

НАУЧНО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
**НАДЗОРНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ
И СУДЕБНАЯ ЭКСПЕРТИЗА
В СИСТЕМЕ БЕЗОПАСНОСТИ**
№ 2 – 2021

Редакционный совет

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

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

Заместитель председателя – доктор политических наук, кандидат исторических наук, доцент **Мушиенко Тамара Викторовна**, помощник начальника университета.

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

Члены редакционного совета:

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

доктор медицинских наук, профессор, заслуженный деятель науки Российской Федерации, почетный работник высшей профессиональной школы России **Коннова Людмила Алексеевна**;

доктор технических наук, профессор, заслуженный работник высшей школы Российской Федерации **Галишев Михаил Алексеевич**, профессор кафедры криминалистики и инженерно-технических экспертиз;

доктор химических наук, профессор **Ивахнюк Григорий Константинович**, профессор кафедры пожарной безопасности технологических процессов и производств;

доктор технических наук, профессор **Шарапов Сергей Владимирович**, профессор кафедры криминалистики и инженерно-технических экспертиз

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

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

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

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

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

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

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

Секретарь совета:

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

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

Редакционная коллегия

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

Члены редакционной коллегии:

кандидат педагогических наук **Кузьмина Татьяна Анатольевна**, доцент кафедры надзорной деятельности (ответственный за выпуск);

майор внутренней службы **Ильницкий Сергей Владимирович**, преподаватель кафедры надзорной деятельности;

майор внутренней службы **Гайдукевич Александр Евгеньевич**, старший научный сотрудник отдела инновационных и информационных технологий в экспертизе пожаров Научно-исследовательского института перспективных исследований и инновационных технологий в области безопасности жизнедеятельности;

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

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

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

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

доктор юридических наук, доцент полковник внутренней службы **Медведева Анна Александровна**, начальник Центра международной деятельности и информационной политики;

кандидат технических наук, доцент полковник внутренней службы **Бельшина Юлия Николаевна**, начальник кафедры криминалистики и инженерно-технических экспертиз.

Секретарь коллегии:

капитан внутренней службы **Мамедова Лилия Николаевна**, ответственный секретарь редакционного отделения редакционного отдела Центра организации научно-исследовательской и редакционной деятельности.

СОДЕРЖАНИЕ

НАДЗОРНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

Кузнецова Я.М., Фомин А.В. Актуальные вопросы расследования пожаров с гибелью людей 5

ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА СУДЕБНОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ

Яценко Л.А. Идентификация методом газожидкостной хроматографии органических остатков дизельного топлива по содержанию алканов нормального и изо-строений 9

Маликов М.Н., Артемьева А.С., Зюзина Н.В. Исследование пожаров, связанных с аварийным режимом большого переходного сопротивления в электропроводке 17

ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ И ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ

Лобаев И.А., Уваров И.А., Волошенко А.А. Расчетная оценка оснащения первичными средствами пожаротушения помещений зданий различных классов функциональной пожарной опасности 23

Лабинский А.Ю. Использование метода конечных разностей для расчета нестационарной теплопроводности 29

Кузьмин А.А., Кузьмин А.А., Кузьмина Т.А. Аналитические методы прогнозирования деформации конструктивных элементов вентиляционных каналов в условиях пожара 34

Сафина Л.С., Савенкова А.Е. Пожарная опасность и особенности развития пожаров в жилых зданиях повышенной этажности 40

Сведения об авторах 45

Информационная справка 46

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

ББК Н96С+Ц.9.3.1+Х.5
УДК 349

Отзывы и пожелания присылать по адресу: 196105, Санкт-Петербург, Московский пр., 149. Редакция журнала «Надзорная деятельность и судебная экспертиза в системе безопасности», тел. (812) 645-20-35. e-mail: redakziaotdel@yandex.ru. Официальный интернет-сайт научно-аналитического журнала WWW.ND.IGPS.RU

Официальный интернет-сайт Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России: WWW.IGPS.RU.

ISSN 2304-0130

© Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы МЧС России, 2021

НАДЗОРНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

УДК 614.841

АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ РАССЛЕДОВАНИЯ ПОЖАРОВ С ГИБЕЛЬЮ ЛЮДЕЙ

Я.М. Кузнецова;

**А.В. Фомин, кандидат технических наук, профессор,
заслуженный работник высшей школы Российской Федерации.
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Определена необходимость выработки комплексных подходов к расследованию пожаров с гибелью людей, учитывая особенности необходимых навыков и знаний как дознавателей надзорных органов МЧС России, так и специалистов-экспертов в области установления причин возникновения пожаров в существующих условиях развития государства. В основе изучения данной темы – результаты анализа нормативных правовых актов, регламентирующих деятельность должностных лиц органов дознания Государственной противопожарной службы федеральной противопожарной службы, статистических данных гибели людей на пожарах, основные трудности, возникающие при расследовании таких пожаров.

Ключевые слова: уголовно-процессуальная деятельность, расследование пожаров, гибель людей, эксперты в области установления причины пожара, область знаний, пожар

Дефиниция «пожар» законодательно закреплена Федеральным законом от 21 декабря 1994 г. № 69-ФЗ «О пожарной безопасности» (в ред. от 22 декабря 2020 г.) как неконтролируемое горение, причиняющее материальный ущерб либо вред жизни и здоровью граждан, интересам общества и государства.

Возникновение пожара, так или иначе, является следствием проявления человеческого фактора, то есть результата действий либо бездействий людей, в том числе и должностных лиц. К причинам и условиям, способствующим возникновению пожара, можно отнести недостаточные знания в области пожарной безопасности и безопасного поведения как в профессиональной, так и в повседневной жизни [1].

Важность соблюдения правил пожарной безопасности закреплена как законодательством Российской Федерации, так и самой жизнью (количеством возникающих ежедневно пожаров). По тяжести и непоправимости последствий и числу жертв пожары уступают лишь дорожно-транспортным происшествиям.

К примеру, согласно данным Госавтоинспекции по состоянию на декабрь 2020 г., на территории Архангельской обл. произошло 1 232 дорожно-транспортных происшествия, на которых погибло 102 человека, ранено 1 592 человека [2].

Согласно данным управления надзорной деятельности и профилактической работы Главного управления МЧС России по Архангельской обл. в 2020 г. произошло 2 555 пожаров, на которых погиб 101 человек, количество травмированных на пожарах составило 117 человек [3].

Относительные статистические данные о распределении количества пожаров по основным причинам их возникновения приведены на рисунке.

Наибольшее количество пожаров зарегистрировано по причине неосторожного обращения с огнем – 55,54 %. Отмечается рост количества пожаров по причинам:

- нарушения правил устройства и эксплуатации (НПУиЭ) транспортных средств;
- НПУиЭ электрооборудования.

Более редкими причинами возникновения пожара были:

- нарушение правил пожарной безопасности при использовании пиротехнических изделий;
- НПУиЭ газового оборудования;
- нарушение правил эксплуатации теплогенерирующих агрегатов и поджоги.

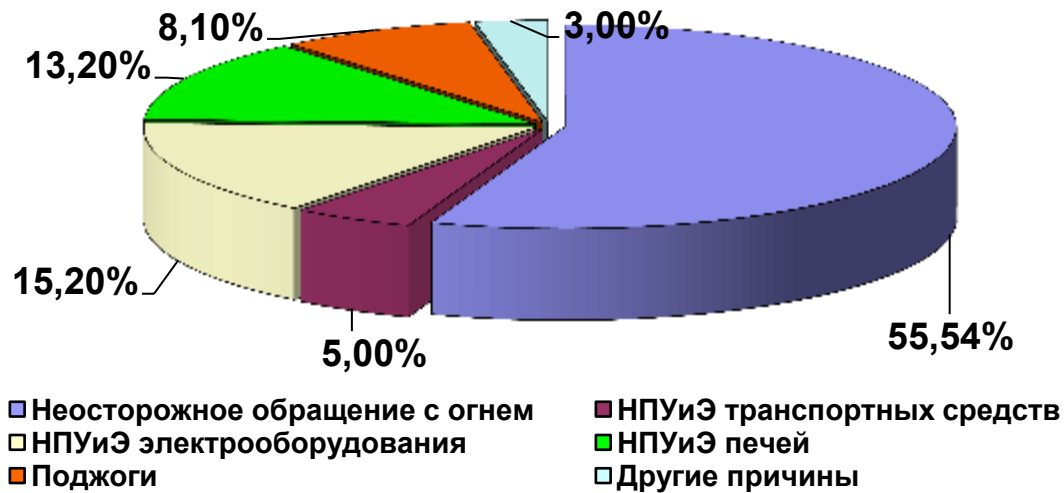


Рис. Распределение количества пожаров по основным причинам их возникновения на территории Архангельской обл. в 2020 г.

От общего количества погибших при пожарах:

- в результате отравления токсичными продуктами горения погибло 65 чел. – 64,36 %;
- от воздействия высокой температуры – 22 чел. – 21,78 %;
- комбинированное отравление алкоголем и токсичными продуктами горения – 1 чел. – 0,9 %.
- причину гибели людей не удалось установить в 13 случаях – 12,87 %.

Более 46 % погибших при пожарах людей находились в состоянии алкогольного опьянения.

По данным онлайн-конференции, прошедшей 15 января 2021 г. при участии руководства МЧС России, известно, что за 2020 г. по всей стране зарегистрировано 439 100 пожаров, на которых погибло 8 262 чел., травмировано – 8 439 [4].

В современной России борьба с пожарами, причиняющими колоссальный вред жизни и здоровью людей [5], с каждым годом становится все актуальнее, чаще эта проблема поднимается и освещается в средствах массовой информации, книгах, фильмах и других творческих проектах. Сказанное подчеркивает всю остроту темы качественного расследования по делам о пожарах.

При расследовании пожаров с гибелью людей не всегда органами дознания устанавливается точная причина возникновения пожаров, не всегда выявляются виновные лица, а также зачастую не принимаются все меры по возмещению материального ущерба, причиненного пожаром.

Расследование таких преступлений осложнено тем, что в процессе горения, тления, проливки и разборки места пожара уничтожаются всевозможные следы преступления. Особые трудности возникают при установлении обстоятельств возникновения пожара, его развития и, как следствие, определения причины пожара [6]. Исходя из вышеперечисленных обстоятельств, у органов дознания возникают трудности с установлением признаков состава преступления, в целом квалификации преступлений, а также выявлении виновных лиц.

Основы расследования пожаров в теории были заложены в России в середине XX в. Б.В. Мегорским [7]. Общепринятый методический подход к установлению причины пожара начинается с производства осмотра места происшествия.

Осмотр места пожара – одно из самых важных процессуальных действий при расследовании пожаров с гибелью людей [8]. Руководствуясь Уголовно-процессуальным кодексом Российской Федерации от 18 декабря 2001 г. № 174-ФЗ (в ред. от 24 февраля 2021 г.) осмотр места пожара производится в целях обнаружения следов преступления, выяснения других обстоятельств, имеющих значение. Осмотр невозможно заменить или исключить иным процессуальным действием, так как при осмотре происходит профессиональное исследование фактических данных, которое невозможно произвести иным способом.

В настоящее время расследование пожаров нуждается в повышении качества работы органа дознания. Во многом тщательность проводимого осмотра зависит от взаимодействия между дознавателем и экспертом. Привлечение специалистов (экспертов) к производству осмотра места пожара, в последующем проводящих пожарно-техническую экспертизу, изъятие вещественных доказательств – взаимосвязанные факторы для истинности установления причины возникновения пожара. При этом заключение и выводы эксперта об очаге пожара и причинах возникновения пожара, как правило, оказывают решающее влияние на весь ход проводимого расследования.

Анализ практики деятельности органов дознания и судебно-экспертных учреждений свидетельствует, что ввиду отсутствия практических и теоретических навыков довольно часто имеет место нарушение процессуальных требований при выборе и изъятии вещественных доказательств, нередко неграмотно описываются термические повреждения объекта, на котором произошел пожар [9].

Практика показывает, что исследования специалистов (экспертов) по делам о пожарах не всегда полны и убедительны, выводы не всегда достаточно аргументированы, а по основному вопросу органа дознания о причине пожара эксперты формулируют вероятностную причину [10]. Затем уже дознаватель, оценивая совокупность имеющихся данных, приходит к выводу о наличии либо отсутствии состава преступления, предусмотренного Уголовным кодексом Российской Федерации от 13 июня 1996 г. № 63-ФЗ (в ред. от 24 февраля 2021 г.).

Таким образом, для совершенствования расследований по делам о пожарах, в том числе с гибелью людей, необходим достаточный уровень специальных, узко направленных знаний как экспертов (для методической помощи сотрудникам органов Государственного пожарного надзора (ГПН) и точности высказываемых выводов о причине пожара), так и дознавателей (для четкости плана действий при расследовании, качественного осмотра места пожара). Уровень знаний достигается путем обучения, саморазвития, самоотверженности и преданности собственному делу.

Помимо вышеназванных аспектов деятельности по раскрытию преступлений, связанных с пожарами, немаловажное значение имеет оценка деятельности должностных лиц надзорных органов МЧС России при расследовании обстоятельств пожара с гибелью людей.

В настоящее время оценка деятельности территориальных надзорных органов МЧС России осуществляется на основании приказа МЧС России от 18 декабря 2017 г. № 576 «Об утверждении перечней показателей результативности и эффективности деятельности надзорных органов МЧС России», в котором приведены показатели оценки надзорной деятельности без акцента на уголовно-процессуальную деятельность. Основная цель, отраженная в приведенных показателях – «выработка единого алгоритма действий проверяющих при проведении проверки и оценки деятельности».

Подобная методика должна отражать, внедрять, оказывать помощь и предлагать рекомендации также дознавателям и руководящему составу по законному, всестороннему и полному, объективному расследованию преступлений, связанных с пожарами, в том числе с гибелью людей, а не оценивать показатель «качество подготовки материалов проверки

по фактам пожаров». Без определения критериев подобного «качества» и раскрытия терминологии, по которым происходит оценка деятельности территориальных органов надзорной деятельности и профилактической работы субъекта Российской Федерации, невозможно объективно свидетельствовать об уровне подготовки и улучшении работы должностных лиц, выявлении проблемных направлений деятельности при расследовании пожаров, повлекших гибель людей, проведении самооценки для установления собственных результатов и самоконтроля, а также невозможно достижение задач, которые должны решаться при выставлении оценки деятельности подразделений органов ГПН.

Методика оценки результативности и эффективности уголовно-процессуальной деятельности надзорных органов МЧС России должна основываться на анализе достигнутых результатов, личностных качеств, анализе действующего законодательства и направлена на повышение уровня исполнения должностными лицами обязанностей по расследованию пожаров, в том числе с гибелью людей.

Литература

1. Чешко И.Д. Плотников В.Г. Анализ экспертных версий возникновения пожара: в 2-х кн. СПб.: ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2012. Кн. 2. 364 с.
2. Показатели состояния безопасности дорожного движения. URL: <http://stat.gibdd.ru/> (дата обращения: 31.01.2021).
3. Анализ результатов деятельности управления надзорной деятельности и профилактической работы Главного управления МЧС России по Архангельской обл. за 2020 г. URL: <https://29.mchs.gov.ru/> (дата обращения: 31.01.2021).
4. Онлайн-конференция при руководстве МЧС России. URL: <https://www.mchs.gov.ru/deyatelnost/press-centr/> (дата обращения: 27.03.2021).
5. Попов И.А. Расследование преступлений, совершенных путем поджога и в результате нарушения требований пожарной безопасности: учеб.-практ. пособие. М.: Проспект, 2021. 112 с.
6. Галишев М.А. Установление технической причины пожара при расследовании дел о пожарах. СПб.: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России, 2007. 256 с.
7. Мегорский Б.В. Методика установления причины пожара. М. : Стройиздат, 1966. 347 с.
8. Осмотр места пожара: метод. пособие / И.Д. Чешко [и др.]. М.: ВНИИПО, 2004. 503 с.
9. Моторыгин Ю.Д. Математическое моделирование процессов возникновения и развития пожаров: монография. СПб.: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России, 2011. 184 с.
10. Анализ нарушений нормативных требований в области пожарной безопасности, прогнозирование и экспертное исследование их последствий: учеб. пособие. СПб.: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России, 2017. 158 с.



ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА СУДЕБНОЙ ЭКСПЕРТЗЫ

УДК 543.542 и 543.064

ИДЕНТИФИКАЦИЯ МЕТОДОМ ГАЗОЖИДКОСТНОЙ ХРОМАТОГРАФИИ ОРГАНИЧЕСКИХ ОСТАТКОВ ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА ПО СОДЕРЖАНИЮ АЛКАНОВ НОРМАЛЬНОГО И ИЗО-СТРОЕНИЙ

Л.А. Яценко, кандидат химических наук.
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России

Показано, что для установления принадлежности органических остатков к дизельному топливу необходимо и достаточно методом газожидкостной хроматографии жидких проб (исходных жидкостей и/или гексановых экстрактов) обнаружить в органических остатках алканы изопреноидного строения (2,6,10-триметилпентадекан, пристан, фитан) по наличию пиков на хроматограмме с линейными индексами удерживания (1630, 1680 и 1786, соответственно). Для определения марки дизельного топлива методом газожидкостной хроматографии жидких проб необходимо проанализировать хроматограмму остатков дизельного топлива в программе Всероссийской электронной базы хроматографических данных посредством поджога, установить суммарное содержание алканов нормального и изопреноидного строения и рассчитать во сколько раз содержание нормальных алканов преобладает над содержанием алканов изопреноидного строения. При выгорании дизельного топлива на 50–99 % происходит перераспределение содержания нормальных алканов и алканов изо-строения. Содержание нормальных алканов уменьшается из-за выгорания более легких алканов, а содержание тяжелых и не летучих алканов изопреноидного строения значительно возрастает и становится сравнимым с содержанием алканов нормального строения. При этом характер изменения содержания нормальных алканов по сравнению с содержанием алканов изо-строения зависит только от марки дизельного топлива и степени его выгорания.

Ключевые слова: метод газожидкостной хроматографии жидких проб, алканы нормального и изо-строений, идентификация дизельного топлива по изопреноидным алканам в его составе, марки дизельного топлива, критерий дифференциации дизельных топлив по маркам, электронная база хроматографических данных по средствам поджога

Известно, что во всех фракциях дизельного топлива марки «летнее» содержится в 2–6 раз (в зависимости от фракции) больше парафинов, чем в дизельном топливе марки «зимнее» топливо как по сумме, так и по содержанию отдельных парафинов. Чтобы определить марку предлагается на хроматограммах дизельного топлива найти пики гепта- и октадекана и определить их процентное содержание [1].

В методических указаниях [2] предлагается для установления марки дизельного топлива использовать содержание легких нормальных углеводородов.

Ранее было показано, что для установления типа легковоспламеняющейся жидкости (ЛВЖ) и горючей жидкости (ГЖ) методом газожидкостной хроматографии (ГЖХ) в смеси неизвестного состава достаточно обнаружить компоненты, принадлежащие алканам и аренам, и определить их суммарное содержание [3].

В условиях режима программирования температуры колонки при вводе в электронную базу данных (ЭБД) используются линейные индексы удерживания:

$$I_i = 100 \left[\frac{t_{R(i)} - t_{R(N)}}{t_{R(N+1)} - t_{R(N)}} \right]$$

где I_i – индекс удерживания, интересующего пика; $t_R(i)$ – время удерживания интересующего пика; $t_R(N)$, $t_R(N+1)$ – времена удерживания пиков алканов с числом атомов углерода N и $(N+1)$, выходящих до и после i пика.

