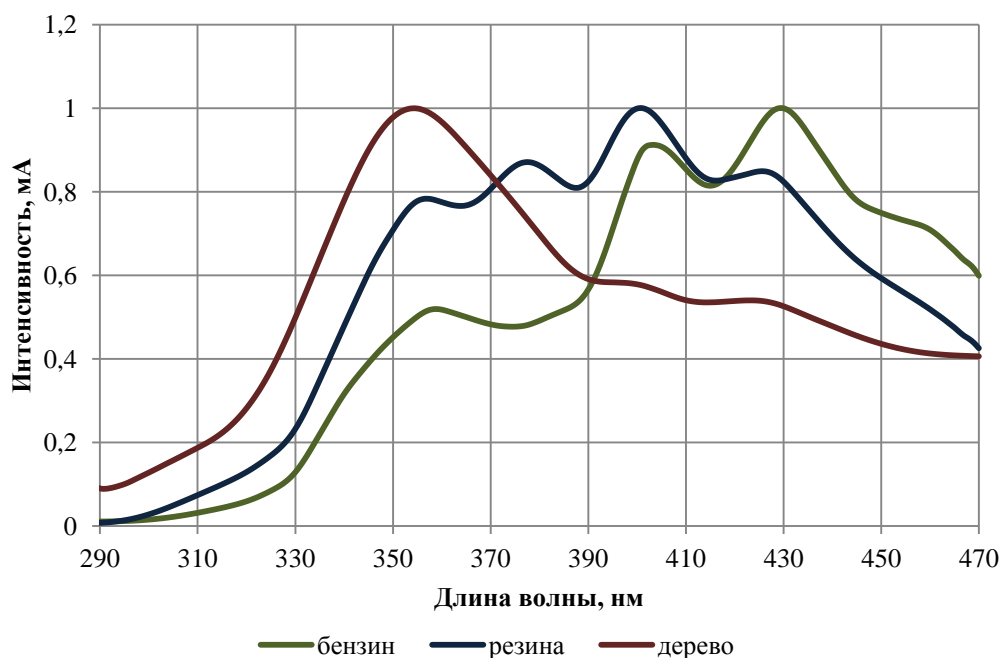


Рисунок 2. Спектры люминесценции экстрактов копоти в режиме сканирования по регистрации при длине волны возбуждения 250 нм

Для подтверждения предположения о возможности обнаружения следов горения бензина по результатам исследования экстрагируемых компонентов копоти в случае совместного горения бензина и древесины были проведены соответствующие исследования. На рисунке 3 представлены результаты исследования экстрактов копоти, полученной при сгорании чистой древесины, образцов, полу-

ченных после горения бензина и древесины в присутствии бензина в режиме синхронного сканирования со смещением 30 нм. Как видно, состав копоти, полученной при совместном горении древесины и бензина, практически полностью соответствует составу копоти, полученной при горении исходного бензина. Максимумов люминесценции, характерных для экстрактов копоти от сгорания

чистой древесины, в этом случае не фиксируется. В спектре доминируют макси-

мумы люминесценции экстрактов копоти от сгорания бензина.

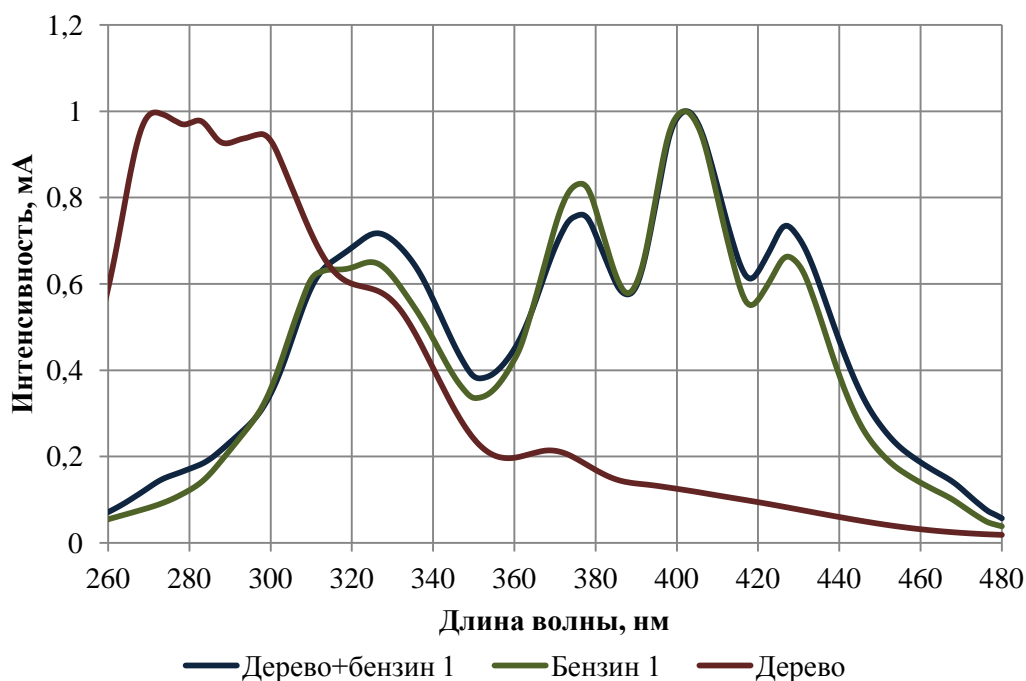


Рисунок 3. Спектры люминесценции экстрактов копоти в режиме синхронного сканирования

Следовательно, при исследовании объектов с преобладанием в составе пожарной нагрузки древесины люминесцентное изучение экстрагируемых компонентов копоти позволяет уверенно выявить следы горения бензина.

Аналогичные результаты получены при исследовании экстрактов копоти, полученных при сгорании этих же образцов в режиме сканирования по регистрации при длине волны возбуждения 250 нм. В этом случае также состав копоти, полученной при совместном горении бензина и древесины, практически полностью соответствует составу копоти, полученной при горении бензина (рисунок 4).

Таким образом, исследование экстрагируемых компонентов копоти позво-

ляет определить присутствие следов горения бензина. В режиме синхронного сканирования со смещением 30 нм признаком присутствия продуктов горения бензина является наличие широкой области люминесценции при 300–340 нм, а также трех четких максимумов при 375, 405 и 425 нм. В случае сканирования в режиме регистрации о присутствии следов горения бензина свидетельствует наличие двух максимумов 405 и 430 нм. С другой стороны, присутствие в пожарной нагрузке резины оказывает мешающее влияние на возможность обнаружения по результатам люминесцентных исследований следов горения бензина.

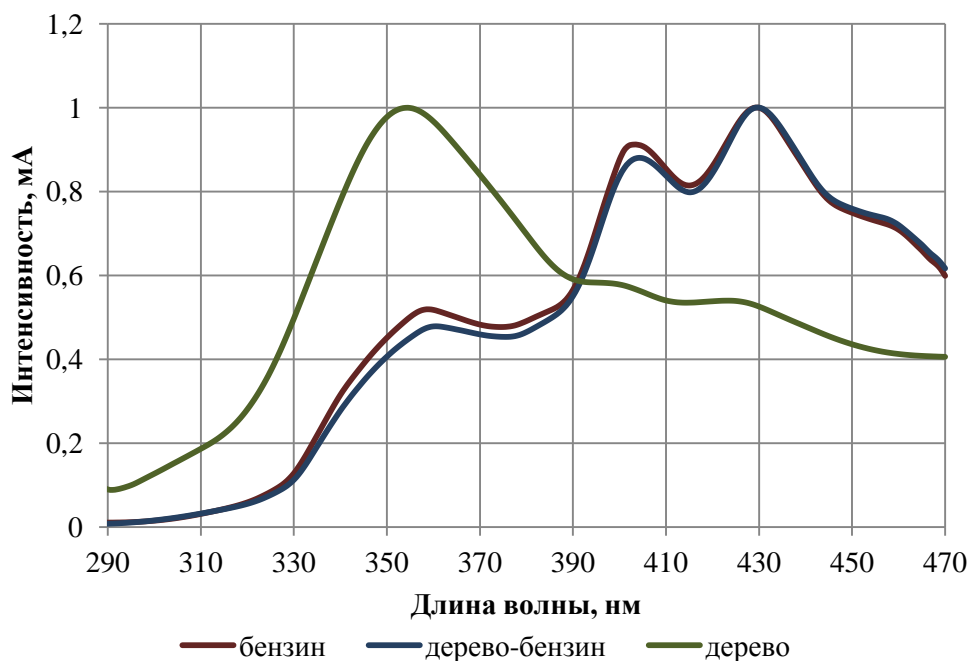


Рисунок 4. Результаты исследования экстрагируемых гексаном компонентов копоти в режиме сканирования по регистрации при длине волны возбуждения 250 нм

В работе также изучены экстракты копоти, осаждавшейся на поверхности, имеющие различные температуры (20, 200, 400 °С). Экстракты копоти, осаждавшейся на холодную поверхность (20 °С), имеют два четко выраженных максимума люминесценции при длинах волн 405 и 435 нм, что указывает на наличие в составе копоти смолистых компонентов, содержащих кислородсодержащие структуры. В экстрактах образца копоти, осаждавшейся на поверхность с температурой 200 °С, основным является максимум в диапазоне 370–380 нм, характерный для полициклических ароматических углеводородов. В этом спектре наблюдается также широко растянутый мало интенсивный коротковолновый максимум в диапазоне 280–300 нм. Это характеризует наличие в составе экстракта моноароматических структур. Общая интенсивность люминесценции экстракта копоти, собранной с поверхности, имеющей температуру 200 °С, примерно в два раза ниже интенсивности люминесценции экстракта копоти, собранной с холодной поверхности, что свидетельствует о частичном выгорании при этой темпе-

ратуре экстрактивных компонентов копоти. Копоть на поверхности с температурой 200 °С становится более сухой. Интенсивность люминесценции экстракта образца копоти, собранной с поверхности, имеющей температуру 400 °С, составляет всего 3 % от интенсивности люминесценции копоти, отобранной с холодной поверхности. В таком спектре имеются две растянутые зоны со слабыми максимумами в диапазоне 280–300 нм и 330–390 нм. Это характеризует наличие в данном образце моно- и полиароматических структур. Однако их содержание крайне мало. Указанный образец представляет собой, по существу, сухую копоть, состоящую практически из чистого углерода.