В уравнении расчета линейного индекса удерживания интересующего пика нет необходимости вносить в значение времени удерживания поправку на мертвое время. Достаточно использовать абсолютное время удерживания интересующего пика [4].

Необходимо отметить, что при обработке хроматограмм следует учитывать дрейф базовой линии на хроматограмме. Разметку пиков на хроматограммах дизельных топлив перед их интегрированием надо проводить строго по базовой линии, учитывая ее смещение с ростом температуры колонки при разделении смеси на компоненты [5].

Индексы искоемых веществ, например аренов и изо-алканов, являются справочной информацией для конкретной жидкой стационарной фазы марки ZB-50. Значения индексов алканов являются неизменными для любых стационарных фаз и зависят только от числа атомов углерода в молекуле алкана. При этом ни условия хроматографирования (давление, природа газа-носителя, температура колонки), ни геометрические параметры колонки на их значения не влияют.

Анализ хроматограммы смеси ЛВЖ и ГЖ неизвестного состава возможен с помощью электронной базы хроматографических данных посредством поджога. Для этого в ЭБД необходимо ввести данные о хроматограмме в виде совокупности пар точек, состоящих из индексов и площадей каждого идентифицированного на хроматограмме пика [6].

Для суммирования площадей пиков, относящихся к одному классу углеводородов, в программную оболочку ЭБД средств поджога введен дополнительный блок [7].

По результатам, полученным при анализе хроматограммы неизвестного состава в ЭБД, преобладающее количество аренов в анализируемом составе свидетельствует о его принадлежности к нефтепродуктам бензиновой фракции нефти, а преобладающее количество алканов – к нефтепродуктам среднестиллятных фракций нефти (керосинам или дизельным топливам). При этом задача установить марку дизельного топлива ранее не ставилась [8].

Были проанализированы с помощью ЭБД посредством поджога все хроматограммы дизельных топлив, полученные в Федеральных государственных бюджетных учреждениях Судебно-экспертных учреждениях федеральной противопожарной службы Испытательных пожарных лабораториях (ФГБУ СЭУ ФПС ИПЛ) разных регионов России, что позволило выявить характерные особенности для каждой марки дизельного топлива.

В табл. 1–3 приведен углеводородный состав дизельного топлива марки «летнее» разных производителей до и после термического воздействия.

Как видно из табл. 1, у большинства производителей в дизельных топливах марки «летнее» наблюдается сходное содержание алканов изопреноидного строения (2,6,10-триметилпентадекана, пристана и фитана).

При этом сумма площадей пиков алканов изо-строения, полученная в результате анализа хроматограммы в программе ЭБД посредством поджога, колеблется в интервале от 11 % (НК «Роснефть-Кубаньнефтепродукт») до 17 % (НК «ТАИФ», ОАО «Нижекамский НПЗ»).

Из табл. 1 также следует, что для дизельных топлив марки «летние» у разных производителей наблюдается значительный разброс отношения сумм площадей пиков всех идентифицированных алканов к площадям пиков всех аренов. Содержание всех алканов превышает содержание всех аренов и колеблется в зависимости от производителя от 4 (НК «ТАИФ», ОАО «Нижекамский НПЗ», ОАО Холдинговая компания «Татнефтепродукт», НК «Татнефть», ОАО «Средне-Волжский Транснефтепродукт»)

до 17 раз (ООО «Кинеш»)). Поэтому данное отношение нецелесообразно выбирать в качестве критерия при определении марки дизельного топлива.

В то же время отношение сумм площадей пиков алканов нормального строения к сумме площадей пиков алканов изо-строения для большинства производителей воспроизводится и имеет достаточно узкий интервал от 4 (НК «ТАИФ», ОАО «Нижнекамский НПЗ», ОАО Холдинговая компания «Татнефтепродукт») до 7,5 ед. (НК «Роснефть-Кубаньнефтепродукт»).

Поэтому в качестве основного критерия при дифференциации дизельного топлива по маркам было выбрано изменение содержания алканов нормального и изо-строений.

Таблица 1. Содержание аренов, алканов нормального и изопреноидного строений (изоалканов) в дизельных топливах марки «летнее» разных производителей

Дизельное топливо марки «летнее», производитель	Содержание, %			Отношение сумм площадей пиков разных групп углеводородов, ед.	
	арены	алканы	изоалканы	алканы/арены	алканы/изоалканы
НК «ТАИФ», ОАО «Нижнекамский НПЗ»	12	71	17	6,0	4,0
ОАО Холдинговая компания «Тат-нефтепродукт»	17	67	16	4,0	4,0
НК «Татнефть», ОАО «Средне-Волжский Транснефтепродукт»	16	68	16	4,0	4,0
ООО «Сибнефть».	10	74	16	7,0	4,6
ООО «Лукойл Волга-нефтепродукт»	12	72	16	6,0	4,5
НК «Роснефть», ОАО «Славнефть-ЯНОС»	5	80	15	16,0	5,0
НК «Газпромнефть»	13	73	14	6,0	5,0
ООО «Кинеш»	5	83	12	17,0	7,0
НК «Роснефть-Кубаньнефтепродукт»	7	82	11	12,0	7,5

В табл. 2 объединены результаты анализа хроматограмм дизельного топлива «летнего», подвергнутого на 50 % термическому воздействию, проанализированные в программе ЭБД хроматографических данных посредством поджога.

Таблица 2. Содержание аренов, алканов и изопреноидных алканов в дизельном топливе марки «летнее» разных производителей после термического выгорания до 50 %

Дизельное топливо марки «летнее», производитель	Содержание, %			Отношение сумм площадей пиков алканов разного строения, ед.
	арены	алканы	изоалканы	
ОАО «Славнефть-ЯНОС»	2	73	25	3,0
ОАО «НК Роснефть Курганнефтепродукт»	1	81	20	4,0
Производитель не указан	8	70	22	3,0

Из табл. 2 видно, что частичное выгорание дизельного топлива марки «летнее» до 50 % и, соответственно, частичное его испарение приводит к изменению отношения площадей всех пиков алканов нормального строения к площадям пиков алканов изопреноидного строения, выбранного для дифференциации дизельного топлива по маркам. Содержание алканов нормального строения после частичного выгорания дизельного топлива марки «летнее» становится лишь в 3–4 раза больше, чем алканов изопреноидного строения по сравнению с исходным дизельным топливом аналогичной марки.

Как видно из табл. 3, выгорание дизельного топлива марки «летнее» до 99 % сопровождается дальнейшим уменьшением отношения количества всех алканов нормального строения к алканам изо-строения и находится в интервале от 1,4 до 1,7 ед.

Таблица 3. Содержание аренов, алканов и изопреноидных алканов в дизельном топливе марки «летнее» разных производителей после его выгорания до 99 %

Дизельное топливо марки «летнее», производитель	Содержание, %			Отношение сумм площадей пиков алканов разного строения, ед.
	арены	алканы	изоалканы	алканы/изоалканы
ООО «Лукойл-Волганефтепродукт»	1	58	41	1,4
НК «Газпромнефть»	10	57	33	1,7
Производитель не указан	3	58	39	1,5

Таким образом, для исходных, не подвергнутых термическому воздействию дизельных топлив марки «летнее» отношение сумм площадей всех пиков алканов нормального строения к сумме площадей всех пиков изоалканов находится в диапазоне от 4 до 7,5.

После выгорания до 50 % или частичного испарения дизельных топлив марки «летнее» у разных производителей интервал отношения сумм площадей пиков алканов нормального строения к сумме площадей всех пиков изоалканов уменьшается и равен 3–4 ед. по сравнению с интервалом для дизельных топлив марки «летнее» до температурного воздействия. Только после длительного выгорания дизельного топлива марки «летнее» (степень выгорания 99 %) в его составе происходит значительное перераспределение содержания групп алканов разного строения, а именно алканов нормального и изо-строений. При выгорании дизельного топлива до 99 % в выгоревших остатках дизельного топлива марки «летнее» содержание алканов нормального строения становится практически сравнимо с содержанием алканов изопреноидного строения.

В табл. 4–5 приведен состав дизельных топлив марки «зимнее» до и после термического воздействия на них, рассчитанный из хроматограмм с помощью программы ЭБД посредством поджога.

Таблица 4. Содержание аренов, алканов и изопреноидных алканов в дизельных топливах марки «зимнее» разных производителей

Дизельное топливо марки «зимнее», производитель	Содержание, %			Отношение сумм площадей пиков алканов разного строения, ед.
	арены	алканы	изо-алканы	алканы/изоалканы
НК «ТАИФ», ОАО Нижнекамский НПЗ	20	74	6	12
ООО «КИНЕФ»	11	82	8	10
«Башнефть-УНПЗ»	22	71	7	10
ОАО НК «Роснефть-ЯНП»	11	80	9	9

Из табл. 4 видно, что содержание алканов изопреноидного строения в дизельных топливах марки «зимнее» значительно отличается от их содержания в дизельных топливах марки «летние» и у разных производителей колеблется от 6 % (НК «ТАИФ», ОАО Нижнекамский НПЗ) до 9,0 % (ОАО НК «Роснефть-ЯНП»). При этом отношение площадей всех пиков алканов нормального строения к сумме площадей пиков алканов изо-строения находится в интервале от 9 ед. (ОАО НК «Роснефть-ЯНП») до 12 ед. (НК «ТАИФ», ОАО Нижнекамский НПЗ).

После длительного выгорания дизельного топлива марки «зимнее» (степень выгорания 99 %) в его составе так же, как и в случае дизельного топлива марки «летнее», происходит перераспределение содержания групп алканов разного строения. За счет концентрирования тяжелых и нелетучих алканов изопреноидного строения их содержание в составе дизельного топлива значительно возрастает. Из-за выгорания более легких алканов нормального строения содержание алканов нормального строения значительно уменьшается (табл. 5). При этом интервал отношения суммы площадей пиков нормальных алканов, сохранившихся после выгорания дизельного топлива марки «зимнее» до 99 % к сумме площадей пиков изопреноидного строения уменьшается на порядок по сравнению с исходным дизельным топливом этой же марки и равно 0,5–1,0.

Таблица 5. Содержание аренов, алканов и изопреноидных алканов в дизельном топливе марки «зимнее» разных производителей после термического выгорания до 99 %

Дизельное топливо марки «зимнее», производитель	Содержание, %			Отношение сумм площадей пиков алканов разного строения, ед.
	арены	алканы	изоалканы	алканы/изоалканы
ООО «Лукойл-Ухтанефтепереработка»	1	34	65	0,5
НК «Сургутнефтегаз», ООО «Кинеш»	1	43	56	0,8
НК «Газпромнефть»	1	50	49	1,0

В табл. 6–10 приведен углеводородный состав дизельных топлив класса «Экто» и «Евро» разных производителей до и после термического воздействия на дизельные топлива. Необходимо отметить, что маркировка дизельных топлив классов «Евро» и «Экто» (К5) также подразделяется в соответствии с физико-химическими свойствами, эксплуатационными характеристиками и условиями применения топлива на «летнее» (Л), «зимнее» (З) и «арктическое» (А) [9].

В табл. 6 приведены составы дизельных топлив марки «летнее» класса К5 (ДТЛ-К5), полученные в результате анализа хроматограмм в программе ЭБД посредством поджога.

В составах дизельных топлив марки ДТЛ-К5 содержание всех пиков алканов нормального строения в 4,0–7,5 раз больше, чем содержание всех алканов изопреноидного строения, как и характерно для обычных дизельных топлив марки «летние» (табл. 1).

В дизельных топливах марки «зимние» класса К5 (ДТЗ-К5) содержание нормальных алканов в зависимости от производителей в 9–12 раз больше, чем алканов изопреноидного строения (табл. 7). Аналогичный интервал отношения сумм площадей всех пиков алканов нормального строения к сумме площадей пиков алканов изопреноидного строения наблюдается и в обычном дизельном топливе марки «зимнее» (табл. 4).

Таблица 6. Содержание аренов, алканов и изопреноидных алканов в дизельных топливах марки «летнее», классов «Евро» и «Экто» разных производителей

Дизельное топливо марки «летнее» классов «Евро» и «Экто», производитель	Содержание, %			Отношение сумм площадей пиков алканов разного строения, ед.
	арены	алканы	изоалканы	алканы/изоалканы
НК «Роснефть», ЗАО «РНПК»	4	83	14	6,0
НК «Лукойл»	5	75	20	4,0
ОАО «Славнефть-ЯНОС»	9	80	11	7,0
ЛПДС «Стальной Конь»	19	71	10	7,0
ОАО НК «Роснефть-Кубань Нефтепродукт»	6	83	11	7,5
ООО «ГазпромнефтьЮг»	8	76	16	4,7
ООО «Лукойл-Югнефтепродукт»	8	81	11	7,0
ООО «Уфимнефть»	8	79	13	6,0
Производитель не указан	9	79	12	6,6

Таблица 7. Содержание аренов, алканов и изопреноидных алканов в дизельных топливах марки «зимнее», классов «Евро» и «Экто» разных производителей

Дизельное топливо марки «зимнее», классов «Евро» и «Экто», производитель	Содержание, %			Отношение сумм площадей пиков алканов разного строения, ед.
	арены	алканы	изоалканы	алканы/изоалканы
ОАО «Саратовский НПЗ»	14	78	8	10,0
ООО «ЛУКОЙЛ-Волга нефтепродукт»	6	86	8	11,0
ЯНОС «Славнефть»	12	79	9	9,0
ООО «Лукойл-Ухтанefте переработка»	6	86	7	12,0
ООО «Газэнерго сеть розница»	14	78	8	10,0
ООО «ПТК», Новгородский филиал	19	72	9	9,0

После температурного воздействия на дизельные топлива марок «летнее» и «зимнее» класса К-5 (ДТЛ-К5 и ДТЗ-К5) закономерности изменения содержания алканов нормального и изо-строений аналогичные, что и для обычных дизельных топлив одинаковых марок (табл. 8–10 и 2, 3, 5, соответственно).

Таблица 8. Содержание аренов, алканов и изопреноидных алканов в дизельном топливе марки «летнее», класса «Евро» разных производителей после термического выгорания до 50 %

Дизельное топливо, производитель	Содержание, %			Отношение сумм площадей пиков алканов разного строения, ед. алканы/изоалканы
	арены	алканы	изоалканы	
ЗАО «Рязанская НПК»	2	73	25	3,0
Производитель не указан	8	66	26	2,5
ДТЛ-К5, ООО «ПТК», филиал «Новгородский»	14	68	18	4,0
ДТЛ-К5, «Neste Oil Санкт-Петербург»	5	73	22	3,0
ДТЛ-К5, ООО «Уфимнефть»	2	72	36	2,0
ДТЛ-К5, ООО «Газпромнефть- Юг»	2	76	38	3,0
ДТЛ-К5, ООО «Лукойл- Югнефтепродукт»	2	71	27	2,6
ДТЛ-К5, ОАО НК «Роснефть-Кубань Нефтепродукт»	2	78	20	4,0
ДТЛ-К5, ООО «Лукойл- Югнефтепродукт»	3	71	26	2,7
ДТЛ-К5, Производитель не указан	1	67	32	2,0
ОАО «СлавнефтьЯНОС»	2	68	30	2,3

Таблица 9. Содержание аренов, алканов и изопреноидных алканов в дизельном топливе марки «летнее», класса «Евро» разных производителей после термического выгорания до 99 %

Дизельное топливо, производитель	Содержание, %			Отношение сумм площадей пиков алканов разного строения, ед. алканы/изоалканы
	арены	алканы	изоалканы	
ЗАО «Рязанская НПК»,	2	61	37	1,6
ДТЛ-К5, производитель не указан	1	57	42	1,5
ДТЛ-К5, ООО «ПТК», филиал «Новгородский»	2	62	36	1,7
ДТЛ-К5, «Neste Oil Санкт- Петербург»	1	59	40	1,5
ДТЛ-К5, ОАО «НКРоснефть- Кубаньнефтепродукт»	2	63	35	1,8
ДТЛ-К5, ООО «Лукойл- Югнефтепродукт»	3	61	36	1,7
ДТЛ-К5, ООО «Лукойл- Югнефтепродукт»	1	61	38	1,6

При выгорании дизельного топлива «летнего» на 50 % – 99 % класса К-5 в его составе так же, как и в обычных дизельных топливах марки «летнее» происходит перераспределение

содержания алканов нормального и изо-строений. С увеличением степени выгорания дизельного топлива марки «летнее» класса К5 увеличивается суммарное содержание изо-алканов вплоть до 42 % в зависимости от степени выгорания (табл. 8, 9).

В табл. 10 показано как изменяется интервал отношения сумм площадей пиков всех идентифицированных алканов нормального строения к сумме площадей пиков алканов изо-строения (изопреноидных алканов) в дизельных топливах марки «зимние» класса К5 по сравнению с аналогичным отношением для дизельных топлив этой же марки и класса до их выгорания (табл. 7). В случае дизельных топлив марок ДТЗ-К5 при выгорании на 99 % содержание алканов нормального строения становится практически сравнимым с суммарным содержанием изопреноидных алканов 2,6,10-триметилпентадекана, пристана и фитана (табл. 10).

Таблица 10. Содержание аренов, алканов и изопреноидных алканов в дизельном топливе марки «зимнее», класса «Евро» разных производителей после термического выгорания до 99 %

Дизельное топливо, производитель	Содержание, %			Отношение сумм площадей пиков алканов разного строения, ед.
	арены	алканы	изоалканы	алканы/изоалканы
ОАО «Славнефть-ЯНОС»	0	56	44	1,3
Производитель не указан	0	54	46	1,2

В сводной табл. 11 показано влияние степени выгорания дизельного топлива на суммарное содержание всех идентифицированных алканов нормального и изо-строений в зависимости от его марки.

Таким образом для установления принадлежности органических остатков к дизельному топливу необходимо и достаточно методом ГЖХ жидких проб (исходных жидкостей и/или гексановых экстрактов) обнаружить в органических остатках алканы изопреноидного строения (2,6,10-триметилпентадекан, пристан, фитан) по наличию пиков на хроматограмме с линейными индексами удерживания 1630, 1680 и 1786, соответственно. Для этого необходимо обработать хроматограмму, например, в программе «Хроматэк Аналитик» или «NetChrom», предварительно настроив процесс идентификации пиков аренов и изопреноидных алканов по линейным индексам удерживания, рассчитанным относительно времен удерживания пиков нормальных алканов.

Для определения марки дизельного топлива методом ГЖХ жидких проб необходимо установить суммарное содержание алканов нормального и изопреноидного строения, проанализировав хроматограмму остатков дизельного топлива в программе Всероссийской ЭБ хроматографических данных по средствам поджога. Чтобы установить марку дизельного топлива методом ГЖХ достаточно рассчитать во сколько раз содержание нормальных алканов преобладает над содержанием алканов изопреноидного строения.