Для установления возможности диагностики следов горючих жидкостей, содержащихся в отложениях копоти, в конвективный поток, содержащий большое количество сажевых частиц, распылялось небольшое (не более 0,1 см³) количество горючей жидкости. Этим способом моделировалась ситуация, при которой в копоть могут быть вовлечены пары горючих жидкостей, находившихся на

месте пожара. Экстракты копоти, изъятые со свода экспериментальной установки, имеющего температуру 400 °С, в экспериментах с распылением горючих жидкостей как по интенсивности, так и по характеру спектров идентичны экстрактам копоти со свода, полученным в эксперименте без использования горючей жидкости. Никаких следов горючих жидкостей в этих образцах не зафиксировано.

Значения интенсивностей люминесценции экстрактов копоти, снятой с холодной поверхности в условиях распыления горючих жидкостей, превышают таковую у экстрактов исходной «холодной» копоти. В спектрах люминесценции имеются характерные черты, свойственные горючим жидкостям с максимумами 370–390 нм. В то же время в спектре экстракта копоти, имеющей характерные признаки наличия следов бензина, проявляются максимумы при 405 и 435 нм, свойственные продуктам пиролиза бензинов. По-видимому, пары бензина, попадающие в горячий конвективный поток, содержащий сажевые частицы, могут частично пиролизироваться. Наибольшая интенсивность люминесценции и, следовательно, наилучшая сохранность горючей жидкости зафиксирована в эксперименте с привнесением дизельного топлива. В спектре экстракта копоти со следами дизельного топлива также фиксируется максимум 435 нм, связанный с термопреобразованными компонентами.

Проведенные исследования показали, по составу экстрагируемых компонентов копоти, можно определить присутствие оседающих на холодных поверхностях совместно с сажевыми частицами компонентов горючих жидкостей. Обнаружить в составе копоти компоненты горючих жидкостей можно и после вторичного нагрева поверхностей. Этот метод позволяет дифференцировать температурные зоны на пожаре в низкотемпературной области, что делает его весьма перспективным для целей пожарнотехнической экспертизы. Наиболее под-

ходящим объектом-носителем для последующего отбора копоти следует назвать оконные стекла. Они отличаются химической инертностью, являются наиболее холодными поверхностями и, кроме того, разрушаясь на пожаре они падают внутрь помещения и сохраняются на полу, что оберегает копоть от вторичного высокотемпературного воздействия.

Установленные особенности состава экстрактов копоти имеют информативный характер. Проведенные исследования показали, что с помощью исследования экстрактов копоти можно устанавливать на местах пожаров зоны разной степени прогрева, этот подход работает в интервале температур от 20–50 до 400 °С.

Апробация методики была проведена с помощью исследования образцов, изъятых с пожара, произошедшего на одной из судоверфей в Санкт-Петербурге. Для исследования были предоставлены покрытые копотью изделия, изъятые из различных отсеков строящегося корабля, после произошедшего на нем пожара. Было проведено исследование копоти, осевшей на их поверхности. Отбор проб копоти осуществлялся посредством ватных тампонов, которые затем помещались в стеклянные колбы и заливались гексаном. Полученные гексановые экстракты очищались от механических примесей и исследовались на люминесцентном спектрометре.

Полученные спектры характеризовались высокой интенсивностью флуоресценции, что говорит о большом содержании продуктов неполного разложения материалов, составляющих горючую нагрузку. Можно сказать, что сложный состав копоти указывает на то, что представленные для исследования образцы не могли находиться при температурах выше 200–250 °С. Более высокотемпературный прогрев материалов должен был привести к разложению органических компонентов и отсутствию флуоресценции. Фиксирующиеся различия на спектрах показали дифференцировать пред-

ставленные на исследования объекты по степени прогрева на пожаре, так было отмечено, что изделие, находившееся в первом боксе, подверглось воздействию больших температур. Такой вывод был сделан на основании того, что спектр флуоресценции экстракта данного образца имеет основной максимум люминесценции в диапазоне 330–350 нм. Предварительные исследования показали, что такой характер спектра говорит о наличии в экстракте алкилзамещенных гомологов бензола. Эти выводы подтверждаются показаниями очевидцев, согласно которым первый бокс располагался непосредственно над помещением, где во время пожара происходило пламенное горение.

Экстракты копоти, осевшей на поверхности двух изделий, отобранных во втором боксе, имеют схожий характер спектров, отличающийся от экстракта образца, изъятого в первом боксе. Отличия в полученных спектрах экстрактов копоти из второго бокса позволяют оценить степень температурного воздействия на них. Люминесцентный анализ позволит выделить образец, подвергнутый наименьшему термическому воздействию (не более 50 °С), а именно изделие, отобранное в третьем боксе. Полученный спектр экстракта копоти с поверхности этого образца полностью идентичен спектру экстракта копоти, осажденной в лабораторных условиях на холодной поверхности. Вытянутая область люминесценции в диапазоне 320–380 нм и интенсивные максимумы флуоресценции при 405 и 430 нм на спектрах экстрактов копоти с поверхности изделия № 2 из второго бокса подтверждает то, что они подверглись

более высокому температурному воздействию, но не превышающему 100–150 °С.

Также методика установления разных температурных зон, основанная на исследовании экстрагируемых компонентов копоти, была применена при исследовании пожара на одном из складов Санкт-Петербурга. В этом случае для исследования были представлены образцы копоти, отобранной с помощью ватных дисков с упаковок изделий, находившихся в различных складских ячейках, и с закопченного потолка склада. Схожие значения интенсивности люминесценции экстрактов образцов показывают, что поверхности, с которых собраны образцы были прогреты до схожих значений температур. Наиболее сложный характер имеет спектр экстракта копоти, отобранной с потолка. Он характеризуется максимумами люминесценции в диапазонах 280–304, 340–385, 435 нм.

Спектры люминесценции экстрактов копоти, отобранной с поверхности упаковок в складских ячейках, характеризуются основным максимумом при 380–410 нм. Такой характер люминесценции соответствует экстрагируемым компонентам копоти, оседающей на поверхностях, расположенных на путях распространения дымовых потоков при сравнительно невысокой температуре (100–150 °С). Был выявлен образец, отличающийся спектром люминесценции экстракта, характерным для копоти, находящейся при температурах выше 450 °С, был сделан вывод, что этот образец располагался ближе остальных к очагу пожара.

Литература

1. Ивановский В. И. Технический углерод. Процессы и аппараты. Омск, 2004. 228 с.
2. Пожарно-техническая экспертиза / М. А. Галишев и др. СПб., 2014. 453 с.
3. Вакуленко С. В. Использование данных о составе и свойствах копоти при реконструкции пожара: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Санкт-Петербург, 2000.
4. Демидов П. Г., Саушев В. С. Горение и свойства горючих веществ. М., 1975. 279 с.
5. Галишев М. А. и др. Диагностика инициаторов горения, используемых для поджогов, на основании исследования летучих компонентов горючих жидкостей // Пожаровзрывобезопасность. 2005. № 3.

6. Левшин Л. В., Салецкий А. М. Люминесценция и ее измерения. Молекулярная люминесценция. М., 1989. 272 с.
7. Прингсгейм П. Флуоресценция и фосфоресценция. М., 1951. 622 с.
8. Карякин А. В., Галкин А. В. Флуоресценция водорастворимых компонентов нефтей и нефтепродуктов, формирующих нефтяное загрязнение вод // Журнал аналитической химии. 1995. Т. 50. № 11. С. 1178–1180.
9. Карякин А. В., Грибовская И. Ф. Методы оптической спектроскопии и люминесценции в анализе природных и сточных вод. М., 1987. 304 с.

References

1. Ivanovskij V. I. Tekhnicheskij uglerod. Processy i apparaty. Omsk, 2004. 228 p.
2. Pozharno-tekhnicheskaya ekspertiza / M. A. Galishev et al. SPb., 2014. 453 p.
3. Vakulenko S. V. Ispol'zovanie dannyh o sostave i svojstvah kopoti pri rekonstrukcii pozhara: dissertaciya na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk. Sankt-Peterburg, 2000.
4. Demidov P. G., Saushev V. S. Gorenje i svojstva goryuchih veshchestv. M., 1975. 279 p.
5. Galishev M. A. et al. Diagnostika iniciatorov gorenija, ispol'zuyushchihsya dlya podzhogov, na osnovanii issledovaniya letuchih komponentov goryuchih zhidkostej // Pozharovzryvobezopasnost', 2005. № 3.
6. Levshin L. V., Saleckij A. M. Lyuminescenciya i ee izmereniya. Molekulyarnaya lyuminescenciya. M., 1989. 272 p.
7. Pringsgejm P. Fluorescenciya i fosforescenciya. M., 1951. 622 p.
8. Karyakin A. V., Galkin A. V. Fluorescenciya vodorastvorimyh komponentov neftej i nefteproduktov, formiruyushchih neftyanoe zagryaznenie vod // ZHurnal analiticheskoj himii. 1995. Т. 50, № 11. P. 1178–1180.
9. Karyakin A. V., Gribovskaya I. F. Metody opticheskoj spektroskopii i lyuminescencii v analize prirodnyh i stochnyh vod. M., 1987. 304 p.

УДК 614:84

bezzaponnay@mail.ru

**ДИАГНОСТИКА ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПОЖАРА
НА ОГНЕЗАЩИТНЫЕ ПОКРЫТИЯ ИНТУМЕСЦЕНТНОГО ТИПА
МЕТОДАМИ ТЕРМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА**

**DIAGNOSTIC OF FIRE EXPOSURE TEMPERATURE
ON FIRE PROTECTIVE COATINGS OF AN INTUMESCENT TYPE BY
METHODS OF THERMAL ANALYSIS**

*Беззапонная О. В., кандидат технических наук, доцент,
Пискашева А. С.,
Ефимов И. А., кандидат юридических наук,
Выгузова Е. В., кандидат педагогических наук,
Глухих П. А.,
Уральский институт Государственной
противопожарной службы МЧС России, Екатеринбург*

*Bezzaponnaya O. V., Piskasheva A. S.,
Efimov I. A., Viguzova E. V., Gluhih P. A.,
The Ural Institute of State Firefighting Service of Ministry
of Russian Federation for Civil Defense, Yekaterinburg*

В статье описан методический подход для оценки термического воздействия на вспучивающиеся огнезащитные покрытия методами термического анализа для определения очага пожара. Установлено, что в качестве критериев для оценки температуры воздействия на огнезащитные покрытия интумесцентного типа целесообразно использовать: количество пиков на кривой дифференциальной термогравиметрии, потерю массы при температуре 500 °С и зольный остаток при температуре 900 °С. Приведены результаты применения методики диагностики температуры воздействия на огнезащитные покрытия интумесцентного типа методами термического анализа для определения очага пожара.

Ключевые слова: температура воздействия, очаг пожара, огнезащитные покрытия, термические методы анализа, термоаналитические характеристики.

The article describes a methodological approach for assessing the thermal effect on intumescent fire retardant coatings by thermal analysis methods and determining the source of fire. It has been established that as criteria for assessing the temperature of exposure to fire retardant coatings of an intumescent type it is advisable to use: the number of peaks on the differential thermogravimetric curve, weight loss at a temperature of 500 °C and ash residue at a temperature of 900 C. The results of applying the methodology for diagnosing the temperature of exposure to fire retardant coatings are presented intumescent type thermal analysis methods to determine the source of the fire.

Keywords: exposure temperature, fire source, fire retardant coatings, thermal methods of analysis, thermoanalytical characteristics.

Независимо от причины возгорания любой пожар несет за собой тяжелые последствия. Наиболее катастрофические

последствия несет разрушение опорных конструкций объектов, поскольку они являются наиболее важными элементами

любого здания. При этом металлические конструкции, быстро нагреваясь при пожаре, уже при 500 °С теряют несущую способность. Для повышения огнестойкости металлических конструкций применяют средства огнезащиты. Одним из наиболее эффективных и доступных способов придания огнестойкости металлоконструкциям является пассивная огнезащита с применением тонкослойных огнезащитных материалов интумесцентного типа. В последние годы в качестве огнезащитных средств для металлических конструкций в различных отраслях промышленности широко применяются вспучивающиеся (интумесцентные) материалы благодаря высоким огнезащитным свойствам, долговечности, относительной «экологичности» (отсутствию выделения токсичных веществ при горении), легкости и скорости монтажа [1]. Основным предназначением такого способа огнезащиты строительных конструкций является создание на поверхности конструкции покрытия, способного защищать конструкцию от нагрева в течение длительного времени.

В настоящее время накоплен значительный объём экспериментальных данных термолитиза лакокрасочных покрытий (ЛКП) различной химической природы (масляных, алкидных (пентафталевых, глифталевых), нитроцеллюлозных, их композиций [2–6]). Значительно меньше внимания исследователями уделено огнезащитным покрытиям (ОЗП) различной химической природы, особенно интумесцентного (вспучивающегося) типа: в открытой печати практически не приводятся результаты исследований термически разрушенных покрытий, что не позволяет проанализировать закономерности термоокислительной деструкции ОЗП в результате воздействия высоких температур пожара и оценить температуру воздействия на огнезащитное покрытие, а также определить очаг пожара. Для решения задачи определения степени тер-

мического поражения материала инструментальным методом необходимо:

- определить для него тестовую характеристику (свойство вещества, параметр структуры, спектра, термоаналитическую характеристику и т. д.), которая объективно отражает степень разрушения материала или отдельных его составляющих под воздействием температуры пожара [2];

- подобрать инструментальный метод, позволяющий эту тестовую характеристику определять количественно [2];

- разработать критерии, объективно отражающие степень термоокислительной деструкции материала, при воздействии на него высоких температур пожара.

Таким образом, для диагностики температуры воздействия и определения очага возгорания необходимо создание базы данных термоаналитических характеристик ОЗП после воздействия на них высоких температур, что в свою очередь подразумевает проведение большого количества исследований. Для определения степени термического воздействия на ОЗП наиболее информативными являются методы термического анализа. В связи с этим целью работы являлось определение температуры воздействия и очага пожара при исследовании огнезащитных покрытий интумесцентного типа методами термического анализа. Для достижения поставленной цели необходимо было определить термоаналитические характеристики (критерии), объективно отражающие степень термоокислительной деструкции материала при воздействии высоких температур пожара; разработать алгоритм действий по определению температуры воздействия на огнезащитные покрытия и очага пожара.

Результаты исследований и их обсуждение

Для получения термограмм исходного и разрушенных при разных температурах ОЗП образцы ОЗП

предварительно подвергались термическому воздействию при заданных температурах (100 °С, 200 °С, 300 °С, 400 °С и 500 °С) в течение 30 минут.

Исследования образцов ОЗП проводили методами термического анализа на приборе Netzsch STA 449 F5 Jupiter в среде воздуха в интервале температур,

характерном для стандартного (целлюлозного) режима пожара (25–900 °С) при скорости нагрева 20 °С/мин, в корундовых тиглях. Термограмма исходного огнезащитного покрытия на основе акриловой дисперсии, полученная в воздушной среде, представлена на рисунке 1.

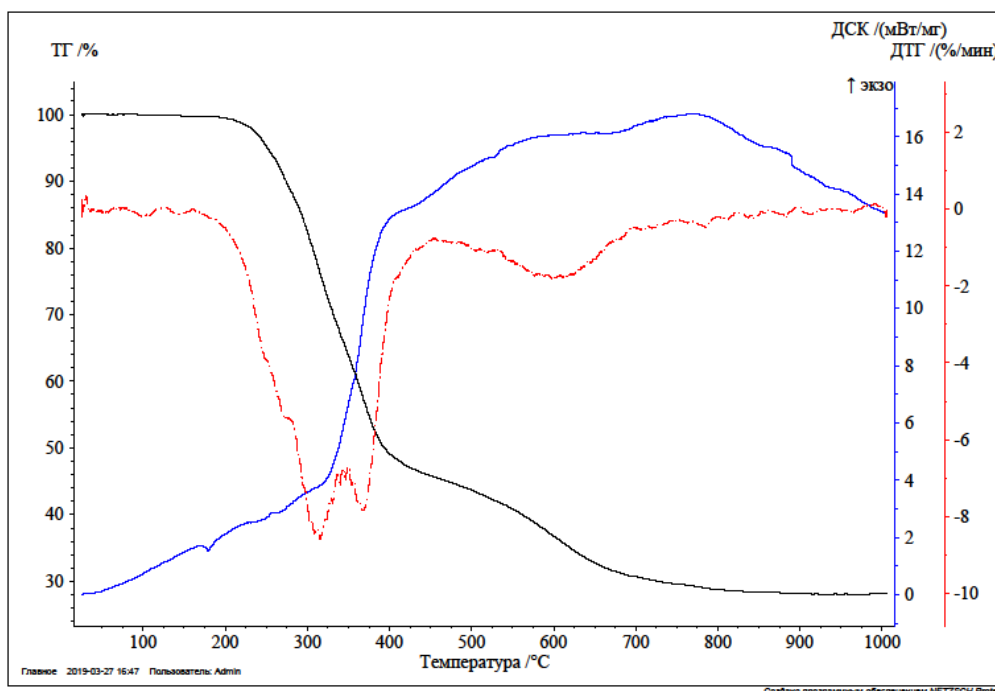
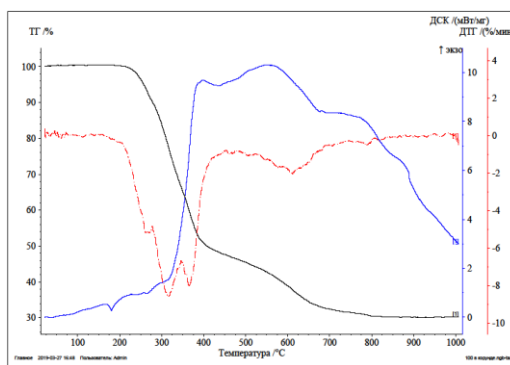


Рисунок 1. Термограмма исходного образца ОЗП на акриловой основе (среда – воздух, скорость нагрева 20 °С/мин)

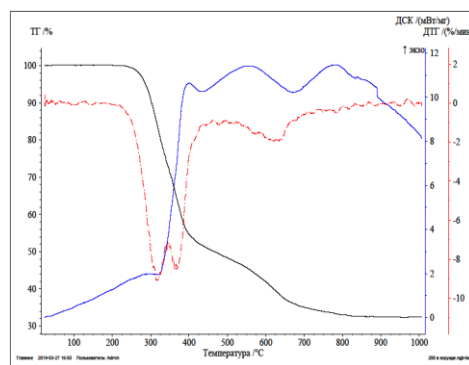
Анализ термогравиметрической (ТГ) кривой свидетельствует о 2-стадийном процессе термолита образцов ОЗП (с двумя ступенями на ТГ кривой) и двумя пиками на кривой дифференциальной термогравиметрии (ДТГ). Зольный остаток анализируемого огнезащитного состава составил 28,14 %. Наиболее выраженный комплексный (двойной) ДТГ пик наблюдается в интервале 250÷450 °С, свидетельствует об интенсивном протекании процесса интумесценции (терморасширения) с выделением газов и сопровождается интенсивной потерей массы. Максимум

второго ДТГ пика приходится на температуру 597,6 °С и свидетельствует о выгорании связующего компонента огнезащитной композиции.