Таблица 11. Оценка степени выгорания для дизельных топлив разных марок и классов по содержанию алканов нормального и изо-строений

Дизельное топливо, марка	Степень выгорания, %		
	0	50	99
	$\Sigma S_{\text{пиков н-алканов}} / \Sigma S_{\text{пиков изо-алканов}}$, ед.,		
Л «летнее»	4–7,5	4–7,5	1,4–1,7
З «зимнее»	9–20	9–12	0,5–1
Л-К5	4–7,5	2–4	1,5–2,5
З-К5	9–16	–	0,5–1

Полученные результаты будут полезны для практической экспертной деятельности при решении задачи обнаружения методом ГЖХ жидких проб совместно с использованием Всероссийской ЭБД хроматографических спектров по средствам поджога в органических остатках неизвестного происхождения дизельного топлива и установления марки и степень его выгорания.

Литература

1. Прокуда Н.А. Анализ содержания парафинов во фракциях дизельного топлива // Аналитика Сибири и Дальнего Востока: сб. материалов IX Науч. конф. URL: http://conf.sfu-kras.ru/conf/asfe12/report?memb_id=4627 (дата обращения: 10.03.2021).
2. Трушкова Л.В., Дрогалев В.В. Физико-химические методы анализа нефти и нефтепродуктов. Методические указания для лабораторных работ. Тюмень: Тюм ГНГУ, 2015.
3. Чешко И.Д., Принцева М.Ю., Яценко Л.А. Обнаружение и установление состава легковоспламеняющихся и горючих жидкостей при поджогах: метод. пособие. М.: ВНИИПО МЧС России, 2010. 90 с.
4. Практическая газовая и жидкостная хроматография / Б.В. Столяров [и др.]. СПб.: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России, 2002. 610 с.
5. Чешко И.Д., Принцева М.Ю., Яценко Л.А. Электронная база хроматографических и спектральных данных по горючим жидкостям (средствам поджога) // Надзорная деятельность и судебная экспертиза в системе безопасности. 2015. № 2. С. 12–19.
6. Яценко Л.А., Воронцова А.А., Чешко И.Д. Идентификация нефтепродуктов и технических жидкостей методом газожидкостной хроматографии по индексам удерживания // Надзорная деятельность и судебная экспертиза в системе безопасности. 2017. № 1. С. 6–16.
7. Электронная база спектральных и хроматографических данных по средствам поджога. URL: www.fire-expert.spb.ru. (дата обращения: 10.03.2021).
8. Чешко И.Д., Принцева М.Ю., Яценко Л.А. Дифференциация товарных продуктов на основе углеводородов нефти при экспертизе пожаров // Безопасность жизнедеятельности, 2018. № 11. С. 31–40.
9. ГОСТ 32511–2013 - (EN 590:2009). Топливо дизельное ЕВРО. Технические условия. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

УДК 614.844.5

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЖАРОВ, СВЯЗАННЫХ С АВАРИЙНЫМ РЕЖИМОМ БОЛЬШОГО ПЕРЕХОДНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ В ЭЛЕКТРОПРОВОДКЕ

М.Н. Маликов;

А.С. Артемьева;

Н.В. Зюзина.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России

В статье дана характеристика аварийному режиму, связанному с большим переходным сопротивлением в электропроводке. Представлен анализ возникновения пожаров по этой причине.

Ключевые слова: пожарная безопасность, аварийный режим, большое переходное сопротивление в электропроводке, причины возникновения пожаров

INVESTIGATION OF FIRES ASSOCIATED WITH THE EMERGENCY MODE OF HIGH TRANSIENT RESISTANCE IN ELECTRICAL WIRING

M.N. Malikov; A.S. Artemyeva; N.V. Zyuzina.

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

The article describes the emergency mode associated with a large transient resistance in the electrical wiring. An analysis of the occurrence of fires for this reason is presented.

Keywords: fire safety, emergency mode, large transient resistance in electrical wiring, causes of fires

В России за 2019 г. произошло 41 763 пожара из-за неисправности электрооборудования. Если рассматривать долю пожаров, происходящих по этой причине на предприятиях, то она составляет примерно 38 %. На жилые дома приходится чуть меньше – 32 %. Наибольший же процент пожаров, случающихся по вине электроустановок, приходится на индивидуальные жилые дома [1].

Можно выделить несколько основных аварийных режимов в электросетях и электроустановках, которые приводят к пожарам (рис. 1).

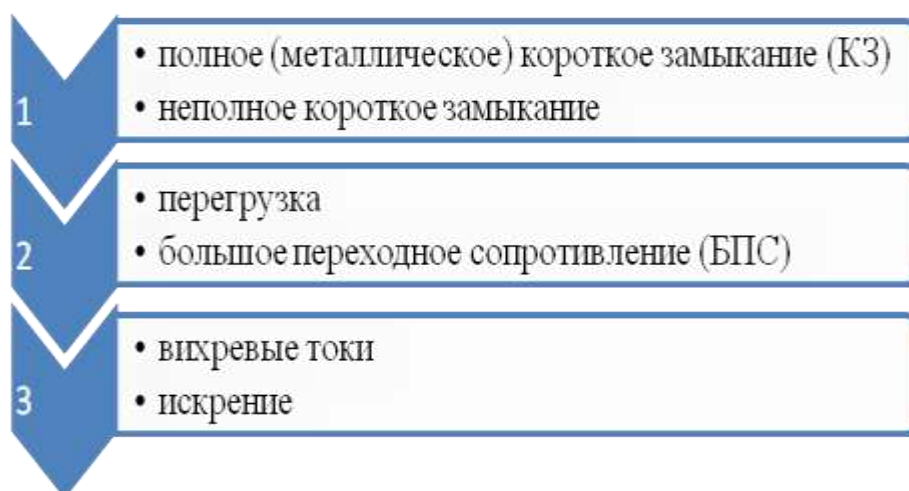


Рис. 1. Основные аварийные режимы в электросетях и установках

Аварийный режим, связанный с большим переходным сопротивлением (БПС) в электропроводке, является наиболее частой причиной возникновения пожаров.

БПС называют также плохим контактом. Данный вид аварийного режима возникает при переходе электрического тока с одного проводника на другой [2]. Различные дефекты токопроводящих шин, возможные изломы проводников при сохранении контакта между ними, износ электрических контактов, плохая сборка контактных узлов способствуют возникновению длительных устойчивых тепловых режимов, приводящих к разрушению изоляции и защитных оболочек, загораниям и другим отрицательным последствиям.

В некоторых случаях следы локального нагрева, который возникает при большом переходном сопротивлении, можно увидеть невооруженным глазом и даже несложно зафиксировать их наличие. Но, как правило, выявить следы, оставленные большим переходным сопротивлением, после пожара практически нереально. Эксперты при анализе причин пожара вынуждены полагаться на свою интуицию, так как абсолютно непонятно, что необходимо найти, чтобы доказать возникновение возгорания из-за воздействия большого переходного сопротивления. Тем более непонятно, какие применять при этом методы и технические средства, какие обнаруженные следы могут однозначно указывать на признаки большого переходного сопротивления [3]. Все вышперечисленное приводит к тому, что в ходе установления причин пожара следы данного пожароопасного режима

не выявляются и его причастность к возгоранию не доказывается. В то же время БПС, по мнению специалистов, является наиболее частой причиной возникновения пожаров.

Электрическое соединение, имеющее плохой контакт, является потенциально пожароопасным, даже если значение протекающего тока гораздо меньше номинального. Это связано с тем, что при плохом контакте падение напряжения составляет единицы вольт вместо долей милливольт, а рассеиваемая электрическая мощность может достигать сотни ватт. При этом режиме велика вероятность возгорания, причиной которого могут стать не только нагретые проводники, но и возникающая электрическая дуга, а также раскаленные до значительных температур частицы металла. При воздействии БПС создаются очаги повышенных температур, и на небольших участках увеличивается концентрация продуктов пиролиза полимерных материалов. В этом режиме происходит частичное оплавление изоляции проводов и контактных деталей [3].

Для большей наглядности данный процесс можно представить так. При недостаточной площади контакта проводников велика вероятность возникновения БПС со значительным выделением тепла, что приводит к деформированию поверхностей контакта и площадь соприкосновения контактов значительно уменьшается. Как показывают исследования в работе [3], такой процесс в определенный момент приводит к возникновению микроскопических дуговых разрядов между контактами. Опять же электрические разряды приводят к значительному повышению температуры контактного участка и тем самым увеличивают его пожароопасность.

БПС бывает следующих видов, при этом они могут существовать как отдельно, так и возникать одновременно, притом в одной и той же точке цепи (рис. 2):

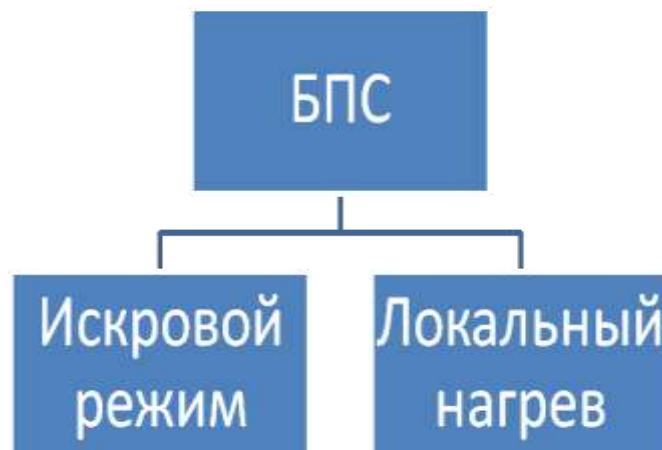


Рис. 2. Виды БПС

Под действием микроскопических электрических разрядов на контактирующих поверхностях остаются следы в виде микрократеров, оплавлений и небольших возвышенностей – хребтов, так называемые следы электроэрозии металла. Подобные дефекты специалисты считают характерными для возникшего режима большого переходного сопротивления [3]. Такую структуру, состоящую из следов электроэрозии, можно увидеть, исследуя поверхность поврежденных металлических контактов с помощью растрового электронного микроскопа (рис. 3).

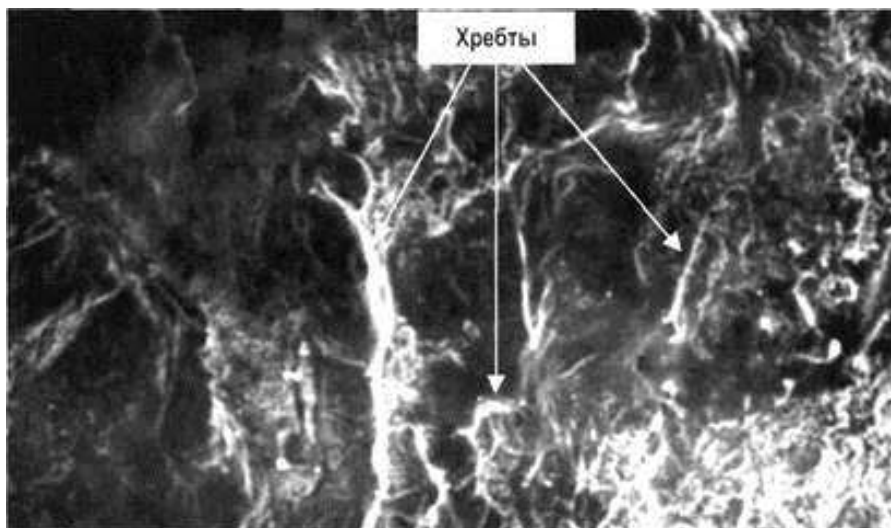


Рис. 3. Поверхность проводника со следами воздействия БПС. Режим искрения

Искрение не всегда сопровождается режимом большого переходного сопротивления. Как было обозначено выше, при недостаточной площади контакта для нормального протекания тока на участке соприкосновения проводников значительно повышается температура, что, в свою очередь, приводит не только к оплавлению участков, но и проплавлению их. В этом режиме БПС образуются следующие следы. На достаточно большой площади возникают хорошо различимые при тысячекратном увеличении участки проплавления в виде волн, которые имеют округлую форму (рис. 4). В отличие от режима БПС, сопровождающегося искрением, в таком варианте отсутствуют ярко выраженные кратеры и впадины, не наблюдаются также микроплавления [3].



Рис. 4. Поверхность проводника с характерными волнами локального нагрева

Эти два режима протекания БПС на практике могут возникать и в режиме комбинации искрового и безыскрового. На рис. 5 приведен результат подобной электроэрозии. Хорошо различимы две зоны: участки с волнообразными дефектами как следствие действия безыскрового режима, так и микроплавления, характерные для режима искрения [3].



Рис. 5. Поверхность проводника со следами воздействия БПС. Комбинационный режим

Подобная картина хорошо сохраняется на алюминиевых проводниках и после пожара при условии, что температура в зоне горения не превышала температуру плавления алюминия. Основываясь на данных следах, можно уверенно заявлять о том, что причиной возгорания явилось именно возникновение в месте контакта БПС [3].

Однако, если в очаге возгорания находились медные проводники, то такой однозначный вывод о воздействии или не воздействии БПС не представляется возможным. Причиной является то, что при воздействии на медь температур больше $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ на поверхности контактов образуется пленка оксида меди двухвалентного, которая может отделяться при любом механическом воздействии [4].

Подобная оксидная пленка может образовываться не только на медных проводниках, но и на проводниках, выполненных из латуни или стали.

Для того чтобы однозначно установить, было ли воздействие БПС в зоне контакта, можно провести следующее исследование.

Как известно, на поверхности контактов и проводников всегда присутствуют технологические следы, возникающие при их изготовлении. Это могут быть полосы волочения на проводах, следы воздействия различных инструментов на контактах. При этом технологические дефекты имеют ярко выраженный линейный характер, который можно отличить от дефектов, возникших под воздействием БПС, например электроэрозии или волнового рисунка оплавления. Также при отделении оксидной пленки нарушается целостность рисунка, характерного для технологических дефектов. Если исследуемая поверхность проводников имеет следы технологического воздействия, то можно утверждать, что данная поверхность не подвергалась действию БПС (рис. 6) [4].

Соответственно, отсутствие технологических дефектов на контактирующих поверхностях может указывать о вероятном воздействии БПС, в результате которого с проводника отделилась оксидная пленка. Точно утверждать, что детали подверглись воздействию БПС, не позволяет вероятность проявления других дефектов, которые могут быть вызваны неравномерностью отделения оксидной пленки с поверхности металла [3].



Рис. 6. Поверхность проводника на нагретом участке при отсутствии режима БПС

Подводя итог, можно сделать вывод о том, что при анализе возникновения пожара рассмотрение версии о причастности электротехнических приборов, проводки и устройств обязательно при условии, что в зоне очага возгорания имелось такое электрооборудование, и электросеть находилась под напряжением. Очевидно, что электрооборудование представляет реальную пожарную опасность и выявить или исключить его причастность к возникновению пожара следует в первую очередь .

Литература

1. Статистика пожаров за 2015–2019 гг. в России. URL: <https://rosinfostat.ru/rozharu/#i-4> (дата обращения: 12.04.2021).
2. Мильников М.Т. Общая электротехника и пожарная профилактика в электроустановках: учеб. М.: Стройиздат, 1985. 311 с.
3. Лебедев К.Б., Чешко И.Д. Следы больших переходных сопротивлений в электротехнических устройствах и их экспертное исследование // Пожаровзрывобезопасность. 2003. № 6. С. 32–38.
4. Смелков Г.И., Александров А.А., Пехотиков В.А. Методы определения причастности к пожарам аварийных режимов в электротехнических устройствах. М.: Стройиздат, 1980. 58 с.
5. Осмотр места пожара: метод. пособие / И.Д. Чешко [и др.] / М.: ВНИИПО, 2004. 503 с.



ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ И ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ

УДК 614.845

РАСЧЕТНАЯ ОЦЕНКА ОСНАЩЕНИЯ ПЕРВИЧНЫМИ СРЕДСТВАМИ ПОЖАРОТУШЕНИЯ ПОМЕЩЕНИЙ ЗДАНИЙ РАЗЛИЧНЫХ КЛАССОВ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ

И.А. Лобаев, кандидат технических наук, доцент;

И.А. Уваров;

А.А. Волошенко.

Академия ГПС МЧС России

Представлена разработанная информационно-аналитическая система оценки оснащения первичными средствами пожаротушения (переносной огнетушитель) помещений здания и алгоритм для ее практической реализации. Данная информационная поддержка позволяет в оперативном режиме и условиях дефицита времени установить область эффективного применения требований пожарной безопасности по обеспечению первичными средствами пожаротушения помещений здания.

Ключевые слова: первичные средства пожаротушения, переносной огнетушитель, персонал, начальная стадия пожара

Проведенный анализ требований по обеспечению применения первичных средств пожаротушения (переносной огнетушитель) помещений различного класса функционального назначения для борьбы с пожаром выявил следующие проблемы [1, 2]:

- невозможно установить размер очага пожара с учетом величины пожарной нагрузки и физико-химических, и пожароопасных свойств обращающихся горючих материалов;
- невозможно установить угрозу риска от пожара лицу, применяющему огнетушитель.

Для оценки безопасного и эффективного применения первичных средств пожаротушения в зданиях необходимо провести анализ данных расчетных оценок размера очага пожара и безопасного использования огнетушителя при тушении пожара в начальной его стадии.

Для оценки эффективности необходимо на первоначальном этапе провести расчет времени свободного развития пожара $t_{св}$ – временной промежуток от момента возникновения горения до начала подачи первых приборов тушения на его ликвидацию.

Определение времени развития пожара:

$$t_{св} = t_{обн} + t_{сл} + t_{бр},$$

где $t_{обн}$ – время развития пожара с момента его возникновения до момента его обнаружения, мин [3, 4];
 $t_{сл}$ – время следования, мин; $t_{бр}$ – время боевого развертывания, мин.

Длина пути $R_{пож}$ пожара рассчитывается по методике, представленной в [5, 6]. Для ее реализации необходимо определить расстояния R , пройденного фронтом горения, за время $t_{св}$, по формуле:

$$R_{пож} = 0,5 \cdot V_{л} \cdot t_{св},$$

где $V_{л}$ – линейная скорость распространения горения, м.

Значения линейной скорости распространения горения для различных пожарных нагрузок указаны в [7].

Площадь пожара к моменту подачи огнетушителей, с учетом размещения хранимой продукции и высоты оборудования, для круговой формы рассчитывается по формуле:

$$S_{\text{пож}} = \pi R_{\text{пож}}^2. \quad (1)$$

Площадь пожара к моменту подачи огнетушителей, с учетом размещения хранимой продукции и высоты оборудования (с углом 90°), для угловой формы рассчитывается по формуле:

$$S_{\text{пож}} = (1/4) \cdot (R_{\text{пож}})^2.$$

Площадь пожара к моменту подачи огнетушителей, с учетом размещения хранимой продукции и высоты оборудования (с углом 180°), для угловой формы рассчитывается по формуле:

$$S_{\text{пож}} = (1/2) \cdot (R_{\text{пож}})^2.$$

Площадь пожара к моменту подачи огнетушителей, с учетом размещения хранимой продукции и высоты оборудования, для прямоугольной формы рассчитывается по формуле:

$$S_{\text{пож}} = n \cdot a \cdot (R_{\text{пож}})^2,$$

где n – число направлений подачи; a – ширина помещения, м.

Оценка эффективности применения первичных средств пожаротушения в начальной стадии пожара проводится по формуле:

$$S_{\text{пож}} \leq S_{\text{туш.огнетуш.}}$$

Для оценки безопасного применения первичных средств пожаротушения (переносной огнетушитель) в зданиях используется методика, указанная в [8, 9], позволяющая провести расчетную оценку воспламенения поверхности материала от воздействия лучистого теплового потока при пожаре.