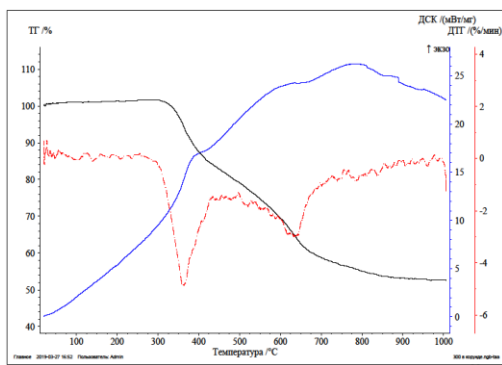
Комплексный экзотермический пик с максимумом при температуре 768,7 °С характеризует протекание сразу нескольких процессов с выделением тепла: горение связующего, отверждение и формирование пенококса, коксование, выгорание пенококса. Термограммы ОЗП на акриловой основе, предварительно подвергнутых термическому воздействию, представлены на рисунке 2 (а–е).



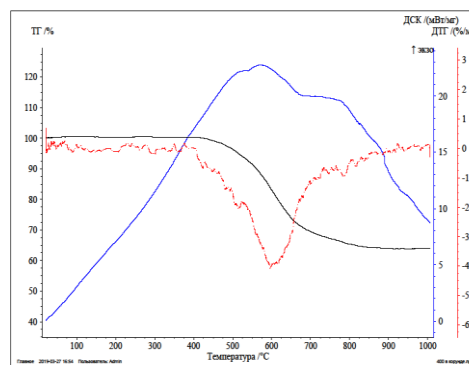
а) $t_{пв} = 100 \text{ }^\circ\text{C}$



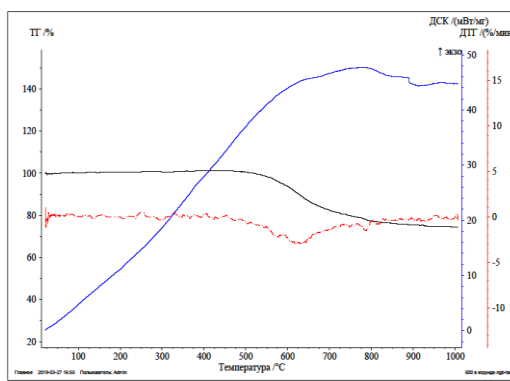
б) $t_{пв} = 200 \text{ }^\circ\text{C}$



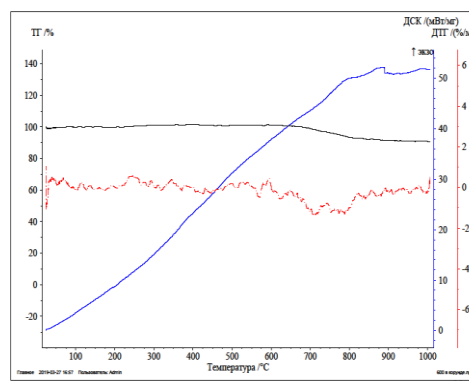
в) $t_{пв} = 300 \text{ }^\circ\text{C}$



г) $t_{пв} = 400 \text{ }^\circ\text{C}$



д) $t_{пв} = 500 \text{ }^\circ\text{C}$



е) $t_{пв} = 600 \text{ }^\circ\text{C}$

Рисунок 2. Термограммы ОЗП на акриловой основе при различных температурах предварительного теплового воздействия $t_{пв}$ (среда – воздух, скорость нагрева $20 \text{ }^\circ\text{C}/\text{мин}$)

Анализ представленных термограмм свидетельствует о возможности использования в качестве одного из критериев диагностики степени температурного воздействия на ОЗП и последующего определения очага

пожара – количество пиков на ДТГ кривой: при температурах воздействия выше $300 \text{ }^\circ\text{C}$ наблюдается только один ярко выраженный ДТГ пик.

Для анализа процесса термоокислительной деструкции, по

мнению авторов статьи, целесообразно использовать величину потери массы образцом ОЗП при температуре 500 °С, так как при этой температуре завершается процесс интумесценции огнезащитной композиции и формирование пенококса. В таблице

приведены значения потери массы при 500 °С после предварительного воздействия высоких температур и значения зольного остатка (ЗО) при температуре 900 °С (максимальной температуре стандартного (целлюлозного) режима пожара).

Таблица. Термоаналитические характеристики огнезащитного состава после предварительного воздействия высоких температур

Термоаналитические характеристики	Температура предварительного воздействия, $t_{пв}$, °С						
	20 °С	100 °С	200 °С	300 °С	400 °С	500 °С	600 °С
Δm_{500} , %	57,33	54,55	51,68	20,91	3,56	0,00	0,00
ЗО, %	28,14	30,14	32,40	53,22	63,94	75,51	91,64

Анализ результатов свидетельствует о значительном снижении величины потери массы и повышении зольного остатка при повышении температуры предварительного воздействия. Таким образом, данные термоаналитические

характеристики могут быть использованы в качестве критериев диагностики температуры теплового воздействия на ОЗП. Зависимость зольного остатка от температуры предварительного воздействия представлена на рисунке 3.

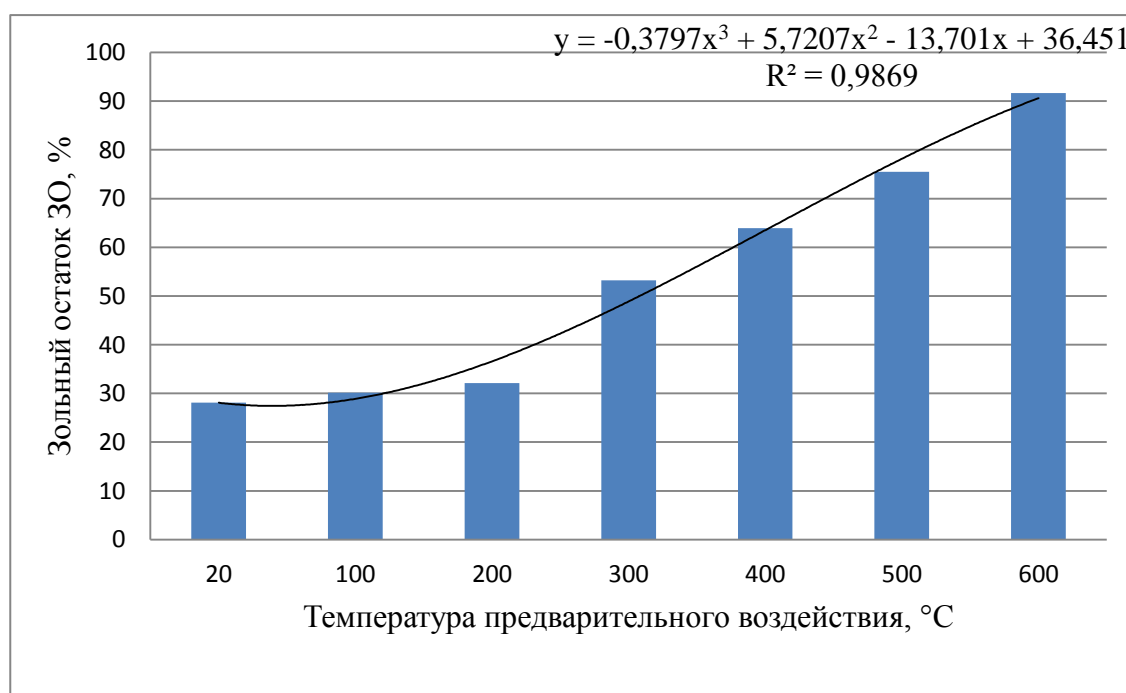


Рисунок 3. Зависимость зольного остатка от температуры предварительного воздействия на ОЗП

Зависимость зольного остатка ОЗП от температуры воздействия удовлетворительно описывается полиномиальной кривой третьего порядка. Полученное уравнение зависимости позволяет прогнозировать

значение потери массы при заданной температуре воздействия на ОЗП.

График, демонстрирующий влияние температуры на величину зольного остатка, приведён на рисунке 4.

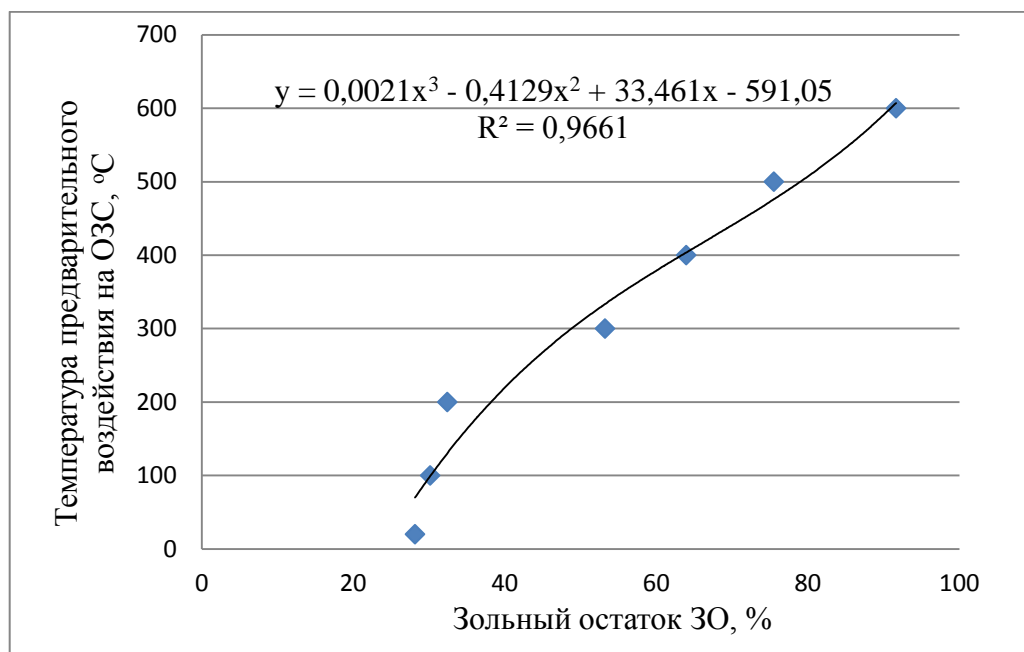


Рисунок 4. Влияние температуры на зольный остаток ОЗП

Получено уравнение полиномиальной зависимости третьего порядка (1) для определения температуры

воздействия t , при известной величине зольного остатка ОЗП ($R^2 = 0,966$):

$$t = 0,0021x^3 - 0,4129x^2 + 33,461x - 591,05, \quad (1)$$

где x – зольный остаток ОЗП при температуре 900 °C, %

массы при температуре 500 °C, приведён на рис. 5.

График, демонстрирующий влияние температуры на величину потери

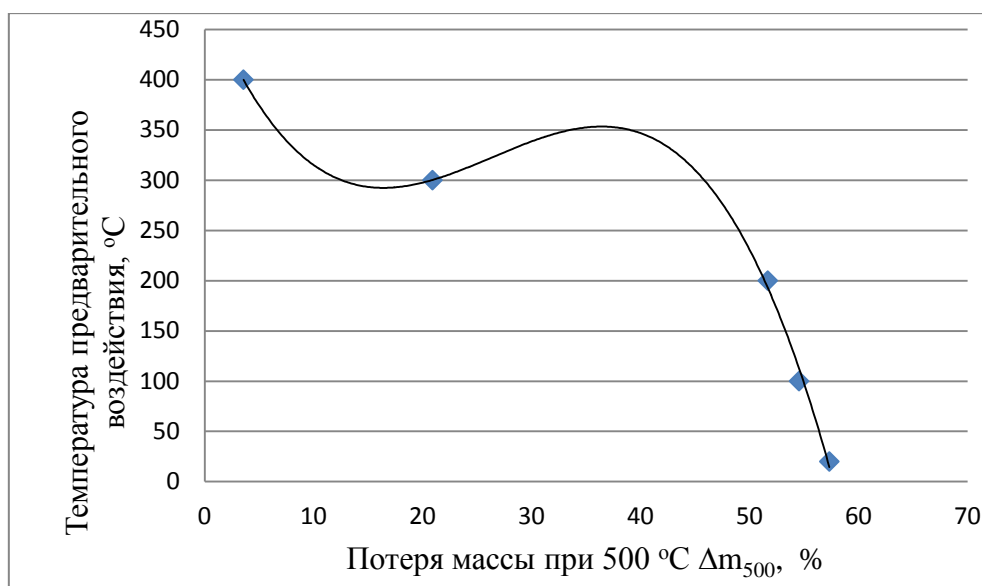


Рисунок 5. Влияние температуры на потерю массы ОЗП

Получено уравнение воздействия t , при известной потере полиномиальной зависимости третьего порядка (2) для определения температуры массы ОЗП ($R^2 = 0,997$):

$$t = -0,0152x^3 + 1,2056x^2 - 27,267x + 482,4, \quad (2)$$

где x – потеря массы ОЗП при температуре 500 °C, %.

Анализ полученных термоаналитических данных позволил сделать следующие выводы:

- на ТГ кривых при повышении температуры предварительного высокотемпературного воздействия потеря массы при 500 °C (Δm_{500}) уменьшается, зольный остаток (ЗО) повышается;

- на ДТГ кривых при 300 °C предварительном температурном воздействии и выше первого ДТГ пика уже не наблюдается;

- на ДСК кривых после предварительного температурного воздействия выше 200 °C эндопиков не наблюдается;

- в качестве критериев оценки температурного воздействия на ОЗП

можно рассматривать следующие термоаналитические характеристики: количество ДТГ пиков, значения потери массы при температуре 500 °C и зольный остаток при температуре 900 °C;

- получены уравнения, позволяющие прогнозировать потерю массы и зольный остаток при заданной температуре воздействия, а также определять температуру воздействия при известной потере массы образцом ОЗП и его зольном остатке.

Для проверки методики оценки температуры воздействия на ОЗП инту-месцентного типа и определения места очага пожара проведены испытания образцов ОЗП, отобранных на объекте NN после пожара. Термограмма одного из образцов ОЗП с места пожара представлена на рисунке 6.

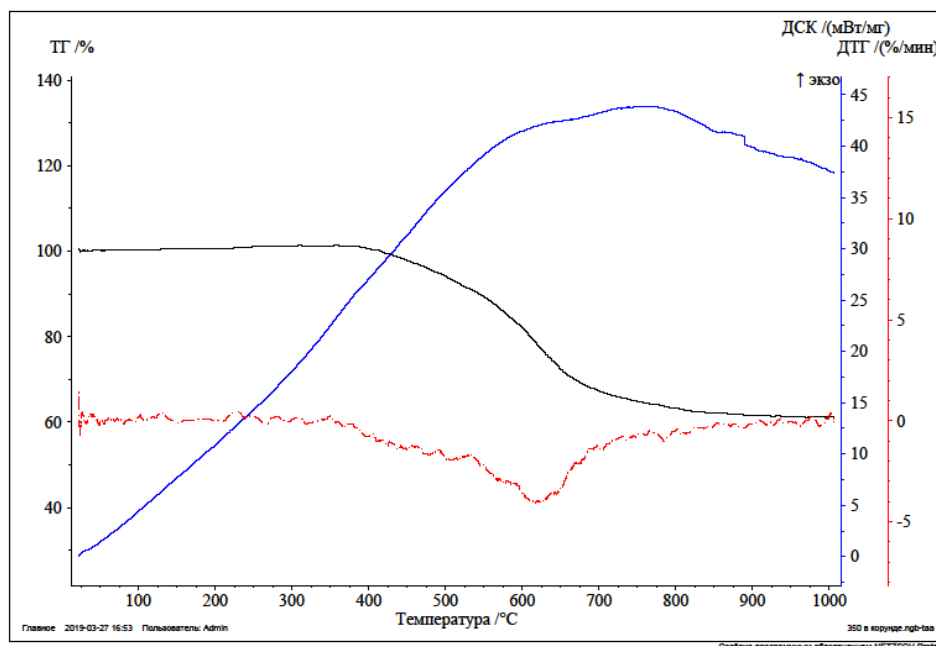


Рисунок 6. Термограмма образца огнезащитного покрытия, отобранного с металлоконструкций на объекте после пожара

По полученной термограмме с помощью программного обеспечения определены:

- количество ДТГ пиков: на термограмме ярко выражен только один ДТГ пик с максимумом при температуре 616,6 °С;
- потеря массы при температуре 500 °С ($\Delta m_{500} = 5,78$ %);
- зольный остаток при температуре 900 °С ($ЗО = 61,59$ %).

Поскольку на термограмме образца огнезащитного покрытия после воздействия высоких температур пожара, ниже 300 °С ДТГ пики отсутствуют, то можно сделать вывод, что температура воздействия пожара на ОЗП превышала 300 °С.

По уравнению (2) находим температуру воздействия пожара на ОЗП по величине потери массы при 500 °С:

$$t = -0,0152x^3 + 1,2056x^2 - 27,267x + 482,4 = 362,14 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

По уравнению (1) рассчитываем температуру воздействия пожара на ОЗП по величине зольного остатка:

$$t = 0,0021x^3 - 0,4129x^2 + 33,461x - 591,05 = 394,18 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Рассчитываем среднее значение температуры воздействия пожара на ОЗП: среднее значение составило 378,16 °С.

Рассчитав по полученным эмпирическим уравнениям значения температур воздействия в различных точках отбора проб ОЗП в помещении, в котором произошёл пожар, по максимально полученной температуре можно установить очаг пожара.

Заключение

Таким образом, в результате экспериментальных исследований определены термоаналитические характеристики, объективно отражающие степень термоокислительной деструкции исследуемого огнезащитного покрытия при воздействии высоких температур пожара. Установлено, что в качестве критериев для оценки температуры воздействия на огнезащитные покрытия интумесцентного типа целесообразно использовать: количество пиков на кривой дифференциальной термогравиметрии, потерю массы при тем-

пературе 500 °С и зольный остаток при температуре 900 °С. Полученные результаты позволили разработать методику диагностики температуры воздействия на

огнезащитные покрытия интумесцентного типа методами термического анализа для определения очага пожара.