Расчетное количество тепла, передаваемое при пожаре, выражается уравнением лучистого теплообмена между телами, разделёнными прозрачной средой, и описывается формулой:

$$q_{\text{расч}} = \varepsilon_{\text{пр}} C_0 \left[\left(\frac{T_{\text{и}}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{\text{доп}}}{100} \right)^4 \right] \varphi_{1-2},$$

где $T_{\text{и}}$ – температура излучающей поверхности, К; $T_{\text{доп}}$ – допустимая температура на облучаемой поверхности, К; $\varepsilon_{\text{пр}}$ – приведённая степень черноты системы.

Анализ применения расчетных оценок возможной обстановки в помещениях здания и наступления опасных факторов пожара в виде теплового потока к моменту введения передвижных огнетушителей в начальной стадии пожара выявил следующие проблемы:

- расчетные оценки с учетом справочной информации, указанной в различных источниках, затрудняют их практическое применение при организации обеспечения первичными средствами пожаротушения (переносными огнетушителями) помещений здания;
- для оценки эффективности использования огнетушителей необходима дополнительная информация.

Таким образом, для оценки оснащения первичными средствами пожаротушения в начальной стадии пожара необходимо разработать информационно-аналитическую систему оценки применения первичных средств пожаротушения (переносных огнетушителей) в помещениях здания.

Для повышения эффективности сбором данных, прогнозирования расчетных ситуаций был разработан алгоритм (рис. 1), в соответствии с которым проводится полный анализ условий применения расчетных методик и получения необходимых и достаточных показателей, дающих оценку обеспечения и эффективного применения первичных средств пожаротушения (переносных огнетушителей) в помещениях здания. Условия применения расчетной оценки рассматриваются в системе «здание (помещение) – оценка возможности применения – оценка безопасности применения».

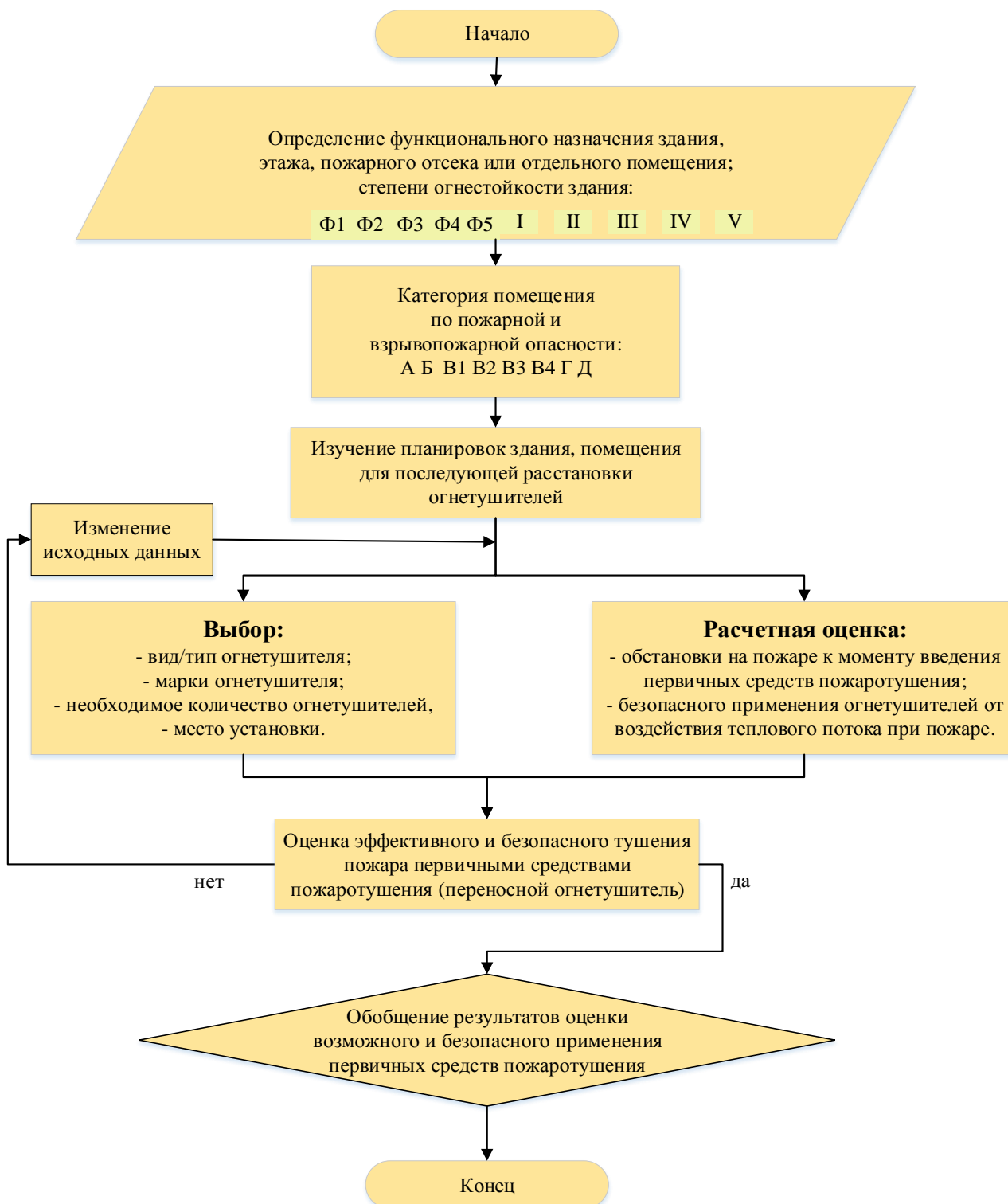


Рис. 1. Алгоритм оценки обеспечения и эффективного применения первичных средств пожаротушения (переносной огнетушитель) в помещениях здания

Для отработки и практического применения разработанной системы по алгоритму (рис. 1) необходимо провести серию расчетов на различных объектах защиты.

Расчетная оценка оснащения переносными огнетушителями будет проводиться в помещениях:

– общественного здания (Вид нагрузки: «Кабинет: мебель + бумага (0,75 + 0,25)» – $V_{\text{лин}} = 0,42$ м/мин [7]). Система оповещения и управления эвакуацией (СОУЭ) – 3 тип. Расстояние, с учетом размещения, оборудования от очага пожара до места установки переносного огнетушителя составляет 25,5 м.

Схема помещения в общественном здании с указанием площади, расстановки оборудования, представлена на рис. 2. Высота размещения оборудования и материалов $h_{\text{разм}} = 3,0$ м от уровня пола. Помещение в плане – 17x12 м. Пожарная нагрузка – «Кабинет: мебель + бумага (0,75 + 0,25)» – $V_{\text{лин}} = 0,42$ м/мин [7]; мебель, внутренняя сгораемая отделка, отчетная документация на бумажных носителях, площадью 40 м², то есть твердые горючие материалы (класс пожара А); вычислительная оргтехника, электропроводка, распределительный щиток, установочное оборудование – выключатели, розетки, плафоны освещения (класс Е). Помещение оборудовано автоматической пожарной сигнализацией (АПС), СОУЭ – 3 тип, система автоматической установки пожаротушения (АУПТ) отсутствует.

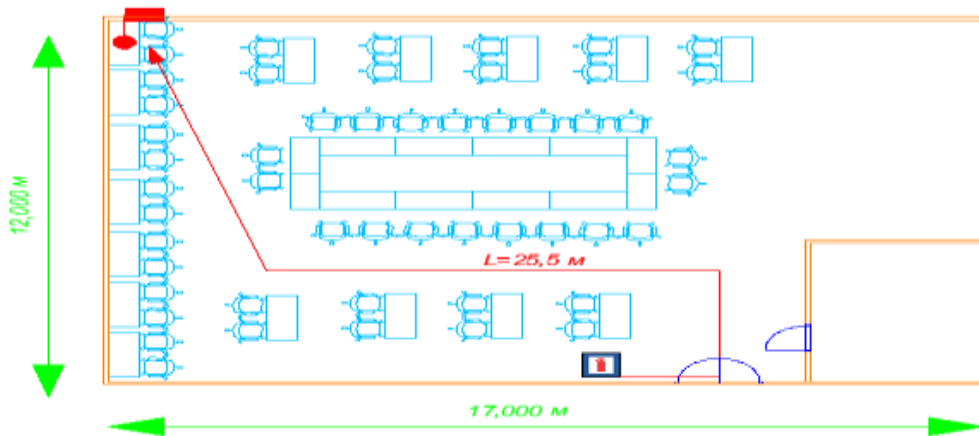


Рис. 2. Схема помещения в общественном здании

Варианта № 1: Персонал располагается в помещении моделируемого очага пожара. Время обнаружения составляет [3]:

$$t_{\text{обн}} = 5 + 0,01F = 0,117 \text{ мин,}$$

Вариант № 2: Персонал находится вне помещения моделируемого очага пожара. Время обнаружения составляет 1,5 мин [3].

За место моделируемого очага пожара взято самое удаленное место от входа в помещение. Согласно рис. 2 протяжённость маршрута следования человека от места расположения двери, огнетушителя и до очага пожара $L = 25,5$ м; время, затрачиваемое на перемещения персонала от места размещения огнетушителя до места моделируемого пожара, по формуле 1 составит $t_{\text{сл}} = 3,42$ сек = 0,085 мин. Время боевого развертывания, то есть время приведения в действие переносного огнетушителя составит $t_{\text{бр}} = 6$ сек = 0,1 мин.

Определение возможной обстановки на пожаре к моменту введения первичных средств пожаротушения

Радиус пожара (путь, пройденный пламенем) по горизонтали к моменту подачи огнетушителей:

$$R_{\text{пож}} = 0,5V_{\text{лин}} \tau_{\text{разв.}}$$

Площадь пожара к моменту подачи огнетушителей, с учетом размещения и высоты оборудования:

$$S_{\text{пож}} = \pi R_{\text{пож}}^2.$$

Оценка эффективности применения огнетушителей в общественном помещении здания (Вид нагрузки: «Кабинет: мебель + бумага (0,75 + 0,25)») представлена в табл. 1.

Таблица 1. **Определение эффективного применения огнетушителя в помещении общественного здания (Вид нагрузки: «Кабинет: мебель + бумага (0,75 + 0,25)»)**

Вариант / Время развития пожара, $\tau_{\text{разв.}}$ мин	Линейная скорость распространения, $V_{\text{лин}}$, м/мин	Радиус пожара, $R_{\text{пож}}$, м	Площадь пожара, $S_{\text{пож}}$, м ²
Вариант № 1 / 0,302	0,42	0,064	0,013
Вариант № 2 / 1,685	0,42	0,354	0,394

Оценка безопасного применения огнетушителей от воздействия теплового потока при пожаре

В табл. 2 представлена оценка безопасного применения первичных средств пожаротушения для тушения пожара в начальной стадии до прибытия подразделений пожарной охраны с учетом воздействия теплового потока.

Таблица 2. **Определение безопасного применения огнетушителей в помещении общественного здания (Вид нагрузки: «Кабинет: мебель + бумага (0,75 + 0,25)»)**

Вариант / Время развития пожара, $\tau_{\text{разв.}}$ мин	Линейная скорость распространения, м/мин	Безопасное расстояние, $r_{\text{без.р.}}$ м
Вариант № 1 / 0,302	0,42	0,48
Вариант № 2 / 1,685	0,42	4,65

Оценка возможностей применения огнетушителей

Своевременность подачи достаточного количества огнетушащего вещества (ОТВ) (порошок) определяет время обнаружения пожара ($t_{\text{обн}}$, мин) и время боевого развертывания ($t_{\text{бр}}$). Расположение огнетушителей возле входа (выхода) из помещения. Высота подачи огнетушащего вещества от огнетушителя $h_{\text{огн.}} \geq 1,0$ м от уровня пола.

Согласно приложению № 1 [2] в данном помещении должны находиться два огнетушителя ранга пожара 2А, 55В, С, Е. В соответствии с п. 406 [2] расстояние от возможного очага пожара до места размещения переносного огнетушителя не должно превышать 20 м – для помещений административного и общественного назначения.

В табл. 3 представлены характеристики огнетушителей ранга пожара 2А, 55В.

Таблица 3. **Параметры переносных огнетушителей ранга пожара 2А, 55В**

Обозначение модельного очага пожара	Масса ОТВ, заряженного в огнетушитель, кг	Длина струи ОТВ, м, не менее
2А	m = 4	3
55В	m = 4	3

Обобщенные результаты оценки возможного применения первичных средств пожаротушения представлены в табл. 4.

Таблица 4. **Определение возможного применения огнетушителей в помещении общественного здания (Вид нагрузки: «Кабинет: мебель + бумага (0,75 + 0,25)»)**

Вариант / Время развития пожара, $\tau_{\text{разв.}}$, мин	Безопасное расстояние, $r_{\text{без.р.}}$, м	Обозначение / Площадь тушения модельного очага, класс/м ²	Длина струи, м	Фактическое расстояние / Предельное расстояние от очага пожара до места размещения переносного огнетушителя, м / м	Результат
Вариант № 1 / 0,174	0,48	2А / 9,36 55В / 1,75	3	25,5 / 20	возможно
Вариант № 2 / 1,657	4,65	2А / 9,36 55В / 1,75	3	25,5 / 20	невозможно

Применение первичных средств пожаротушения (переносной огнетушитель) на начальной стадии развития пожара и их количество в помещении общественного здания с учетом расчетных оценок установило:

- 1) эффективность использования переносного огнетушителя ранга пожара 2А, 55В с учетом их характеристик по обоим вариантам;
- 2) невозможность безопасного использования переносного огнетушителя ранга пожара 2А, 55В с учетом времени развития пожара и подачи ОТВ по варианту № 2;
- 3) невозможность применения переносных огнетушителей по варианту № 2 с учетом требований о предельном расстоянии, указанных в [2].

Разработанная информационно-аналитическая система организации оснащения первичными средствами пожаротушения помещений в зданиях различного класса функциональной пожарной опасности в начальной стадии пожара позволяет обосновать количество переносных огнетушителей, а также их эффективность и безопасность использования.

Литература

1. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности: Федер. закон Рос. Федерации от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ. Доступ из информ.-правового портала «Гарант».
2. Об утверждении Правил противопожарного режима в Российской Федерации: постановление Правительства Рос. Федерации от 16 сен. 2020 г. № 1479. Доступ из информ.-правового портала «Гарант».
3. Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности: Приказ МЧС России от 30 июня 2009 г. № 382. Доступ из информ.-правового портала «Гарант».
4. Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах: приказ МЧС России от 10 июля 2009 г. № 404. Доступ из информ.-правового портала «Гарант».
5. Иванников В.П., Ключ П.П. Справочник руководителя тушения пожара. М.: Стройиздат, 1987. 288 с.
6. Терехнев В.В. Справочник руководителя тушения пожара. Тактические возможности пожарных подразделений. ИБС-Холдинг, 2005. 248 с.
7. Кошмаров Ю.А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении: учеб. пособие. М.: Акад. ГПС МВД России, 2000. 118 с.
8. ГОСТ 12.1.004–91*. ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования. Доступ из информ.-правового портала «Гарант».
9. Кошмаров Ю.А., Башкирцев М.П. Термодинамика и теплопередача в пожарном деле: учеб. М.: ВИПТШ МВД СССР, 1987. 444 с.

УДК 621.1

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ РАЗНОСТЕЙ ДЛЯ РАСЧЕТА НЕСТАЦИОНАРНОЙ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ

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

Рассмотрены математическая модель нестационарной теплопроводности и численный метод конечных разностей решения задачи нестационарной теплопроводности. Выполнены расчеты температурного поля при изменении температуры в диапазоне от 100 °С до 500 °С на поверхности стенки со стороны пожара, которые позволили представить в графическом виде качественную картину распределения температур по толщине стенки.

Ключевые слова: нестационарная теплопроводность, метод конечных разностей, математическая модель

Теплообмен или теплоперенос это самопроизвольный необратимый процесс распространения теплоты в пространстве за счет разности температур. Различают три элементарных способа переноса теплоты: теплопроводность, конвекция и тепловое излучение. Теплопроводность это перенос тепла, обусловленный взаимодействием микрочастиц частей одного тела или соприкасающихся тел, имеющих разную температуру [1].

Вопросам расчета нестационарной теплопроводности посвящено ряд книг отечественных и иностранных авторов [2–7].

Совокупность значений температуры всех точек тела в данный момент времени представляет собой температурное поле, для которого можно записать уравнение:

$$T = f(x, y, z, \tau),$$

где T – температура; x, y, z – пространственные координаты; τ – время.

Такое уравнение температурного поля соответствует наиболее общему случаю трехмерного (температура меняется по каждой из трех пространственных координат), неустановившегося или нестационарного (температура меняется во времени) температурного поля.

Возможны более простые случаи [1]:

– стационарное (установившееся) поле, температура постоянна во времени:

$$T = f(x, y, z); \quad \partial T / \partial \tau = 0;$$

– двумерное поле, температура меняется по двум координатам:

$$T = f(x, y, \tau); \quad \partial T / \partial z = 0;$$

– одномерное поле, температура меняется по одной координате:

$$T = f(x, \tau); \quad \partial T / \partial y = 0; \quad \partial T / \partial z = 0;$$

– одномерное стационарное поле:

$$T = f(x); \quad \partial T / \partial y = 0; \quad \partial T / \partial z = 0; \quad \partial T / \partial \tau = 0.$$

Передача теплоты при теплопроводности всегда происходит в направлении уменьшения температуры. Для определения количества теплоты, перенесенного за единицу времени, используют понятия теплового потока Q [Дж] и плотности теплового потока q [Вт/м²]. Тепловой поток – это количество теплоты, перенесенное через изотермическую поверхность

площадью F . Плотность теплового потока это тепловой поток, приходящийся на единицу площади изотермической поверхности.

Для передачи теплоты теплопроводностью необходимо неравенство нулю температурного градиента в различных точках тела. Согласно закону Фурье количество теплоты dQ , проходящее через элемент поверхности dF за время $d\tau$, пропорционально температурному градиенту $\partial T/\partial n$:

$$dQ = -\lambda * \partial T / \partial n * dF * d\tau,$$

где λ – коэффициент теплопроводности [Вт/м/К], характеризующий способность вещества проводить теплоту. Так как $q = dQ/dF/d\tau$, то $q = -\lambda * \partial T / \partial n$.

Коэффициент теплопроводности является физическим свойством вещества и зависит от температуры [8]:

- для газов $\lambda = 0,005 \div 0,5$ [Вт/м/К], с ростом температуры λ возрастает;
- для жидкостей $\lambda = 0,08 \div 0,7$ [Вт/м/К], с ростом температуры λ убывает (кроме воды, у которой λ возрастает);
- для твердых тел $\lambda = 0,02 \div 400,0$ [Вт/м/К], с ростом температуры λ обычно уменьшается у чистых металлов и растет у сплавов.

Для технических материалов значения λ приведены в таблице [8].