Литература

1. Беззапонная О. В. и др. Пути совершенствования огнезащитных терморасширяющихся составов для использования на объектах нефтегазового комплекса // Пожаровзрывобезопасность. 2017. Т. 26, № 12. С. 14–24.
2. Чешко И. Д. Экспертиза пожаров (объекты, методы, методики исследования). СПб., 1997. 562 с.
3. Чешко И. Д., Голяев В. Г. Исследование обгоревших остатков лакокрасочных покрытий строительных конструкций с целью выявления очаговых признаков пожара. Л., 1988. 65 с.
4. Авторское свидетельство 134032. Способ выявления очагового признака пожара / И. Д. Чешко, В. Г. Голяев, Т. Д. Теплякова. 1987.
5. Чешко И. Д., Голяев В. Г. Исследование лакокрасочных покрытий судна с целью установления очага пожара // Пожарная безопасность водного транспорта: сб. науч. тр. М., 1989. С. 79–84.
6. Комплексное определение параметров нагрева полимерных материалов и металлических изделий, используемых на железнодорожном и авиационном транспорте: методические рекомендации / Н. М. Граненков и др. М., 1991. 66 с.

References

1. Bezzaponnaya O. V. et al. Puti sovershenstvovaniya ogneshchitnyh termorasshiryayushchihsya sostavov dlya ispol'zovaniya na ob"ektah neftegazovogo kompleksa // Pozharovzryvobezopasnost'. 2017. T. 26, № 12. P. 14–24.
2. CHeshko I. D. Ekspertiza pozharov (ob"ekty, metody, metodiki issledovaniya). SPb., 1997. 562 p.
3. CHeshko I. D., Golyaev V. G. Issledovanie obgorevshih ostatkov lakokrasochnyh pokrytij stroitel'nyh konstrukcij s cel'yu vyyavleniya ochagovyh priznakov pozhara: metod. rekomendacii. L., 1988. 65 p.
4. Avtorskoe svidetel'stvo 134032. Sposob vyyavleniya ochagovogo priznaka pozhara / I. D. CHeshko, V. G. Golyaev, T. D. Teplyakova. 1987.
5. CHeshko I. D., Golyaev V. G. Issledovanie lakokrasochnyh pokrytij sudna s cel'yu ustanovleniya ochaga pozhara // Pozharnaya bezopasnost' vodnogo transporta: Sb. nauch. tr. – M., 1989. – P. 79–84.
6. Kompleksnoe opredelenie parametrov nagreva polimernyh materialov i metallicheskih izdelij, ispol'zuemyh na zheleznodorozhnom i aviacionnom transporte: metodicheskie rekomendacii / N. M. Granenkov et al. M., 1991. 66 p.

УДК 311.31, 332.14, 519.23, 519.25

fireman87@bk.ru

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО
РАЗВИТИЯ СВЕРДЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ, ВЛИЯЮЩИХ
НА ПОЖАРНУЮ БЕЗОПАСНОСТЬ РЕГИОНА**

**DEFINITION OF PARAMETERS OF SOCIAL AND ECONOMIC DEVELOPMENT
SVERDLOVSK REGION, AFFECTING THE FIRE SAFETY OF THE REGION**

*Кайбичев И. А., доктор физико-математических наук, доцент,
Тужиков Е. Н., кандидат технических наук, доцент,
Перевалов А. С., кандидат технических наук, доцент,
Синякова М. Г., доктор психологических наук, доцент,
Уральский институт Государственной
противопожарной службы МЧС России, Екатеринбург,
Боронина Л. Н., кандидат философских наук, доцент,
Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, Екатеринбург*

*Kaybichev I. A., Tuzhikov E. N., Perevalov A. S., Sinyakova M. G.,
The Ural Institute of State Firefighting Service of Ministry
of Russian Federation for Civil Defense, Yekaterinburg,
Boronina L. N.,
Ural Federal University named after the first President
of Russia B. N. Yeltsin, Yekaterinburg*

Выполнен корреляционный анализ показателей пожарной безопасности Свердловской области и основных показателей социально-экономического развития региона. Произведен отбор показателей (факторов), оказывающих влияние на количество пожаров и прямой материальный ущерб от них. Научно установлено, что количество пожаров в Свердловской области зависит от потребительских расходов в среднем на душу населения в месяц, а прямой материальный ущерб – от среднемесячных номинальных начислений заработной платы работников организаций.

Ключевые слова: пожарная безопасность, Свердловская область, корреляционный анализ, отбор факторов.

The correlation analysis of fire safety indicators of the Sverdlovsk region and the main indicators of socio-economic development of the region is carried out. The selection of indicators (factors) influencing the number of fires and direct material damage from them is made. With a probability of 0.99 it is established that the number of fires in the Sverdlovsk region depends on consumer spending on average per capita per month, and direct material damage - from the average monthly nominal payroll of employees of organizations.

Keywords: fire safety, Sverdlovsk region, correlation analysis, selection of factors.

Актуальность прогнозирования пожарной обстановки и выявление факторов, определяющих стабильность пожарной безопасности территории, не вызывает сомнения. Одним из самых эф-

фективных способов решения этой задачи является использование метода математического моделирования, а именно одного из его инструментов – корреляционного анализа.

Вместе с тем, исследований, в которых математическое моделирование используется в процессе выявления зависимости числа пожаров от особенностей социально-экономического развития регионов Российской Федерации, не так много. Подобные исследования на данный момент выполнены для Пензенской [1], Ивановской [2–4] и Курганской [5] областей. Таким образом, к данному моменту нет исследований влияния показателей социально-экономического развития Свердловской области на основные показатели пожарной безопасности.

С помощью корреляционного анализа [6–8] выполним расчет по статистическим данным 2001–2017 годов [9, 10] (таблица 1).

В число результативных переменных включим (таблица 1): количество пожаров Y_1 (ед.), количество погибших при пожарах Y_2 (чел.), прямой материальный ущерб от пожаров Y_3 (тыс. руб.).

В роли объясняющих переменных по годам рассмотрим следующие социально-экономические показатели:

X1 – численность населения, тыс. чел.;

X2 – среднегодовая численность занятых, тыс. чел.;

X3 – численность безработных в возрасте 15–72 года, тыс. чел.;

X4 – численность зарегистрированных безработных, тыс. чел.;

X5 – общий коэффициент разводимости на 1000 человек;

X6 – среднедушевые денежные доходы в месяц, руб.;

X7 – потребительские расходы в среднем на душу населения в месяц, руб.;

X8 – среднемесячная номинальная начисленная заработная плата работников организаций, руб.;

X9 – валовый региональный продукт, млн руб.;

X10 – инвестиции в основной капитал, млн руб.;

X11 – основные фонды в экономике, млн руб.;

X12 – объем промышленной продукции, млн руб.;

X13 – продукция сельского хозяйства, млн руб.;

X14 – ввод в действие общей площади жилых домов, тыс. кв. м;

X15 – оборот розничной торговли, млн руб.;

X16 – сальдированный финансовый результат деятельности организаций, млн руб.

Помимо этих основных показателей социально-экономического развития включим в рассмотрение показатели потребления алкогольных напитков:

X17 – водка и ликероводочные изделия, тыс. декалитров;

X18 – коньяк, тыс. декалитров;

X19 – винодельческая продукция, тыс. декалитров;

X20 – игристое вино и шампанское, тыс. декалитров;

X21 – пиво и пивные напитки, тыс. декалитров;

X22 – численность иностранных граждан, осуществляющих трудовую деятельность (чел.).

Возможное влияние других факторов социально-экономического развития региона во внимание не принималось.

Для установления факта зависимости переменных выполним расчет коэффициента корреляции Пирсона R , а также последующий перерасчет [7–9] на малый объем выборки ($n = 22$) по формуле:

$$R' = R \left[1 + \frac{1-R^2}{2(n-3)} \right], \quad (1)$$

где R – значение коэффициента линейной корреляции Пирсона.

Если $|R'| = 1$, то связь между рассматриваемыми переменными линейная [7]. В случае $0,95 \leq |R'| < 1$ – связь очень сильная, близка к линейной. Если $0,75 \leq |R'| < 0,95$ – связь сильная, появляются отличия от линейности. В ситуации $0,5 \leq |R'| < 0,75$ – связь умеренная, нелинейная. При $0,2 \leq |R'| < 0,5$ связь слабая. Если $0 \leq R' < 0,2$, то связи практически нет.

Таблица 1
Статистические данные по Свердловской области за 2001–2017 гг.

T	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Y1	6806	7063	6933	6900	7209	6716	6646	5957	5130	4867	4569	4361	1603	1611	1669	1466	1347
Y2	418	537	500	495	491	485	478	473	471	460	426	372	353	341	327	332	304
Y3	32966	41175	92276	89719	176079	218478	272498	516676	341853	576099	385606	416367	285893	363485	210259	871926	385743
X1	4544,9	4511,2	4448,1	4428,2	4356	4399,8	4395,6	4394,6	4393,8	4297	4307	4316	4321	4327	4330	4329,4	4325,3
X2	2039,4	2058,2	2072,7	2088,5	2093,8	2085	2092,4	2093	2072,1	2064,1	2047,4	2043,2	2033	2024,5	2021,1	2093,9	2068,2
X3	179,1	196,5	179,7	172,1	159	167	125	113	191	194	167	133	136	138	149	138	119
X4	37,5	38,1	38,9	48	39,7	35,6	30,6	38,4	92	52,4	38,4	30,7	27,2	26,6	34,1	31,3	26
X5	6,2	6,3	5,4	4,4	3,9	4,5	5	5,2	5,1	5	5,2	5,3	5,7	5,6	4,8	4,6	4,6
X6	2969	3917,6	5278	6643,3	8663,2	11012,2	14243,3	17171,3	19244,3	22128	24892,6	27709,2	31013	32157,3	34820	35159	35289
X7	3145	4144	5381	6672,5	5994,6	7727,1	10076,9	13071,9	13915,6	16689	19746,7	22007,9	24736	26250,5	27503	28250	29306
X8	3246,1	4473,1	5607	6928,4	8675,9	10772,3	13986,9	17527	17336,3	19756,7	22179,2	25138,8	27608	29492	30691	32348	34760
X9	214845	246059,5	313798,1	366610,2	481690,4	655026,6	825036,4	944407,8	823833	1033748	1265683	1484447	1586229	1661431	1779446	1978056	2142514
X10	32263	38093	51519	69483	96449	133775	187160	240618	201330	217372	371938	341635	350637	370375	350442	345812	337798
X11	713747	948319	1031530	1142781	1424665	1509597	1746705	2063335	2247322	2561776	3285624	3665843	3949207	4711894	5157421	6086869	6177853
X12	209753	251172	309489	407649	585886	724039	896082	987980	805993	1070225	1336260	1440640	1478214	1566281	1746851	1879412	2037041
X13	21644	22748	24354	27570	32029	35715	37033	40261	43315	44464	31727	51374	58576	65686	75605	74209	79133,6
X14	636	704	779	891	1105	1284	1659	1702	1590,7	1770,1	1822,2	1869,4	1755,3	2424	2477,5	2106,6	2144
X15	80787	107718	134139	173715	236855	303376	401294	527212	553186	646016	764558	858801	953973	998642,6	1035793	1054177	1078234
X16	24586	16764	22724	55062	86242	139348	168869	135162	12429	138493	152814	182304	103478	26765	72683	243865	260318
X17	6188,1	6909,5	6765,9	7004,4	7569,2	8549,7	7445,1	6893,9	6419,3	6064,5	5510,4	4995,8	5076,6	3638,9	2961,5	3176	2609,5
X18	185,7	209,6	236,3	249	263,4	267,8	270,1	370,8	334,2	385,1	389,3	397,1	441,5	406,1	379,7	417,4	341,4
X19	2015,6	2761,1	3209,9	3399,5	3715,6	3823,3	4446,4	4348,8	3857,9	4584,9	3729,8	3275,2	3076,3	3153,4	3131,9	3283,9	3390,1
X20	409	459,6	441,1	461,2	432,3	404,9	583,3	668	616,2	726,3	796,3	810,6	881,1	788,8	692,6	742,3	517,3
X21	15891,9	23423,1	25346,4	33510,7	35201,9	41723,6	41826,4	42161	41281,9	39337	39591,4	39155,9	42002,2	33923,4	29747	26278,2	28072
X22	412	1023	2860	7629	26552	52845	81247	109167	111031	82969	51658	26601	52292	78330	46833	41210	43821

Выдвинем две гипотезы. Основная гипотеза H_0 состоит в том, что коэффициент корреляции между двумя переменными равен 0 – связи нет. Альтернативная гипотеза H_1 утверждает, что коэффициент корреляции между двумя переменными отличен от 0 – связь есть.

Процедура проверки гипотез состоит в расчете u – статистики Фишера [7]:

$$u = \frac{1}{2} \ln \frac{1+R'}{1-R'}, \quad (2)$$

Рассчитанные величины u – статистики Фишера (таблица 2) далее сравнивали с критическими значениями:

$$u_{\alpha}(n) = z_{1-\alpha/2} * \frac{1}{\sqrt{n-3}}, \quad (3)$$

где n – объем выборки (в нашем случае $n = 17$); α – уровень значимости; $z_{1-\alpha/2}$ – квантили нормированного распределения.

При $\alpha = 0,01$ $z_{1-\alpha/2} = 2,576$. Расчет по формуле (3) дал величины критических значений $u_{0,01}(17) = 0,69$.

При выполнении неравенства $|u| > u_{\alpha}(n)$ справедлива гипотеза H_1 (с вероятностью $p = 1 - \alpha$), а в случае $|u| \leq u_{\alpha}(n)$ – гипотеза H_0 (таблица 2).

Таблица 2

Проверка гипотезы о взаимной зависимости результирующих показателей

Факторы	R	R'	u	Гипотеза
Y1 ↔ Y2	0,930	0,935	1,70	H1
Y1 ↔ Y3	-0,549	-0,562	-0,64	H0
Y2 ↔ Y3	-0,455	-0,467	-0,51	H0

Следовательно, показатели Y1 и Y2 зависят друг от друга. Поэтому в число независимых показателей включим количество пожаров Y1 и прямой материальный ущерб от пожаров Y3.

Исследуем возможность зависимости количества пожаров Y1 от объясняющих факторов. Анализ матрицы коэффициентов парной корреляции (таблица 3) позволил разделить объясняющие факторы по степени влияния на результирующую переменную Y1.

Очень сильная связь, близкая к линейной, наблюдается с потребительскими расходами в среднем на душу населения в месяц X7 ($|R'| = 0,982$), оборотом розничной торговли X15 ($|R'| = 0,980$), среднедушевыми денежными доходами в месяц X6 ($|R'| = 0,978$), среднемесячной номинальной начисленной заработной платой работников организаций X8 ($|R'| = 0,968$), валовым региональным продуктом X9 ($|R'| = 0,953$).

Сильная связь с отклонением от линейной наблюдается с объемом промышленной продукции X12 ($|R'| = 0,941$), инвестициями в основной капитал X10 ($|R'| = 0,940$), основными фондами в экономике X11 ($|R'| = 0,938$), вводом в дейст-

вие общей площади жилых домов X14 ($|R'| = 0,899$), продукцией сельского хозяйства X13 ($|R'| = 0,894$), потреблением коньяка X18 ($|R'| = 0,893$), потреблением водки и ликероводочных изделий X17 ($|R'| = 0,892$), вин игристых и шампанского X20 ($|R'| = 0,812$), численностью населения X1 ($|R'| = 0,773$).

Умеренная нелинейная связь есть со среднегодовой численностью занятых X2 ($|R'| = 0,534$).

Слабая связь существует с сальдированным финансовым результатом деятельности организаций X16 ($|R'| = 0,454$), численностью безработных в возрасте 15–72 года X3 ($|R'| = 0,451$), численностью иностранных граждан, осуществляющих трудовую деятельность X22 ($|R'| = 0,363$).

Практически нет связи с численностью зарегистрированных безработных X4 ($|R'| = 0,195$), потреблением пива и пивных напитков X21 ($|R'| = 0,152$), винодельческой продукции X19 ($|R'| = 0,023$), общим коэффициентом разводимости на 1000 человек X5 ($|R'| = 0,014$). Последние факторы из дальнейшего рассмотрения исключим.

Таблица 3

Матрица коэффициентов парной корреляции

	Y1	T	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11
Y1	1												
T	-0,959	1											
X1	0,773	-0,850	1										
X2	0,534	-0,320	0,158	1									
X3	0,451	-0,596	0,459	-0,046	1								
X4	0,195	-0,259	0,160	0,223	0,613	1							
X5	0,014	-0,255	0,476	-0,582	0,227	-0,078	1						
X6	-0,978	0,994	-0,836	-0,408	-0,579	-0,268	-0,165	1					
X7	-0,982	0,989	-0,807	-0,434	-0,576	-0,307	-0,132	0,996	1				
X8	-0,968	0,997	-0,825	-0,365	-0,620	-0,292	-0,183	0,997	0,994	1			
X9	-0,953	0,991	-0,799	-0,347	-0,651	-0,371	-0,193	0,987	0,990	0,994	1		
X10	-0,940	0,948	-0,853	-0,427	-0,621	-0,295	-0,105	0,964	0,953	0,957	0,942	1	
X11	-0,938	0,971	-0,736	-0,340	-0,581	-0,359	-0,203	0,964	0,976	0,973	0,984	0,889	1
X12	-0,941	0,991	-0,829	-0,316	-0,661	-0,369	-0,243	0,985	0,983	0,992	0,997	0,950	0,975
X13	-0,894	0,948	-0,701	-0,305	-0,606	-0,303	-0,253	0,938	0,940	0,948	0,952	0,826	0,962
X14	-0,899	0,949	-0,840	-0,345	-0,614	-0,229	-0,233	0,951	0,930	0,948	0,927	0,941	0,886
X15	-0,980	0,991	-0,831	-0,425	-0,590	-0,287	-0,139	0,999	0,996	0,996	0,988	0,969	0,963
X16	-0,454	0,614	-0,591	0,310	-0,631	-0,428	-0,452	0,564	0,550	0,599	0,646	0,557	0,599
X17	0,892	-0,849	0,529	0,536	0,430	0,335	-0,034	-0,863	-0,897	-0,866	-0,878	-0,766	-0,927
X18	-0,893	0,884	-0,881	-0,335	-0,504	-0,141	-0,118	0,906	0,886	0,890	0,854	0,936	0,789
X19	0,023	0,152	-0,484	0,554	-0,178	0,278	-0,526	0,100	0,029	0,111	0,062	0,166	-0,045
X20	-0,812	0,739	-0,750	-0,479	-0,408	-0,147	0,160	0,792	0,775	0,761	0,719	0,870	0,638
X21	-0,152	0,253	-0,581	0,197	-0,279	0,217	-0,347	0,240	0,169	0,228	0,169	0,379	0,014
X22	-0,363	0,426	-0,480	0,118	-0,314	0,364	-0,152	0,417	0,348	0,420	0,345	0,474	0,240

	X12	X13	X14	X15	X16	X17	X18	X19	X20	X21	X22
Y1											
T											
X1											
X2											
X3											
X4											
X5											
X6											
X7											
X8											
X9											
X10											
X11											
X12	1										
X13	0,940	1									
X14	0,940	0,891	1								
X15	0,984	0,931	0,947	1							
X16	0,676	0,529	0,514	0,560	1						
X17	-0,852	-0,876	-0,757	-0,866	-0,368	1					
X18	0,860	0,752	0,871	0,909	0,473	-0,643	1				
X19	0,124	0,008	0,288	0,082	0,383	0,320	0,288	1			
X20	0,720	0,570	0,759	0,801	0,313	-0,560	0,933	0,185	1		
X21	0,216	0,063	0,366	0,236	0,250	0,290	0,498	0,789	0,463	1	
X22	0,374	0,329	0,589	0,409	0,190	-0,037	0,555	0,728	0,477	0,721	1

Встает вопрос о достоверности полученных результатов. Статистические данные, как правило, имеют случайную

составляющую. Выполним процедуру проверки гипотез (таблица 4).