Таблица

Материал	Плотность, $\rho * 10^{-3}$, кг/м ³	Теплопроводность, λ , Вт/м/К	Теплоемкость, с, кДж/кг/К
Алюминий сплав (20 °C/500 °C)	2,7	100/150	1,2
Бетон	2,0	1,3	0,84
Дерево (поперек–вдоль)	0,55	0,15÷0,40	2,7
Кирпич	1,8	0,8	0,85
Пенобетон	0,36	0,1	0,8
Сталь углеродистая (300 К/1000 К)	7,8	50/30	0,5
Сталь нержавеющая	7,8	30	0,5
Стекло	2,5	0,8	0,8
Чугун (высокопрочный – серый)	7,5	30÷43	0,54

В практике пожарного дела расчет нестационарной теплопроводности используется для определения температуры в противопожарных преградах на заданной глубине в заданный момент времени с целью последующего сравнения расчетной температуры с предельно допустимой или для расчета допустимого времени нахождения за противопожарной преградой.

Безопасная в пожарном отношении температура на поверхности стены определяется возможностью воспламенения сгораемых веществ или материалов при их соприкосновении с данными поверхностями. На необогреваемых поверхностях стен, перегородок, перекрытий при пожаре допускаемая температура принимается равной 150 °C [1].

Математическая модель нестационарной теплопроводности

Количество теплоты, поступающее за счет теплопроводности вдоль оси x в элемент объема dV за время $d\tau$ через площадь F , равную $F = dy * dz$, равно величине: $dQ_x = q_x * F * d\tau$.

Через площадь F может уйти количество отдаваемого тепла, равное величине – $dQ_x = -q_{x+dx} * F * d\tau$.

Тогда элементом объема dV за время $d\tau$ будет аккумуляровано – $(\partial q_x / \partial x) dx * dy * dz * d\tau$ тепла.

Рассматривая потоки тепла вдоль всех осей x , y и z , получим:

$$dQ = - [(\partial q_x / \partial x) + (\partial q_y / \partial y) + (\partial q_z / \partial z)] * dV * d\tau.$$

Согласно закону Фурье:

$$q_x = -\lambda \cdot \partial T / \partial x; \quad q_y = -\lambda \cdot \partial T / \partial y; \quad q_z = -\lambda \cdot \partial T / \partial z.$$

Изменение тепла в единице объема за время $d\tau$ равно: $dQ/dV/d\tau = c \cdot \rho \cdot \partial T / \partial \tau$.

Отсюда имеем дифференциальное уравнение теплопроводности Фурье-Кирхгофа:

$$c \cdot \rho \cdot \partial T / \partial \tau = [\partial / \partial x (\lambda \cdot \partial T / \partial x) + \partial / \partial y (\lambda \cdot \partial T / \partial y) + \partial / \partial z (\lambda \cdot \partial T / \partial z)] \cdot dV \cdot d\tau,$$

где c – теплоемкость [кДж/кг/К]; ρ – плотность [кг/м³].

Нестационарная теплопроводность наблюдается при нагревании ограждающих конструкций и оборудования в условиях пожара. Нагревание тела произвольной формы можно описать следующими уравнениями [1]:

$$\partial T / \partial \tau = a \cdot [(\partial^2 T / \partial x^2) + (\partial^2 T / \partial y^2) + (\partial^2 T / \partial z^2)]; \quad \partial T / \partial n = -(\alpha / \lambda) \cdot \Delta T,$$

где $\partial T / \partial n$ – температурный градиент; $a = \lambda / c \cdot \rho$ – коэффициент температуропроводности [м²/с]; α – коэффициент теплоотдачи [Вт/м²/К].

Решение задачи, описываемой приведенной выше системой из двух уравнений, дает уравнение температурного поля:

$$T = f(\tau, x, y, z, L, a, \alpha, \lambda, \Delta T),$$

где L – характерный размер тела; ΔT – разность температур между окружающей средой и телом.

Во многих случаях решение такой задачи аналитически невозможно. В этих случаях используются численные методы [9].

Численный метод решения задачи нестационарной теплопроводности

Для численного решения задач нестационарной теплопроводности часто используется метод конечных разностей или метод сеток. Рассмотрим плоскую стенку толщиной δ (рис. 1).

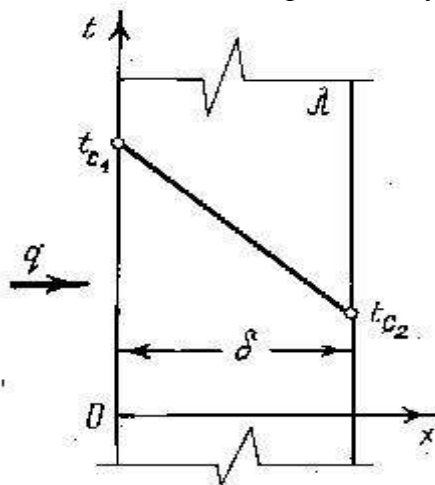


Рис. 1. Схема плоской однородной стенки [1]

На поверхности стенки могут быть заданы стационарные граничные условия первого и третьего рода. Граничные условия первого рода: заданы температуры на поверхности стенки t_{c1} и t_{c2} . Плотность теплового потока $q = (\lambda / \delta) \cdot (t_{c1} - t_{c2})$.

Граничные условия третьего рода: заданы температуры среды с двух сторон стенки: $t_{ср1}$ и $t_{ср2}$, причем $t_{ср1} > t_{ср2}$. Заданы также коэффициенты теплоотдачи от среды к стенке α_1 и α_2 . Тогда $t_{ср1} - t_{c1} = q / \alpha_1$; $t_{c2} - t_{ср2} = q / \alpha_2$ и $t_{c1} - t_{c2} = q / (\lambda / \delta)$.

Отсюда имеем:

$$q = k^*(t_{CP1} - t_{CP2}),$$

где $k = 1/(1/\alpha_1 + \delta/\lambda + 1/\alpha_2)$ – коэффициент теплопередачи [Вт/м²/К]. Величина, обратная коэффициенту теплопередачи, есть термическое сопротивление $R = 1/k = 1/\alpha_1 + \delta/\lambda + 1/\alpha_2$.

Задача о нагревании плоской стенки при граничных условиях первого рода состоит в определении функции $t(x, \tau)$, удовлетворяющей уравнению: $\partial t/\partial \tau = a*\partial^2 t/\partial x^2$, начальному условию: $t(x, 0) = f_1(x)$ и граничным условиям первого рода: $t(0, \tau) = f_2(\tau)$; $t(\delta, \tau) = f_3(\tau)$.

Разобьем область определения параметров равномерной прямоугольной сеткой (рис. 2) с шагом Δx по оси x и шагом $\Delta \tau$ по оси времени τ .

При этом $\Delta x = \delta/n$ и $\Delta \tau = H/m$, где n и m – количество шагов по толщине стенки δ и по интервалу времени H .

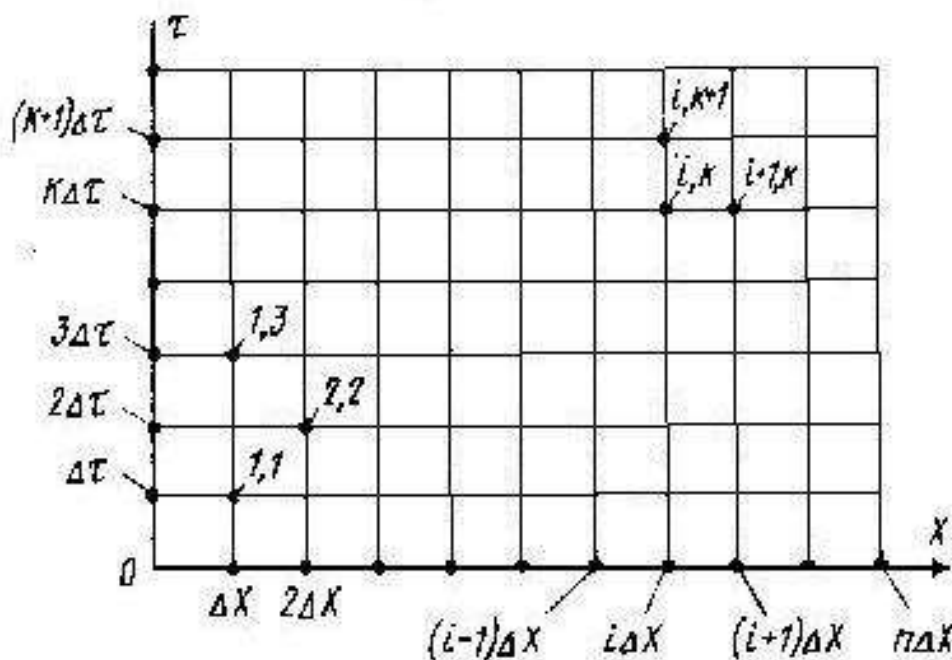


Рис. 2. Сетка метода конечных разностей [1]

Первую производную по времени можно представить в конечных разностях так: $\partial t/\partial \tau = (t_{i,k+1} - t_{i,k})/\Delta \tau$, а вторую производную по координате можно представить следующим образом: $\partial^2 t/\partial x^2 = (t_{i-1,k} - 2*t_{i,k} + t_{i+1,k})/\Delta x^2$.

Тогда уравнение $\partial t/\partial \tau = a*\partial^2 t/\partial x^2$ можно представить в следующем виде [1]: $t_{i,k+1} = (a*\Delta \tau)/\Delta x^2 * [t_{i-1,k} + t_{i+1,k} + (\Delta x^2/(a*\Delta \tau) - 2)*t_{i,k}]$ – сеточное уравнение или разностная схема. Это уравнение позволяет вычислить значение температуры во всех n точках по оси x для момента времени $\tau_{k+1} = (k+1)*\Delta \tau$, если известны значения температур в этих точках в предшествующий момент времени τ_k .

Данная разностная схема устойчива (ошибки не возрастают с увеличением τ), если выполняется условие: $\Delta x^2/(a*\Delta \tau) \geq 2$. Если $\Delta x^2/(a*\Delta \tau) = 2$, то сеточное уравнение существенно упрощается: $t_{i,k+1} = (t_{i-1,k} + t_{i+1,k})/2$ [1].

Предположим, что в условиях пожара температура левой поверхности стенки (граничное условие первого рода $t(0, \tau) = f_2(\tau)$) изменяется по закону, представленному на рис. 3.

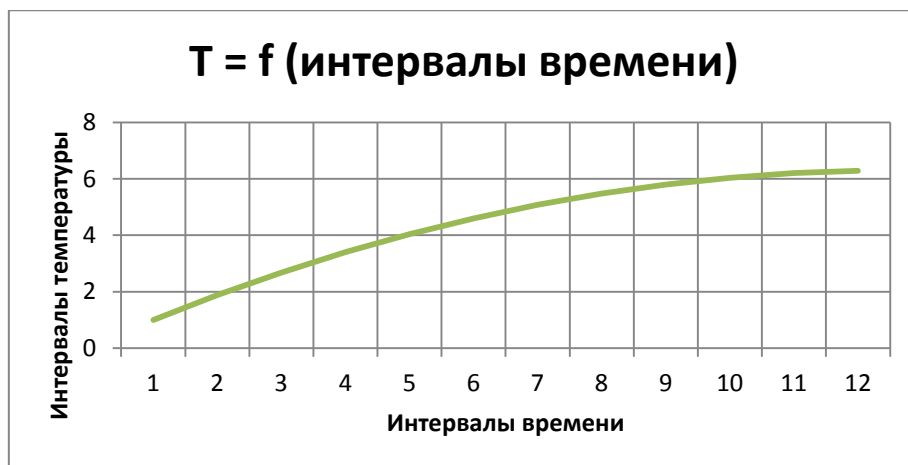


Рис. 3. График изменения во времени температуры поверхности стенки

На правой поверхности стенки температура в начальный момент времени равна 20 °С. Для расчета изменения температуры по толщине стенки используем сеточное уравнение (разностную схему) при начальном условии: $t(x,0) = f_1(x)$ и граничных условиях первого рода: $t(0, \tau) = f_2(\tau)$; $t(\delta, \tau) = f_3(\tau)$.

Фиксируем распределение температур по толщине стенки в процессе развития пожара в моменты времени, соответствующие температуре на левой поверхности, равной значениям 100 °С, 150 °С, 200 °С, 300 °С и 500 °С. График распределения температур по толщине стенки, разбитой на 10 участков, представлен на рис. 4.

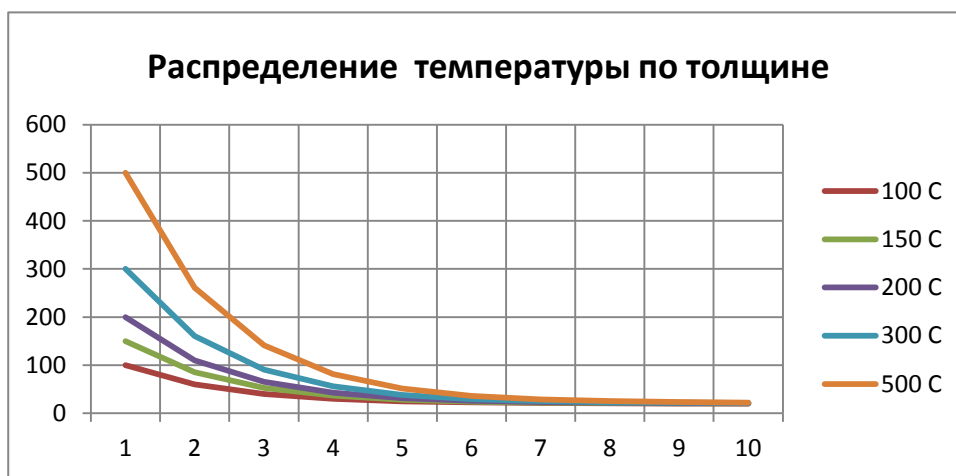


Рис. 4. Распределение температуры по толщине стенки

Расчет проводился по упрощенной зависимости $t_{i,k+1} = (t_{i-1,k} + t_{i+1,k})/2$, так как предполагалось, что $\Delta x^2 / (a \cdot \Delta \tau) \approx 2$. При этом существенно упрощается порядок расчета, но возрастает погрешность. В связи с существенной погрешностью расчета представленный график отражает лишь качественную картину распределения температур по толщине стенки.

Достоинством метода конечных разностей является возможность расчета температурного поля при изменении граничных условий во времени по любым законам [1].

Вывод

Рассмотрены математическая модель нестационарной теплопроводности и численный метод конечных разностей решения задачи нестационарной теплопроводности. Выполнены расчеты температурного поля при изменении температуры в диапазоне от 100 °С до 500 °С на поверхности стенки со стороны пожара, которые позволили представить в графическом виде качественную картину распределения температур по толщине стенки.

Литература

1. Кошмаров Ю.А. Теплотехника. М.: ИЦ «Академкнига», 2007.
2. Круглов Г.А., Булгакова Р.И., Круглова Е.С. Теплотехника. М.: Лань, 2012.
3. Теплотехника. Практический курс / Г.А. Круглов [и др.]. М.: Лань, 2017.
4. Дерюгин В.В., Васильев В.Ф., Уляшева В.М. Теплообмен. М.: Лань, 2018.
5. Jakob M. Heat Transfer. New York and London, 2016.
6. Eckert E., Drake R. Heat and Mass Transfer. London, 2015.
7. Spalding D., Taborek J. Heat Exchanger Design Handbook. New York and London, 2014.
8. Кухлинг Х. Справочник по физике. СПб.: Питер, 2008.
9. Лабинский А.Ю. Моделирование процесса нестационарной теплопроводности методом теплового баланса // Надзорная деятельность и судебная экспертиза в системе безопасности. 2019. № 4.

614.849

АНАЛИТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ДЕФОРМАЦИИ КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ КАНАЛОВ В УСЛОВИЯХ ПОЖАРА

А.А. Кузьмин, кандидат технических наук, доцент;

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

Т.А. Кузьмина, кандидат педагогических наук.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России

Предлагается для оценки удлинений фасонного листа в условиях пожара, как основного конструктивного элемента вентиляционного канала, использовать расчет с помощью функции напряжений в виде полинома. Представлены расчеты одного и того же листа методом конечных элементов, традиционным методом сопротивления материалов и с помощью функции напряжений в виде полинома. Показано, что предложенный подход можно использовать для выполнения практических расчетов и в качестве тестовых задач при использовании численных методов.

Ключевые слова: фасонный лист, переменное сечение, функция напряжений, жесткость, деформация, тестовая задача

Стальные листы переменного сечения широко применяются в различных строительных и технологических конструкциях, составляют основу вентиляционных каналов и систем дымоудаления. Они соединяют узлы, растяжки и другие конструктивные элементы. Недостаточная жесткость хотя бы одной детали может привести к обрыву или повреждению электропроводки, газопровода и других коммуникаций. Особую сложность представляет прогнозирование поведения таких конструктивных элементов в условиях уже начавшегося пожара.

Как правило, при проектировании крупных объектов прочностные расчеты выполняются и численным, и аналитическим методом. Если результаты сходятся, следует провести проверочный эксперимент. Из численных широко применяется уже зарекомендовавший себя метод конечных элементов. На его основе успешно работают многочисленные программы и вычислительные комплексы. Большие работы ведутся и в сфере поиска новых аналитических решений. Так, в работе [1] предложено использовать уравнения теории упругости более высокого порядка, чем классические. В работе [2] промоделировано поведение гетерогенных материалов. В работе [3] приводится решение о напряженно-деформированном состоянии пластины с учетом пластических деформаций.

Применение современных методов расчета обеспечивает высокую математическую точность, однако следует учитывать, что допуск по толщине для листовой стали 5 мм превышает 0,5 мм, то есть 10 % [4]. Определенную погрешность в результаты вычислений вносит разброс по оценке действующих нагрузок и температур. Поэтому задача сравнительно простого (позволяющего внести поправки и коэффициенты запаса) расчета деформаций фасонного листа представляется актуальной.

Здесь для оценки удлинений фасонного листа, составляющего основной конструктивный элемент вентиляционного канала, предлагается использовать расчет с помощью функции напряжений в виде полинома. Это же решение предлагается использовать в качестве тестовой задачи при расчете численными методами возможных последствий воздействия на вентиляционные каналы продуктов горения.

Ниже приводится пример расчета детали вентиляционного канала. Лист толщиной 1,5 мм имеет размеры $2l = 1000$ мм, $A = 30$ мм². На лист (по виду нагружения стержень) действует сила $F = 3$ кН, и он изготовлен из стали марки Ст.3 ($E = 2 \cdot 10^5$ МПа; $[\sigma] = 160$ МПа). Требуется проверить лист на прочность и жесткость и построить эпюры напряжений и перемещений. Эту задачу можно решить методами сопротивления материалов, численно и методами теории упругости с использованием функции напряжений φ .