Таблица 4

Проверка гипотезы об уровне значимости коэффициента корреляции

	X7	X15	X6	X8	X9	X12	X10	X11	X14
R'	-0,982	-0,980	-0,978	-0,968	-0,953	-0,941	-0,940	-0,938	-0,899
u	-2,35	-2,31	-2,26	-2,06	-1,86	-1,74	-1,74	-1,72	-1,47
$\alpha=0,01$	H1	H1	H1	H1	H1	H1	H1	H1	H1

	X13	X18	X17	X20	X1	X2	X16	X3	X22
R'	-0,894	-0,893	0,892	-0,812	0,773	0,534	-0,454	0,451	-0,363
u	-1,44	-1,44	1,43	-1,13	1,03	0,60	-0,49	0,49	-0,38
$\alpha=0,01$	H1	H1	H1	H1	H1	H0	H0	H0	H0

В результате из дальнейшего рассмотрения с вероятностью 0,99 можно исключить факторы X2, X16, X3 и X22.

Следовательно, число пожаров Y1 в Свердловской области может зависеть только от переменных X7, X15, X6, X8, X9, X12, X10, X11, X14, X13, X18, X17, X10, X1. Наиболее сильная связь существ-

вует с потребительскими расходами в среднем на душу населения в месяц X7. Расчет коэффициента корреляции (таблица 5) между потребительскими расходами в среднем на душу населения в месяц X7 с остальными факторами показал мультиколлинеарность переменных.

Таблица 5

Коэффициент корреляции потребительских расходов в среднем на душу населения в месяц с другими факторами

X15	X6	X8	X9	X12	X10	X11	X14	X13
0,996	0,996	0,997	0,987	0,985	0,964	0,964	0,951	0,938

X18	X17	X20	X1
0,906	-0,863	0,792	-0,836

В число мультиколлинеарных переменных включают величины парный коэффициент корреляции между которыми по модулю больше 0,6. В нашем случае в список мультиколлинеарных переменных попадают все (таблица 4). Они имеют достаточно сильную зависимость от фактора X7. Поэтому их из дальнейшего рассмотрения исключим.

Таким образом, в результате корреляционного анализа на основе статистических данных с вероятностью 0,99 установлено, что число пожаров в Свердловской области зависит от потребитель-

ских расходов в среднем на душу населения в месяц.

Исследуем возможность зависимости прямого материального ущерба от пожаров Y3 от объясняющих факторов. Расчет коэффициента корреляции и проверка гипотез позволили разделить объясняющие факторы на две группы (таблица 6). В первую группу оказывающих влияние факторов попали X18, X16, X8, X12, X6, X15, X9, X1, X10, X14, X7, X11, X20, X13. Вторая группа содержит факторы X22, X17, X19, X3, X21, X5, X2, X4, влияние которые не оказывают. Послед-

ние из дальнейшего рассмотрения исключим.

Таблица 6
Коэффициент корреляции прямого материального ущерба от пожара с объясняющими факторами

	X18	X8	X16	X12	X6	X15	X9	X1	X10
R'	0,768	0,700	0,700	0,699	0,692	0,686	0,685	-0,681	0,679
u	1,02	0,87	0,87	0,87	0,85	0,84	0,84	-0,83	0,83
$\alpha=0,01$	H1	H1	H1	H1	H1	H1	H1	H1	H1
	X14	X7	X11	X20	X13	X22	X17	X19	X3
R'	0,677	0,665	0,656	0,645	0,605	0,550	-0,469	0,457	-0,425
u	0,82	0,80	0,79	0,77	0,70	0,62	-0,51	0,49	-0,45
$\alpha=0,01$	H1	H1	H1	H1	H1	H0	H0	H0	H0

	X21	X5	X2
R'	0,319	-0,276	0,202
u	0,33	-0,28	0,20
$\alpha=0,01$	H0	H0	H0

Как видим, очень сильных связей рассматриваемых факторов на прямой материальный ущерб от пожара не выявлено. Наиболее сильная связь существует со среднемесячными номинальными начислениями заработной платы работников организаций X8, сальдированным финансовым результатом деятельности организаций X16, объемом промышленной продукции X12 и среднедушевыми денежными доходами в месяц X6. Исходя из того, что большая доля пожаров при-

ходится на жилой сектор, то основным фактором выбираем X8.

Расчет коэффициента корреляции (таблица 7) между среднемесячной заработной платой работников организаций X8 с остальными объясняющими факторами показал мультиколлинеарность переменных. В нашем случае в список мультиколлинеарных переменных попадают все переменные (таблица 7). Они имеют достаточно сильную зависимость от фактора X8. Поэтому их из дальнейшего рассмотрения исключим.

Таблица 7
Коэффициент корреляции среднемесячной заработной платы работников организаций с другими факторами

Y3	X1	X4	X6	X7	X9	X10	X11
0,898	-0,853	0,132	0,997	0,986	0,989	0,971	0,977

X12	X13	X14	X15	X16	X18	X20
0,981	0,870	0,965	0,996	0,727	0,587	0,760

Таким образом, в результате корреляционного анализа на основе статистических данных научно установлено, что прямой материальный ущерб от пожаров в Свердловской области зависит от

среднемесячных номинальных начислений заработной платы работников организаций.

Из вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

На примере Свердловской области определено, что наиболее значимыми социально-экономическими факторами, влияющими на пожарную безопасность в регионе, стали: потребительские расходы в среднем на душу населения в месяц, оборот розничной торговли, среднедушевые денежные доходы в месяц, среднемесячная номинальная начисленная заработная плата работников организаций и валовый региональный продукт.

Так же следует указать еще одну группу социально-экономических факторов, которые оказали существенное влияние на прямой материальный ущерб от пожаров в Свердловской области: среднемесячные номинальные начисления заработной платы работников организаций, сальдированный финансовый результат деятельности организаций, объем промышленной продукции и среднедушевые денежные доходы в месяц.

Литература

1. Асанина Д. А., Шишов В. Ф. Прогнозирование количество городских пожаров в регионе // Концепт. 2014. Т. 20. С. 3256–3260. URL: <http://e-koncept.ru/2014/54915.htm>.
2. Салихова А. Х. и др. Опыт прогнозирования обстановки с пожарами на территории субъекта Российской Федерации на примере Ивановской области // Техносферная безопасность. 2018. № 1 (18). С. 9–16.
3. Самойлов Д. Б. и др. Разработка программы прогнозирования пожаров на объектах защиты на основе статистических данных // Актуальные вопросы совершенствования инженерных систем обеспечения пожарной безопасности объектов: материалы IV Всероссийской научно-практической конференции, 18 апреля 2017 г., Иваново. – Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2017. – С. 3–5.
4. Есина М. Г., Хонгорова О. В. Моделирование пожарной статистики в SPSS // Успехи современной науки и образования. 2017. Т. 1, № 1. С. 130–133.
5. Кайбичев И. А., Ергин С. В. Сравнительный анализ методов прогнозирования пожаров на примере Курганской области // Пожаровзрывобезопасность. 2009. Т. 10, № 2. С. 40–46.
6. Харченко М. А. Корреляционный анализ. Воронеж, 2008. 31 с.
7. Рубан А. И. Методы анализа данных. Красноярск, 2004. 319 с.
8. Лакин Г. Ф. Биометрия. М., 1990. 350 с.
9. Регионы России. Социально-экономические показатели. 2002–2018: статистический сборник. М., 2002–2018.
10. Пожары и пожарная безопасность в 2005–2018: статистический сборник. М., 2005–2018.

Referenses

1. Asanina D. A., SHishov V. F. Prognozirovaniye kolichestvo gorodskih pozharov v regione // Koncept. 2014. T. 20. P. 3256–3260. URL: <http://e-koncept.ru/2014/54915.htm>.
2. Salihova A. H. Opyt prognozirovaniya obstanovki s pozharami na territorii sub"ekta Rossijskoj Federacii na primere Ivanovskoj oblasti / A. H. Salihova et al // Tekhnosfernaya bezopasnost'. 2018, № 1 (18). P. 9–16.
3. Samojlov D. B. et al. Razrabotka programmy prognozirovaniya pozharov na ob"ektah zashchity na osnove statisticheskikh dannyh // Aktual'nye voprosy sovershenstvovaniya inzhenernyh sistem obespecheniya pozharnoj bezopasnosti ob"ektov: materialy IV Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii, 18 aprelya 2017 g., Ivanovo. – Ivanovo, 2017. – P. 3–5.
4. Esina M. G., Hongorova O. V. Modelirovanie pozharnej statistiki v SPSS // Uspekhi sovremennoj nauki i obrazovaniya. 2017. T. 1, № 1. P. 130–133.
5. Kajbichev I. A. Sravnitel'nyj analiz metodov prognozirovaniya pozharov na primere Kurganskoj oblasti / I. A. Kajbichev, S. V. Ergin // Pozharovzryvobezopasnost'. 2009. T. 10, № 2. P. 40–46.
6. Xarchenko M. A. Korrelyacionny`j analiz: uchebnoe posobie dlya vuzov. Voronezh, 2008. 31 p.
7. Ruban A. I. Metody` analiza danny`x. Krasnoyarsk, 2004. 319 p.
8. Lakin G. F. Biometriya. M., 1990. 350 p.
9. Regiony Rossii. Social'no-ekonomicheskie pokazateli. 2002–2018: statisticheskij sbornik. M., 2002–2018.
10. Pozhary i pozharnaya bezopasnost' v 2005–2018: statisticheskij sbornik. M., 2005–2018.