Рассмотрим последний способ. Выберем функцию напряжений в виде полинома второго порядка. При выборе полинома второго порядка функция напряжений имеет вид:

$$\varphi_2 = \frac{a_2}{2} x^2 + b_2 xy + \frac{c_2}{2} y^2.$$

В общем случае напряжения примут следующие значения:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sigma_x = \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} = c_2; \\ \sigma_y = \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} = a_2; \\ \tau_{xy} = -\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial \varphi}{\partial y} \right) = -b_2. \end{array} \right.$$

Поскольку отсутствуют какие-либо силы кроме продольных, а также очевидно, что при $y=0$ отсутствуют касательные напряжения, уместно принять $a_2=b_2=0$, поэтому в любой точке будут действовать только напряжения $\sigma_x = c_2$, то есть получим задачу о растяжении стержня постоянного поперечного сечения. В качестве этого постоянного поперечного сечения уместно выбрать срединное площадью $A_2=60$ мм², тогда напряжение растяжения составит:

$$\sigma_x = \frac{F}{A_{cp}} = \frac{3 \cdot 10^3}{60} = 50 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2}.$$

Поскольку $\varepsilon = dU/dx$, полное удлинение определяется по формуле:

$$U = \int_0^{2l} \varepsilon_x dx = \frac{1}{E} \int_0^{2l} \sigma_y dx = \frac{2Fl}{EA_{cp}} = 0,25 \text{ мм}.$$

Перемещение срединного сечения в этом случае составит:

$$U = \int_0^l \varepsilon_x dx = \frac{Fl}{EA_{cp}} = 0,125 \text{ мм}.$$

Рассмотрим функцию напряжений в виде полинома 3-ей степени:

$$\varphi_3 = \frac{a_3}{2 \cdot 3} x^3 + \frac{b_3}{2} x^2 y + \frac{c_3}{2} xy^2 + \frac{d_3}{2 \cdot 3} y^3.$$

В общем случае напряжения будут определяться по уравнениям системы:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sigma_x = \frac{\partial^2 \varphi_3}{\partial y^2} = c_3 x + d_3 y; \\ \sigma_y = \frac{\partial^2 \varphi_3}{\partial x^2} = a_3 x + b_3 y; \\ \tau_{xy} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial \varphi_3}{\partial y} \right) = -b_3 x - c_3 y. \end{array} \right.$$

Если все коэффициенты за исключением c_3 принять равными 0, то с учетом функции напряжений в виде полинома 2-ого порядка, на основании принципа наложения напряжения будут определяться по уравнениям системы:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sigma_x = c_2 + c_3 x; \\ \tau_{xy} = -c_3 y. \end{array} \right.$$

Подобное выражение как раз и соответствует представлению функции напряжений в виде суммы полиномов 2-ого и 3-его порядков. Следует отметить, что в данном случае можно пренебречь касательными напряжениями ввиду малости угла γ (рисунок), тангенс которого составляет 0,02. В противном случае необходимо решать плоскую задачу теории упругости. Коэффициенты c_2 и c_3 определяем из условий (1) и (2):

$$\text{При } x=0 \quad \sigma_x = \frac{F}{3A} = \frac{3 \cdot 10^3}{90} = 33,33 \frac{H}{мм^2}, \quad (1)$$

$$\text{При } x=1000 \text{ мм} \quad \sigma_x = \frac{F}{A} = \frac{3 \cdot 10^3}{30} = 100 \frac{H}{мм^2}. \quad (2)$$

Решением системы уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} c_2 = 33,33; \\ c_3 \cdot 10^3 + c_2 = 10. \end{array} \right.$$

определяем значение $c_3=0,06667$, откуда:

$$\sigma_x = 33,33 + 66,67 \cdot 10^{-3} x.$$

По известной формуле определяем перемещение срединного сечения:

$$\begin{aligned} U &= \int_0^L \varepsilon_x dx = \frac{1}{E} \int_0^L (c_2 + c_3 x) dx = \frac{1}{E} \left(c_2 x + \frac{c_3 x^2}{2} \right) = \\ &= \frac{c_2 l + c_3 l^2 / 2}{E} = 0,125 \text{ мм}. \end{aligned}$$

Аналогичным образом определим перемещение свободного конца:

$$U = \frac{1}{E} [c_2 2l + \frac{c_3 (2l)^2}{2}] = 0.333 \text{ мм}.$$

При выборе полинома 4-ой степени функция напряжений имеет вид:

$$\varphi_4 = \frac{a_4}{4 \cdot 3} x^4 + \frac{b_4}{3 \cdot 2} x^3 y + \frac{c_4}{2} x^2 y^2 + \frac{d_4}{2 \cdot 3} xy^3 + \frac{e_4}{4 \cdot 3} y^4.$$

При этом на коэффициенты c_4 и a_4 накладываются ограничения [5]: $e_4 = -(c_4 + a_4)$, на остальные коэффициенты ограничений нет. С учетом введенных ограничений напряжения в общем случае будут определяться по уравнениям системы:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sigma_x = \frac{\partial^2 \varphi_4}{\partial y^2} = c_4 x^2 + d_4 xy - (2c_4 + a_4) y^2; \\ \sigma_y = \frac{\partial^2 \varphi_4}{\partial x^2} = a_4 x^2 + c_4 y^2; \\ \tau_{xy} = -\frac{\partial^2 \varphi_4}{\partial x \partial y} = -\frac{b_4 x^2}{2} - 2c_4 xy - d_4 y^2. \end{array} \right.$$

Если принять $b_4 = d_4 = 0$, то система уравнений для определения напряжений примет вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sigma_x = \frac{\partial^2 \varphi_4}{\partial y^2} = c_4 x^2 - (2c_4 + a_4) y^2; \\ \sigma_y = \frac{\partial^2 \varphi_4}{\partial x^2} = a_4 x^2 + c_4 y^2; \\ \tau_{xy} = -\frac{\partial^2 \varphi_4}{\partial x \partial y} = -2c_4 xy. \end{array} \right.$$

В [6] показано, что при расчете стержней переменного сечения, аналогичных изображенному на рисунке, имеют место зависимости (3) и (4):

$$\tau_{xy} = \sigma_x \cdot \operatorname{tg} \gamma; \quad (3)$$

$$\sigma_e = \sigma_x \cdot \operatorname{tg}^2 \gamma. \quad (4)$$

Поскольку в рассматриваемом случае $\gamma = 0,02$, то есть величина 2-ого порядка малости, касательными и поперечными напряжениями можно пренебречь. Тогда в соответствии с принципом наложения и с учетом вариантов функции напряжений в виде полиномов 2-ого и 3-его порядков, уравнение для определения растягивающих напряжений примет вид:

$$\sigma_x = c_2 + c_3 \cdot x + c_4 \cdot x^2,$$

При $x=0$ $\sigma_x = c_2 = 33,33$ МПа; при $x=l$ $\sigma_x = 50$ МПа; при $x=2 \cdot l$ $\sigma_x = 100$ МПа.

Неизвестные c_3 и c_4 определяются решением системы:

$$\left\{ \begin{array}{l} 50 = 33,33 + c_3 \cdot l + c_4 \cdot l^2; \\ 100 = 33,33 + 2 \cdot c_3 \cdot l + 4 \cdot c_4 \cdot l^2. \end{array} \right.$$

Решение системы дает следующие результаты: $c_3=0$; $c_4=0,667 \cdot 10^{-4}$.

С учетом полученных значений коэффициентов, перемещение срединного сечения составит:

$$U = \frac{c_2 \cdot l + \frac{c_4 \cdot l^3}{3}}{E} = 0,097 \text{ мм.}$$

Перемещение свободного конца составит:

$$U = \frac{c_2 \cdot 2 \cdot l + \frac{c_4 \cdot (2 \cdot l)^3}{3}}{E} = 0,2775 \text{ мм.}$$

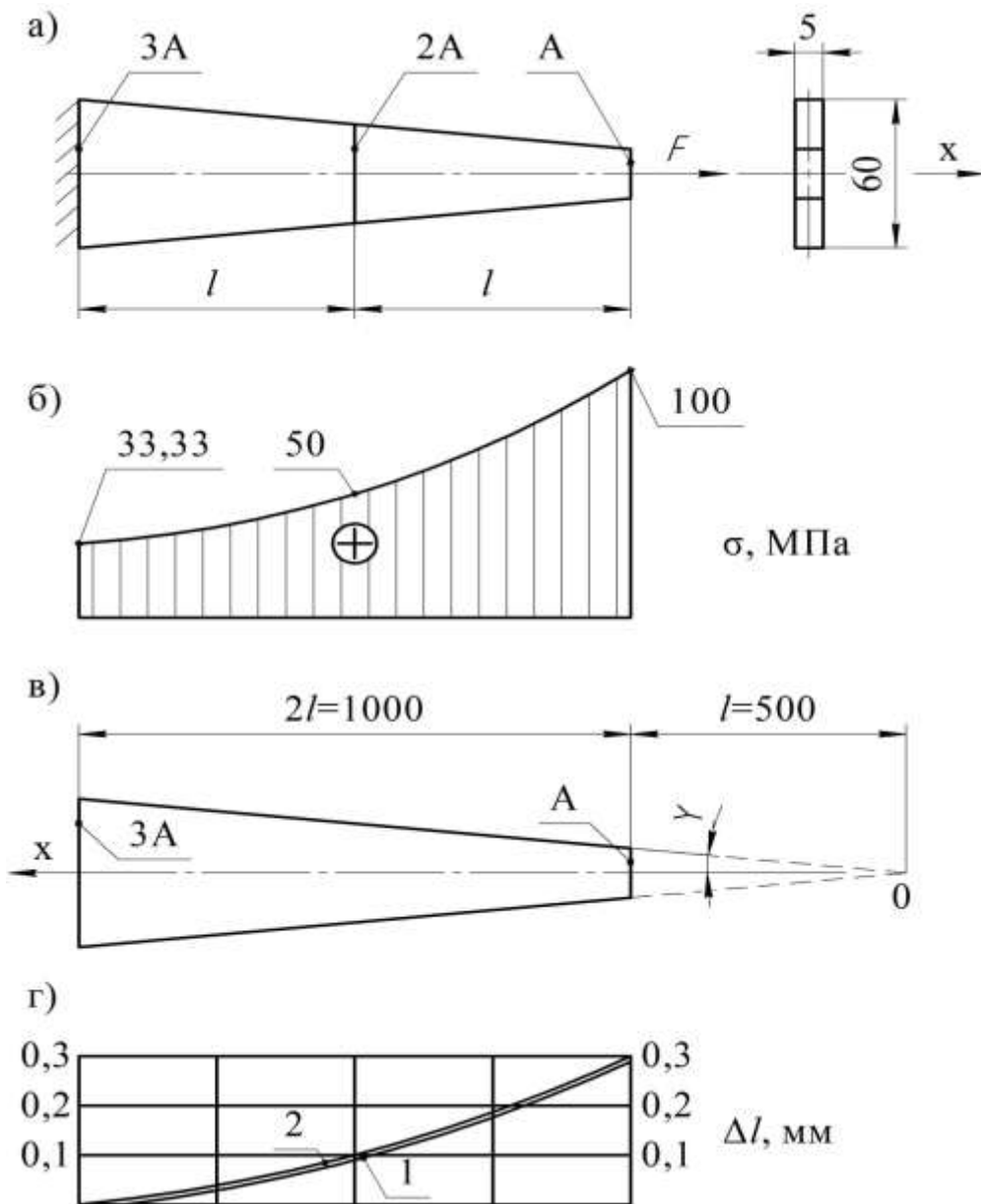


Рис. Расчетная схема стержня переменного сечения
 а – стержень; б – эпюра напряжений; в – графическое описание зависимости площади поперечного сечения от координаты x ; г – эпюры перемещений

По результатам вычислений была построена эпюра перемещений, представленная на рисунке (кривая 2). В классическом курсе сопротивления материалов удлинение стержня, нагруженного продольными силами, определяется по формуле [7]:

$$\Delta \ell = \int_0^{\ell} \frac{N dx}{EA} . \quad (5)$$

Поскольку лист изготовлен из одного материала и на него действует одна постоянная сила, представленная формула (5) преобразуется к виду:

$$\Delta \ell = \frac{N}{E} \int_0^{\ell} \frac{dx}{A(x)}$$

Для удобства аналитического описания зависимости площади поперечного сечения A от координаты абсцисс, представим стержень (рис., фиг. а) в виде (рис., фиг. в), приняв за начало координат точку O . Очевидно, что площадь произвольного поперечного сечения стержня определяется как $A(x) = 0,06x$, тогда полное удлинение стержня:

$$\Delta l = \frac{N}{0,06 \cdot E} \cdot \int_l^{3l} \frac{dx}{x} = \frac{N}{0,06 \cdot E} [\ln(3l) - \ln(l)],$$

что в численном выражении составляет:

$$\begin{aligned} \Delta \ell &= \frac{3 \cdot 10^3}{0,06 \cdot 2 \cdot 10^5} [\ln(1500) - \ln(500)] = \\ &= 2,5 \cdot 10^{-1} (7,31 - 6,21) = 0,275 \text{ мм.} \end{aligned}$$

Сопоставляя результаты расчета двумя приведенными выше методами видно, что с увеличением степени полинома результат решения первым способом стремится к «классическому» (кривая 1), однако для полноты анализа необходимо экспериментальное подтверждение. Также был проведен численный эксперимент с разбивкой листа на два и четыре конечных элемента. Полное удлинение при этом составило 0,267 и 0,2726 мм соответственно, то есть с увеличением конечных элементов решение стремится к «классическому».

На основании выполненных расчетов и проведенного численного эксперимента можно заключить, что применение в качестве математической модели полиномов дает результаты близкие к теоретическим решениям. Также предложенный подход можно использовать для составления тестовых задач при анализе работы в условиях пожара конструктивных элементов вентиляционных каналов более сложной геометрической формы.

Литература

1. Васильев В.В., Лурье С.А. Обобщенная теория упругости // Известие РАН. МТТ. 2015. № 4. С. 16–27.
2. Ломакин Е.В., Федулов Б.Н. Растяжение полосы, ослабленной вырезами с круговым основанием, в условиях плоской деформации из материала с зависящими от вида напряженного состояния свойствами // Известие РАН. МТТ. 2013. № 4. С. 80–87.
3. Ковалев В.А., Русина Е.Ю., Яковлев А.Ю. О механическом взаимодействии элементов тонкой упругопластической конструкции // Вестник ЧПГУ им. И.Я. Яковлева. 2017. № 1 (31). С. 3–14.

4. ГОСТ 19903–2015. Прокат листовой горячекатаный. М.: Сортамент. Стандартиформ, 2016.
5. Тимошенко С.П. Теория упругости: учеб. для вузов. М.: Наука, 1975. 576 с.
6. Безухов Н.И. Примеры и задачи по теории упругости, пластичности и ползучести: учеб. для вузов. М.: Выс. шк., 1965. 320 с.
7. Феодосьев В.И. Сопротивление материалов: учеб. для вузов: 11-е изд. М.: МГТУ им. Баумана, 2003. 591 с.
УДК 614.841.25

ПОЖАРНАЯ ОПАСНОСТЬ И ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ ПОЖАРОВ В ЖИЛЫХ ЗДАНИЯХ ПОВЫШЕННОЙ ЭТАЖНОСТИ

Л.С. Сафина;

А.Е. Савенкова, кандидат технических наук.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России

Рассмотрены особенности развития пожаров в жилых зданиях повышенной этажности. Обозначены ошибки и отступления от требований нормативных документов, допускаемые в ходе проектирования; отклонения при строительстве от проектных решений. Отмечено, что обозначенные ошибки и отклонения выявляются в ходе тушения пожара.

Ключевые слова: жилые здания повышенной этажности, причины пожаров, эвакуация, пожарная опасность, развитие пожаров

FIRE HAZARD AND FEATURES OF FIRE DEVELOPMENT IN HIGH-RISE RESIDENTIAL BUILDINGS

L.S. Safina; A.E. Savenkova.

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

The peculiarities of fire development in residential buildings of high storey are considered. Errors and deviations from requirements of regulatory documents made during design are indicated; deviations during construction from design solutions. It is noted that the indicated errors and deviations are detected during fire extinguishing.

Keywords: high-rise residential buildings, causes of fires, evacuation, fire danger, fire development

Пожарная опасность при пожаре в зданиях повышенной этажности характеризуется быстрым распространением огня и дыма по лестничным клеткам, шахтам лифтов, отверстиям в междуэтажных перекрытиях, системе общеобменной вентиляции [1, 2].

Меры пожарной защиты, осуществляемой в зданиях повышенной этажности, направлены на обеспечение пожарной безопасности большого количества людей, которые одновременно находятся на сравнительно небольших площадях, расположенных вертикально друг над другом. Почти вся нагрузка по вертикальному перемещению людей в зданиях повышенной этажности приходится на лифты. Однако в соответствии с противопожарным нормированием лифты в расчет путей эвакуации не принимают, так как они не способны обеспечить эвакуацию всех людей из здания в течение требуемого времени (до наступления одного из опасных факторов пожара). Кабины лифтов выполнены из горючих материалов и служат источником задымления зданий. Из-за проникновения в шахты лифтов горячего воздуха, дыма, токсичных веществ пассажиры в них подвергаются опасности и могут погибнуть [3, 4].

Пожар застает людей врасплох, возникает паника, которая влечет за собой создание чрезмерно плотных потоков эвакуирующихся, и использование для эвакуации обычных пассажирских лифтов становится местом их гибели. В отдельных случаях люди выпрыгивают из окон в безнадежной попытке спастись от огня и дыма [5].

Мероприятия по контролю, проводимые сотрудниками государственного пожарного надзора, показывают, что в процессе эксплуатации в зданиях повышенной этажности допускаются следующие нарушения [6]:

- пути эвакуации отделяются горючими материалами, полы в коридорах, лестничные марши и площадки покрыты легкогорючими синтетическими коврами;
- автоматические системы пожаротушения и противодымной защиты содержатся в ручном режиме пуска в работу;
- двери эвакуационных выходов из здания закрыты на замки;
- в вестибюлях при незадымляемых лестничных клетках и на самих лестничных клетках устраиваются кладовые, киоски и другие помещения.

Большинство пожаров ограничено одним помещением или, реже, одним этажом, поскольку в современных зданиях повышенной этажности наличествуют автоматические системы извещения и противодымной защиты. Очаг пожара, как правило, выявляется своевременно и ликвидируется с минимальным ущербом.

Примером пожара в высотном здании может служить пожар, который произошел в 1974 г. в г. Сан-Пауло (Бразилия) и является одним из самых крупных по своим трагическим последствиям. Общее число погибших составило 227 человек, 450 – с ожогами и травмами были доставлены в больницы. 25-этажное здание кроме огнестойкого железобетонного каркаса и стен не имело никаких других средств пожарной защиты: системы автоматического обнаружения и тушения пожара отсутствовали, внутренняя отделка, включая и подвесные потолки, и перегородки, была выполнена из горючего материала. План эвакуации людей из здания был рассчитан на работу лифтов, и проектом предусматривалась одна внутренняя лестница без противопожарной защиты. Пожар возник в помещении на 12-м этаже и, прежде чем задымление здания стало опасным для жизни людей, четырьмя лифтами было эвакуировано около 300 человек. После гибели одного из лифтеров кабины были остановлены на 1-м этаже и отключены. Дальнейшее спасение людей проводилось с помощью пожарных лестниц и веревок. Из-за высокой температуры, которая создалась в здании, тушение пожара производилось пожарными стволами с уровня 1-го этажа и автолестницы. После ликвидации пожара с крыши здания были сняты 81 человек. Из-за сильных тепловых потоков и задымления 80 человек погибли на крыше, 41 чел. погиб в здании, 40 человек выбросились с горящих этажей [7].

В качестве примера также можно привести пожар в 2008 г. в г. Астане (Казахстан) в 23-этажном жилом доме. Произошло возгорание электрического кабеля в щитовой шахте с 20 по 23 этаж на площади 30 м². Была произведена эвакуация 126 человек. В результате пожара получили отравление продуктами горения и госпитализированы 27 человек, 14 из них – дети. Четверо взрослых и двое детей попали в реанимацию. Всего за медицинской помощью обратилось 43 человека.

Оценивая пожарную опасность зданий повышенной этажности, необходимо знать вероятность воздействия опасных факторов пожара на людей, предельно допустимые и фактические значения этих факторов, закономерности процесса эвакуации и при этом возможность панических действий.

Одной из наиболее вероятных причин возникновения пожара являются ошибки при проектировании и строительстве объектов [8, 9].

Разделение здания по вертикали на пожарные отсеки осуществляется при помощи противопожарного перекрытия с выступающим карнизом (рис. 1), с помощью технического этажа (рис. 2) или пояса из негорючих материалов определенной высоты фасада с пределом огнестойкости примыкающего противопожарного перекрытия.



Рис. 1. Разделение здания по вертикали на пожарные отсеки с помощью противопожарного перекрытия с выступающим карнизом



Рис. 2. Разделение здания по вертикали на пожарные отсеки с помощью технического этажа или пояса из негорючих материалов определенной высоты фасада с пределом огнестойкости примыкающего противопожарного перекрытия

При возникновении в таких зданиях пожаров выступающие карнизы препятствуют распространению пожара по фасаду из одного пожарного отсека в другой (рис. 3), а при отсутствии такого карниза (гребня) пожар распространяется как вверх, так и вниз по фасаду здания (рис. 4).



Рис. 3. Распространение пожара только вверх в верхнем пожарном отсеке



Рис. 4. Распространение пожара по всей высоте фасада здания без карнизов

Для обеспечения безопасности при пожаре высотного комплекса предусматриваются решения по размещению в лифтовых холлах лифтов для транспортировки пожарных подразделений или в отдельных помещениях [4].

Пожарная опасность таких зданий определяется в том числе:

- интенсивным распространением в высотном здании по вертикали пламени, дыма, токсических веществ;
- неработающими системами противопожарной защиты;
- изменениями, вносимыми эксплуатирующими организациями [10].

Материальный ущерб, вред жизни и здоровью граждан, интересам общества и государства при пожарах является следствием воздействия опасных факторов пожара.

Пожары в высотных зданиях и сооружениях по причине быстрого распространения по вертикали представляют большую опасность, создавая серьезные проблемы в проведении работ по спасанию людей и по тушению пожара, а также при эвакуации людей [11].

Пути эвакуации в здании, а также вертикальные коммуникации быстро заполняются продуктами горения. Доступ пожарных в верхние этажи таких зданий существенно затрудняется, а также осложняется использование пожарной техники и оборудования.

Литература

1. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности: Федер. закон Рос. Федерации от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ. Доступ из информ.-правового портала «Гарант».
2. Об утверждении перечня документов в области стандартизации, в результате применения которых на добровольной основе обеспечивается соблюдение требований Федерального закона от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности»: приказ от 4 июля 2020 г. № 986. Министерство промышленности и торговли Рос. Федерации федеральное агентство по техн. регулированию и метрологии. URL: docs.cntd.ru/document/565314055 (дата обращения: 12.04.2021).
3. СП 485.1311500.2020. Системы противопожарной защиты. Установки пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования (утв. приказом МЧС России от 31 авг. 2020 г. № 628). Доступ из информ.-правового портала «Гарант».
4. СП 486.1311500.2020. Системы противопожарной защиты. Перечень зданий, сооружений, помещений и оборудования, подлежащих защите автоматическими установками пожаротушения и системами пожарной сигнализации. Требования пожарной безопасности (утв. приказом МЧС России от 20 июля 2020 г. № 539). Доступ из информ.-правового портала «Гарант».
5. СП 484.1311500.2020. Системы противопожарной защиты. Системы пожарной сигнализации и автоматизация систем противопожарной защиты. Нормы и правила проектирования (утв. приказом МЧС России от 31 июля 2020 г. № 582). Доступ из информ.-правового портала «Гарант».
6. Ройтман М.Я. Противопожарное нормирование в строительстве: 2-е изд., перераб. и доп. М.: Стройиздат, 1985.
7. Пожары и пожарная безопасность в 2019 году / под общ. ред. Д.М. Гордиенко: стат. сб. М.: ВНИИПО, 2020. 125 с.
8. Беляев А.В., Демехин В.Н., Крейтор В.П. Пожарная безопасность в строительстве. Методические рекомендации по проверке соответствия архитектурно-строительных и инженерно-технических решений проектов зданий противопожарным требованиям строительных норм и правил / под общ. ред. В.С. Артамонова. СПб.: СПб ин-т ГПС МЧС России, 2003. 31 с.
9. Пожарная безопасность в строительстве / В.М. Ройтман [и др.]: учеб. М.: Акад. ГПС МЧС России, 2016. Ч. 2.
10. Пожарная безопасность в строительстве / В.М. Есин [и др.]. Ч. 1. Пожарная профилактика систем отопления и вентиляции: учеб. М.: Акад. ГПС МЧС России, 2012.
11. Пожарная безопасность в строительстве: учеб. / А.В. Вагин [и др.] / под общ. ред. О.М. Латышева. СПб.: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России; Астерион, 2013. 192 с.



СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Артемяева Анна Сергеевна – магистрант СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149);

Волошенко Алексей Анатольевич – препод. каф. надзор. деят. Академии ГПС МЧС России (129311, Москва, ул. Бориса Галушкина, д. 4), e-mail: volax84@mail.ru;

Зюзина Надежда Владимировна – магистрант СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149);

Кузнецова Яна Михайловна – магистрант СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149);

Кузьмин Александр Алексеевич – доц. каф. механики СПб гос. технол. ин-та (техн. ун-та) (190013, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 26), e-mail: alexkuzmin@lenta.ru, канд. техн. наук;

Кузьмин Анатолий Алексеевич – доц. каф. физ.-техн. основ обеспеч. пож. безопасн. СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), канд. пед. наук, доц.;

Кузьмина Татьяна Анатольевна – доц. каф. надзор. деят. СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: kuzmina@igps.ru, канд. пед. наук;

Лабинский Александр Юрьевич – доц. каф. прикл. мат. и информ. технол. СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: labinskiy.a@igps.ru, канд. техн. наук, доц.;

Лобаев Игорь Александрович – проф. каф. надзор. деят. Академии ГПС МЧС России (129311, Москва, ул. Бориса Галушкина, д. 4), e-mail: ialobaev@yandex.ru, канд. техн. наук, доц.;

Маликов Михаил Николаевич – магистрант СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149);

Савенкова Анастасия Евгеньевна – преподаватель каф. надзор. деят. СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: savenkova@igps.ru, канд. тех. наук;

Сафина Лейсан Салаватовна – магистрант СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149);

Уваров Игорь Александрович – ст. науч. сотрудник НИО ОНД УНК ОНД Академии ГПС МЧС России (129311, Москва, ул. Бориса Галушкина, д. 4), e-mail: igor_uvarov@mail.ru;

Фомин Александр Викторович – проф. каф. надзор. деят. СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: fom-deg@ya.ru, канд. техн. наук, проф., засл. работник высшей школы РФ;

Яценко Лариса Анатольевна – вед. науч. сотр. отд. инструмент. методов и техн. средств экспертизы пожаров Науч.-исслед. ин-та перспект. исслед. и инновац. технол. в обл. безопасн. жизнедеят. СПб ун-та ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Октябрьская наб., д. 35), e-mail: yazenko-la@mail.ru, канд. хим. наук.



ИНФОРМАЦИОННАЯ СПРАВКА

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

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

Сегодня федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий» – современный научно-образовательный комплекс, интегрированный в российское и мировое научно-образовательное пространство. Университет по разным формам обучения – очной, заочной и заочной с применением дистанционных технологий – осуществляет обучение по 25 программам среднего, высшего образования, а также подготовку специалистов высшей квалификации: докторантов, адъюнктов, аспирантов, а также осуществляет переподготовку и повышение квалификации специалистов более 30 категорий сотрудников МЧС России.

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

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

Широта научных интересов, высокий профессионализм, большой опыт научно-педагогической деятельности, владение современными методами научных исследований позволяют коллективу университета преумножать научный и научно-педагогический потенциал вуза, обеспечивать непрерывность и преемственность образовательного процесса. Сегодня в университете свои знания и огромный опыт передают: 7 заслуженных деятелей науки Российской Федерации, 11 заслуженных работников высшей школы Российской Федерации, 2 заслуженных юриста Российской Федерации, заслуженные изобретатели Российской Федерации и СССР. Подготовку специалистов высокой квалификации в настоящее время осуществляют 56 докторов наук, 277 кандидатов наук, 58 профессоров, 158 доцентов, 12 академиков отраслевых академий, 8 членов-корреспондентов отраслевых академий, 5 старших научных сотрудников, 6 почетных работников высшего профессионального

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

В составе университета:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Общее количество обучающихся в университете по всем специальностям, направлениям подготовки, среднему общему образованию составляет 7 057 человек. Ежегодный выпуск составляет более 1 100 специалистов.

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

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

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

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

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

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

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

В университете имеются возможности для повышения уровня знания английского языка. Организовано обучение по программе дополнительного профессионального образования «Переводчик в сфере профессиональной коммуникации» студентов, курсантов, адъюнктов и сотрудников.

Компьютерный парк университета составляет более 1200 единиц. Для информационного обеспечения образовательной деятельности функционирует единая локальная сеть с доступом в электронную информационно-образовательную среду университета, справочно-правовую систему «КонсультантПлюс», систему «Антиплагиат». Компьютерные классы позволяют обучающимся работать в сети Интернет, с помощью которой обеспечивается выход на российские и международные информационные сайты, что позволяет значительно расширить возможности учебного, учебно-методического и научно-методического процесса.

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

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

Читальные залы (общий и профессорский) библиотеки оснащены компьютерами с выходом в Интернет, Интранет, НЦУКС и локальную сеть университета. Создана и функционирует Электронная библиотека, она интегрирована с электронным каталогом. В сети Интранет работает Единая ведомственная электронная библиотека МЧС России, объединяющая библиотеки системы МЧС России.

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

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

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

Курсанты университета проходят обучение по программе первоначальной подготовки спасателей.

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

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

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

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

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

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

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

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



SCIENTIFIC AND ANALYTICAL MAGAZINE

**MONITORING AND EXPERTISE
IN SAFETY SYSTEM**

№ 2 – 2021

The Editorial Board

Chairman – Candidate of Technical Sciences, Docent General-the Major **Gavkalyk Bogdan Vasilyevich**, head of the Saint-Petersburg University of State Fire Service of EMERCOM of Russia.

Co-chairman – Doctor of Sciences **Savić Branko**, Director of High technical school of professional studies from Novi Sad Republic of Serbia.

Vice-chairman – Doctor of Political Sciences, Candidate of Historical Sciences, Docent **Tamara V. Musienko**, Deputy Head of the University on scientific work.

Vice-chairman – Doctor of Sciences **Milisavlević Branko**, professor of High technical school of professional studies from Novi Sad Republic of Serbia.

Members of the Editorial Board:

Doctor of Technical Sciences, Professor, honored science worker of the Russian Federation **Vladimir N. Lozhkin** Professor of the Department of fire, rescue equipment and road management;

Doctor of Medical Sciences, Professor, honored worker of Higher School of the Russian Federation **Ludmila A. Konnova**;

Doctor of Technical Sciences, Professor, honored worker of Higher School of the Russian Federation, colonel **Mikhail A. Galishev**, professor of criminology and engineering and technical expertise;

Doctor of Chemical Sciences, Professor **Gregory K. Ivakhnyuk**, professor of fire safety of technological processes and production department;

Doctor of Technical Sciences, Professor **Sergey V. Sharapov**, Professor of the Department of Criminalistics and Engineering Expertise Deputy Head of the University;

Doctor of Technical Sciences, professor **Iliya D. Czechko**, leading researcher of the scientifically research institute of perspective researches and innovative technologies in the field of health and safety;

Doctor of Sciences **Babić Branko**, professor of High technical school of professional studies from Novi Sad Republic of Serbia;

Doctor of Sciences **Karabasil Dragan**, professor of High technical school of professional studies from Novi Sad Republic of Serbia;

Doctor of Sciences **Petrović-Gegić Anita**, professor of High technical school of professional studies from Novi Sad Republic of Serbia;

Doctor of Sciences (PhD) **Agoston Restas**, Head of the Department of Passive Fire Defense and Prevention of Emergencies. Institute of Management in Emergency Situations (Republic of Hungary);

Doctor of Engineering Science **Mrachkova Eva**, Professor of the Department of Fire Protection of the Technical University of Zvolen (Republic of Slovakia);

Doctor of Engineering Science (PhD), colonel of an internal service **Yuriy S. Ivanov**, First Deputy Head of the Scientific Research Institute of Fire Safety and Emergencies (Republic of Belarus).

Secretary of the Board:

Major **Polina A. Bolotova**, editor of editorial department.

Candidate of Technical Sciences **Subotić Natasha**, professor of High technical school of professional studies from Novi Sad Republic of Serbia.

The Editorial staff

Chairman – Major **Irina V. Dmitrieva**, chief editor of editorial department.

Members of the editorial staff:

Candidate of Pedagogics Science **Tatyana A. Kyzmina**, Associate Professor of the Department of supervision (responsible for the release);

Major **Sergey V. Ilitskiy**, Lecturer at the Department of supervision;

Major **Alexander E. Gaidukevich**, senior Researcher of the Department of Innovation and Information Technologies in Fire Examination of the Scientifically Research Institute of perspective researches and innovative technologies in the field of health and safety;

Candidate of Technical Sciences, Docent **Alexander A. Kuzmin**, Associate Professor, department of mechanics, St. Petersburg state technological institute (technological university);

Doctor of Technical Sciences **Petra Tanović**, professor of High technical school of professional studies from Novi Sad Republic of Serbia;

Doctor of science **Kim Hwayoung**, associate professor of the fire safety department of the Kyungil University (Republic Korea);

Candidate of Technical Science **Oleg D. Navrotskiy**, head of the Department of the Scientific Research Institute of Fire Safety and Emergencies (Republic of Belarus);

Doctor of Juridical science, Docent, Colonel **Anna A. Medvedeva**, chief of the international department and information policy;

Candidate of Technical science, Docent, Colonel **Julia N. Belshina**, chief of criminalistics and technical examinations department.

Secretary of the Board:

Captain **Liliya N. Mamedova**, editor of prepress department of editorial department.

CONTENST

SUPERVISORY ACTIVITIES

Kuznetsova Ya.M., Fomin A.V. Current issues of investigation of fires with loss of life . 74

THEORY AND PRACTICE OF FORENSIC ENQUIRY

Yatsenko L.A. Gas-liquid chromatography identification of organic residues of diesel fuel on the content of alkanes of normal and iso-structures 78

PROBLEMS AND PROSPECTS OF FIRES PROVENTION AND SUPPRESSION

Lobaev I.A., Uvarov I.A., Voloshenko A.A. Estimated estimation of equipment with primary means of fire extinguishing of premises of buildings of various classes of functional fire hazard .. 87

Labinskiy A.yu.The problem of use the method of finite difference for calculation of the unsteady heat conductivity 92

Kuzmin A.A., Kuzmin A.A., Kuzmina T.A. Analytical methods for predicting the deformation of structural elements of ventilation ducts in fire conditions 97

Information about the authors 103

Background 104

Full or partial copying, reproduction, multiplication or other using of materials publishing in magazine «Monitoring and expertise in safety system» without written editorial permission isn't allowed

Reviews and wishes send at the address: 196105; Saint-Petersburg, Moskovsky prospect, 149, incorporate editors office of editorial department of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, tel. (812) 645-20-35, e-mail: redakziaotdel@yandex.ru

Official website of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia: www.igps.ru

Saint-Petersburg university
of State fire service of EMERCOM of Russia, 2021

SUPERVISORY ACTIVITIES

614.841

CURRENT ISSUES OF INVESTIGATION OF FIRES WITH LOSS OF LIFE

Ya.M. Kuznetsova; A.V. Fomin.

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

The article reveals the need to develop comprehensive approaches to the investigation of fires with loss of life, taking into account the features of the necessary skills and knowledge, both of the investigators of the supervisory bodies of the EMERCOM of Russia, and experts in the field of determining the causes of fires in the existing conditions of the development of the state, in particular the EMERCOM of Russia, taking into account the improvement of activities for solving crimes related to fires and violations of fire safety requirements. The study of this topic is based on the results of the analysis of regulatory legal acts regulating the activities of officials of the bodies of inquiry of the State Fire Service of the Federal Fire Service (GPN FPS), statistical data on the deaths of people in fires, the main difficulties encountered in the investigation of such fires. The relevance of an objective assessment of the criminal procedure activities of the bodies of inquiry of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia is due to the fact that it is the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of the Russian Federation as a body of inquiry that is a visible part of the state, every year the number of «resonant» fires that arouse public interest increases.

Keywords: criminal procedure activity, fire investigations, loss of life, experts in the field of establishing the cause of fire, field of knowledge, fire

The definition of «fire» is legally fixed as uncontrolled gorenje, causing material damage, or harm to the life and health of citizens, the interests of society and the state [1].

The occurrence of a fire in one way or another is a consequence of the manifestation of the human factor, that is, the result of actions or inactions of people, including officials. The causes and conditions that contribute to the occurrence of a fire include insufficient knowledge in the field of fire safety and safe behavior, both in professional and in everyday life.

The importance of observing fire safety rules is fixed both by the legislation of the Russian Federation and by life itself (the number of fires that occur daily). In terms of the severity and irreparability of the consequences and the number of victims, fires are second only to road accidents.

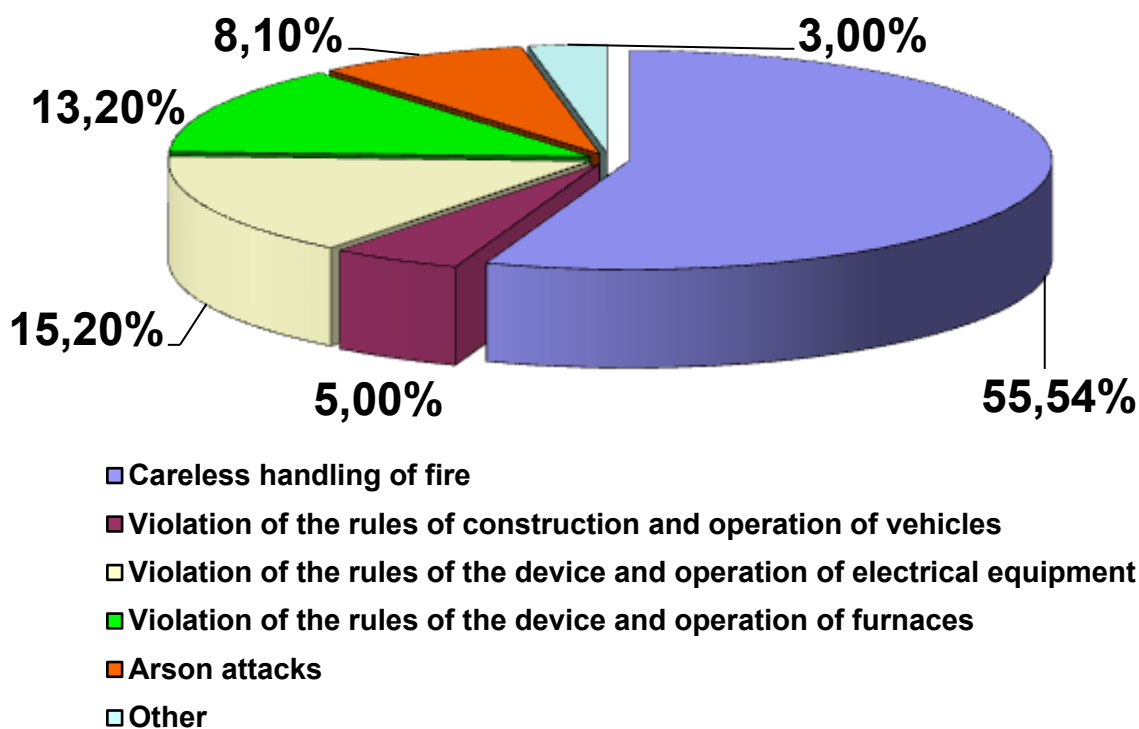
For example, according to the State Traffic Inspectorate, as of December 2020, 1 232 road accidents occurred on the territory of the Arkhangelsk region, in which 102 people were killed and 1 592 people were injured [2].

According to the data of the Department of Supervision and Preventive Work of the Main Department of the Ministry of Emergency Situations of the Russian Federation for the Arkhangelsk Region (hereinafter-UNDiPR), in 2020, 2 555 fires occurred, in which 101 people died, the number of injured in the fires was 117 people [3].

In 2020, in the territory of the Arkhangelsk region, the largest number of fires were registered due to careless handling of fire – 55.54% of the total number of fires. The most rare causes of the fire were: violation of fire safety rules when using pyrotechnic products; violation of the rules for the installation and operation of gas equipment; violation of the rules for the operation of heat-generating units and arson.

Employees of the UNDiPR noted an increase in the number of fires for such reasons as: violation of the rules of the device and operation of vehicles; violation of the rules of the device and operation of electrical equipment.

Distribution of the number of fires by main causes



Gorenje – Gorenje: As a result of poisoning with toxic combustion products, 65 people died (64.36 % of the total number of deaths in fires), 22 people died from exposure to high temperature (21.78 % of the total number of deaths in fires), and 1 person died from combined poisoning with alcohol and toxic combustion products (0.9 % of the total number of deaths in fires). The cause of death could not be determined in 13 cases (12.87 % of the total number of deaths).

More than 46% of the people who died in the fires were under the influence of alcohol.

According to the online conference held on 15.01.2021 with the participation of the leadership of the Ministry of Emergency Situations of Russia, it is known that in 2021, 439,100 fires were registered throughout the country, in which 8 262 people died, 8 439 were injured [4].

In modern Russia, the fight against fires that cause enormous harm to people's lives and health is becoming more relevant every year, more often raised by the state and covered in the media, books, films and other creative projects. This highlights the relevance of the topic of high-quality investigation in cases of fires.

When investigating fires with the loss of life, the bodies of inquiry do not always establish the exact cause of the fires, do not always identify the perpetrators, and often do not take all possible measures to compensate for the material damage caused by the fire.

The investigation of such crimes is complicated by the fact that in the process of gorenje, smoldering, spilling and disassembling the fire site, all possible traces of the crime are destroyed. Special difficulties arise when determining the circumstances of the fire, its development and, as a result, determining the cause of the fire. Based on the above-mentioned «nuances» of the fire, the bodies of inquiry have difficulties in establishing the signs of a crime, in general, the qualification of crimes, as well as identifying the perpetrators.

The foundations of fire investigation, in theory, were laid in Russia in the mid-twentieth century by B. V. Megorsky [5]. The generally accepted methodological approach to determining the cause of a fire begins with the production of an inspection of the scene of the accident.

Inspection of the fire site is one of the most important procedural actions in the investigation of fires with the death of people. Inspection of the fire site is carried out in order to detect traces

of a crime, to clarify other circumstances of significance [6]. The examination cannot be replaced or excluded by any other procedural action, since the examination involves a professional examination of the actual data, which cannot be obtained in any other way.

Currently, the investigation of fires needs to improve the quality of the work of the body of inquiry. In many ways, the thoroughness of the examination depends on the interaction between the investigator and the expert. The involvement of specialists (experts) in the production of an inspection of the fire site, followed by a fire-technical examination, the seizure of material evidence – interrelated factors for the truth of establishing the cause of the fire. At the same time, the expert's conclusion and conclusions about the source of the fire and the causes of the fire, as a rule, have a decisive influence on the entire course of the investigation.

An analysis of the practice of the bodies of inquiry and forensic institutions announces that quite often there are violations of procedural requirements in the selection and withdrawal of material evidence, often illiterate describe the thermal damage to the object where the fire occurred, due to the lack of practical and theoretical skills.

Practice shows that the studies of specialists (experts) in cases of fires are not always complete and convincing, the conclusions are not always sufficiently reasoned, and on the main question of the body of inquiry about the cause of the fire, experts formulate a probabilistic cause. Then the investigator, assessing the totality of the available data, comes to the conclusion about the presence or absence of the corpus delicti provided for by the Criminal Code of the Russian Federation [7].

Coming to the conclusion, it should be noted that in order to improve investigations in cases of fires, including those involving the death of people, a sufficient level of specific, narrowly focused knowledge is needed both by experts (for methodological assistance to employees of the state fire supervision and the accuracy of the conclusions expressed about the cause of the fire) and by interrogators (for clarity of the plan of action during the investigation, a qualitative inspection of the fire site). The level of knowledge is achieved through self-development, training, dedication and dedication to one's own work.

In addition to the above-mentioned aspects of solving crimes related to fires, the assessment of the activities of officials of the supervisory bodies of the EMERCOM of Russia in investigating the circumstances of a fire with the loss of life is of no small importance.

Currently, the assessment of the activities of the territorial bodies of the EMERCOM of Russia, including officials conducting inquiries in cases of fires, is carried out on the basis of the Order of the EMERCOM of Russia No. 53 of 27.01.2020 (hereinafter referred to as the Order). The Order provides a methodology for evaluating the activities of a territorial unit as a whole, without focusing on criminal procedure activities. The main goal reflected in the Order is «to develop a single algorithm for the actions of inspectors during the verification and evaluation of activities» [8].

In our opinion, such a methodology should reflect, implement, and provide the investigators and the management team with recommendations for a legitimate, comprehensive and complete, objective investigation of crimes related to fires, including the death of people, and not evaluate the indicator "quality of preparation of materials for checking the facts of fires", as reflected in the Order. Without defining the criteria for such «quality» and disclosing the terminology, as a whole, the wording of the Order, according to which the activities of the departments of supervisory activity of the subject of the Russian Federation are evaluated, it is impossible to talk about the training and improvement of the work of the officials of the GPN, identifying problematic areas of activity in the investigation of fires that led to the death of people, conducting self-assessment by employees to establish their own results and self-control, and also it is impossible to achieve other tasks that should be solved when evaluating the activities of the units of the GPN.

The methodology and assessment of activities, the assessment of the effectiveness and quality of criminal procedure activities should be based on the analysis of results, personal qualities, analysis of current and changing legislation, and should be aimed at improving the quality of performance by the officials of the State Penitentiary Service of their duties.

References

1. Federal Law №. 69-FZ of 21.12.1994 «On Fire Safety» (as amended). from 22.12.2020).
2. Indicators of the state of road safety.URL: <http://stat.gibdd.ru/> (accessed 31.01.2021).
3. Analysis of the results of the activities of the Department of Supervisory Activities and Preventive Work of the Main Department of the EMERCOM of Russia for the Arkhangelsk Region for 2020.
4. Online conference under the leadership of the Ministry of Emergency Situations of Russia. URL: <https://www.mchs.gov.ru/deyatelnost/press-centr/novosti/4359846> (accessed 27.03.2021).
5. Megorsky B.V. Method of establishing the cause of the fire. _M.: Stroyizdat, 1966. 347 p.
6. The code of criminal procedure of the Russian Federation dated 18.12.2001 № 174-FZ (as amended on 24.02.2021).
7. Criminal code of the Russian Federation from 13.06.1996 № 63-FZ (ed. from 24.02.2021).
8. The order of EMERCOM of Russia № 53 dated 27.01.2020 «On approval of the methodology for assessing the activities of the territorial bodies of the EMERCOM of Russia in the implementation of Supervisory activities and preventive work».



THEORY AND PRACTICE OF FORENSIC ENQUIRY

543.542; 543.064

GAS-LIQUID CHROMATOGRAPHY IDENTIFICATION OF ORGANIC RESIDUES OF DIESEL FUEL ON THE CONTENT OF ALKANES OF NORMAL AND ISO-STRUCTURES

L.A. Yatsenko.

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

It has been shown that in order to establish the belonging of organic residues to diesel fuel, it is necessary and sufficient by the GLC method of liquid samples (initial liquids and / or hexane extracts) to detect in organic residues alkanes of isoprenoid structure (2,6,10-trimethylpentadecane, pristane, phytane) by the presence of peaks on a chromatogram with linear retention indices (1630, 1680 and 1786, respectively). To determine the brand of diesel fuel by the GLC method of liquid samples, it is necessary to analyze the chromatogram of diesel fuel residues in the program of the All-Russian electronic database (EB) of chromatographic data on means of arson, to establish the total content of alkanes of normal and isoprenoid structures and to calculate how many times the content of normal alkanes prevails over the content of isoprenoid buildings. When diesel fuel burns out by 50 % – 99 %, the content of normal alkanes and iso-structure alkanes is redistributed. The content of normal alkanes decreases due to the burnout of lighter alkanes, while the content of heavy and non-volatile isoprenoid alkanes increases significantly and becomes comparable to the content of normal alkanes. In this case, the nature of the change in the content of normal alkanes in comparison with the content of iso-structure alkanes depends only on the brand of diesel fuel and the degree of its burnout.

Keywords: GLC method of liquid samples, alkanes of normal and iso-structure, identification of diesel fuel by isoprenoid alkanes in its composition, diesel fuel brands, criterion for differentiating diesel fuels by brands; EB chromatographic data by means of ignition

It is known that all fractions of diesel fuel of the «summer» brand contain 2-6 times (depending on the fraction) more paraffins than in diesel fuel of the «winter» brand fuel, both in total and in the content of individual paraffins. To determine the brand, it is proposed to find the peaks of alpha – and octadecane on the chromatograms of diesel fuel and determine their percentage content. [1].

In the guidelines [2], it is proposed to use the content of light normal hydrocarbons to determine the brand of diesel fuel.

It was previously shown that in order to determine the type of LVH and GH by the method of HPLC in a mixture of unknown composition, it is sufficient to detect the components belonging to alkanes and arenes and determine their total content [3].

In the conditions of the column temperature programming mode, linear retention indices are used when entering into the database:

$$I_i = 100 \left[\frac{t_{R(i)} - t_{R(N)}}{t_{R(N+1)} - t_{R(N)}} \right]$$

where I_i – retention index of the peak of interest; $t_R(i)$ – retention time of the peak of interest; $t_R(N)$, $t_R(N+1)$ – retention times of the peaks of alkanes with the number of carbon atoms N and $(N+1)$ leaving before and after the i peak.

In the equation for calculating the linear retention index of the peak of interest, there is no need to adjust the retention time value for dead time. It is sufficient to use the absolute retention time of the peak of interest [4].

It should be noted that when processing chromatograms, the baseline drift on the chromatogram should be taken into account. The marking of peaks on the chromatograms of diesel fuels before their integration should be carried out strictly along the baseline, taking into account its displacement with increasing column temperature when separating the mixture into components.

The indices of the desired substances, for example, arenes and iso-alkanes, are reference information for a specific liquid stationary phase of the ZB-50 brand. The values of the alkane indices are constant for any stationary phases and depend only on the number of carbon atoms in the alkane molecule. At the same time, neither the chromatography conditions (pressure, the nature of the carrier gas, the column temperature), nor the geometric parameters of the column affect their values.

Analysis of the chromatogram of a mixture of LVH and GH of unknown composition is possible with the help of an electronic database of chromatographic data on the means of arson. To do this, it is necessary to enter data on the chromatogram in the electronic database (EBD) in the form of a set of pairs of points consisting of the indices and areas of each peak identified on the chromatogram [6].

To sum up the areas of peaks belonging to the same class of hydrocarbons, an additional block is introduced into the software shell of the EBD of arson tools [7].

According to the results obtained by analyzing the chromatogram of an unknown composition in the EBD, the predominant amount of arenes in the analyzed composition indicates that it belongs to petroleum products of the gasoline fraction of oil, and the predominant amount of alkanes - to petroleum products of medium-distillate fractions of oil (kerosene or diesel fuels). At the same time, the task of establishing the brand of diesel fuel was not previously set [8].

All the chromatograms of diesel fuels obtained in the FSBI SEU FPS IPL of different regions of Russia were analyzed using the EBD by means of arson, which allowed us to identify the characteristic features for each brand of diesel fuel.

Tables 1-3 show the hydrocarbon composition of diesel fuel of the «summer» brand from different manufacturers before and after thermal exposure.

As can be seen from Table 1, most manufacturers in diesel fuels of the «summer» brand have a similar content of isoprenoid alkanes (2,6,10-trimethylpentadecane, pristan and phytane.).

At the same time, the sum of the areas of the peaks of the alkanes of the structure obtained as a result of the analysis of the chromatogram in the EBD program by means of arson varies in the range from 11 % (Rosneft-Kubannefteprodukt) to 17% (TAIF, Nizhnekamsk Refinery).

From Table 1, it also follows that for diesel fuels of the «summer» brand, there is a significant variation in the ratio of the sum of the peak areas of all identified alkanes to the peak areas of all arenes. The content of all alkanes exceeds the content of all arenes and varies depending on the manufacturer from 4 (NC «TAIF», JSC «Nizhnekamsk Oil Refinery», JSC Holding Company «Tatnefteprodukt», NK «Tatneft», JSC «Sredne-Volzhsy Transnefteprodukt») up to 17 times (LLC «Kinef»). Therefore, this ratio is not advisable to choose as a criterion when determining the brand of diesel fuel.

At the same time, the ratio of the sum of the areas of the peaks of normal-structure alkanes to the sum of the areas of the peaks of iso-structure alkanes for most manufacturers is reproduced and has a fairly narrow range from 4 (NC «TAIF», JSC «Nizhnekamsk Refinery», JSC Holding Company «Tatnefteprodukt») to 7.5 units (NC «Rosneft-Kubannefteprodukt»).

Therefore, the change in the content of normal and iso-structure alkanes was chosen as the main criterion for differentiating diesel fuel by brand.

Table 1. Content of arenes, alkanes of normal and isoprenoid structures (iso-alkanes) in diesel fuels of the «summer» brand from different manufacturers

Diesel fuel of the «summer» brand, manufacturer	Content, %			The ratio of the sum of the peak areas of different groups of hydrocarbons, units	
	arenes	alkanes	isoalkanes	alkanes/arenes	alkanes/isoalkanes
NC «TAIF», JSC «Nizhnekamsk Refinery»	12	71	17	6,0	4,0
JSC Holding Company «Tatnefteprodukt»	17	67	16	4,0	4,0
NK «Tatneft», JSC «Sredne-Volzhsy Transnefteprodukt»	16	68	16	4,0	4,0
Sibneft LLC	10	74	16	7,0	4,6
Lukoil Volga-Oil Product LLC	12	72	16	6,0	4,5
Rosneft Oil Company, Slavneft-YANOS OJSC	5	80	15	16,0	5,0
Gazpromneft Oil Company	13	73	14	6,0	5,0
OOO «Kinef»	5	83	12	17,0	7,0
NK «Rosneft-Kuban-oil product»	7	82	11	12,0	7,5

Table 2 combines the results of the analysis of chromatograms of summer diesel fuel subjected to 50% thermal exposure, analyzed in the program of the electronic database of chromatographic data on means of arson.

Table 2. The content of arenes, alkanes and isoprenoid alkanes in diesel fuel of the «summer» brand of different manufacturers after thermal burn-up to 50%

Diesel fuel of the «summer» brand, manufacturer	Content, %			The ratio of the sum of the areas of the peaks of alkanes of different structures, units
	arenes	alkanes	isoalkanes	alkanes/isoalkanes
JSC «Slavneft-YANOS»	2	73	25	3,0
JSC «NK Rosneft Kurgannefteprodukt»	1	81	20	4,0
The manufacturer is unknown	8	70	22	3,0

From the table. 2 it can be seen that the partial burnout of diesel fuel of the «summer» brand up to 50 % and, accordingly, its partial evaporation leads to a change in the ratio of the areas of all peaks of alkanes of the normal structure to the areas of peaks of alkanes of the isoprenoid structure selected for the differentiation of diesel fuel by brand. The content of alkanes of normal structure after partial burnout of diesel fuel of the «summer» brand becomes only 3–4 times more than alkanes of the isoprenoid structure in comparison with the initial diesel fuel of the same brand.

As can be seen from Table 3, the burnout of diesel fuel of the «summer» brand up to 99 % is accompanied by a further decrease in the ratio of the amount of all alkanes of the normal structure to the alkanes of the iso structure and is in the range from 1,4 to 1,7 units.

Table 3. **The content of arenes, alkanes and isoprenoid alkanes in diesel fuel of the «summer» brand of different manufacturers after its burn-up to 99 %**

Diesel fuel of the «summer» brand, manufacturer	Content, %			The ratio of the sum of the areas of the peaks of alkanes of different structures, units
	arens	alkanes	изоалканы	arens
Lukoil Volga-Oil Product LLC	1	58	41	1,4
Gazpromneft Oil Company	10	57	33	1,7
The manufacturer is unknown	3	58	39	1,5

Thus, for the initial, non-thermally exposed diesel fuels of the «summer» brand, the ratio of the sum of the areas of all peaks of alkanes of normal structure to the sum of the areas of all peaks of iso-alkanes is in the range from 4 to 7.5.

After burning up to 50 % or partial evaporation of diesel fuels of the «summer» brand, the interval of the ratio of the sum of the areas of the peaks of alkanes of normal structure to the sum of the areas of all peaks of iso-alkanes decreases and is equal to 3–4 units compared to the interval for diesel fuels of the «summer» brand before temperature exposure. Only after a long burnout of diesel fuel of the brand «summer» (the degree of burnout of 99 %) in its composition there is a significant redistribution of the content of groups of alkanes of different structures, namely alkanes of normal and iso-structures. With the combustion of diesel fuel up to 99 % in the burned-out remains of diesel fuel of the «summer» brand, the content of alkanes of the normal structure becomes almost comparable to the content of alkanes of the isoprenoid structure.

Table 4–5 shows the composition of diesel fuels of the «winter» brand before and after thermal exposure to them, calculated from chromatograms using the EBD program by means of arson.

Table 4. **Content of arenes, alkanes and isoprenoid alkanes in diesel fuels of the «winter» brand of different manufacturers**

Diesel fuel of the «summer» brand, manufacturer	Content, %			The ratio of the sum of the areas of the peaks of alkanes of different structures, units
	arens	alkanes	isoalkanes	arens
NC «TAIF», JSC «Nizhnekamsk Refinery»	20	74	6	12
ООО «Kinef»	11	82	8	10
«Bashneft-UNPZ»	22	71	7	10
«Rosneft-YANP, JSC»	11	80	9	9

From the table. 4 it can be seen that the content of alkanes of the isoprenoid structure in diesel fuels of the «winter» brand differs significantly from their content in diesel fuels of the «summer» brand and varies from 6 % (NC «TAIF», JSC Nizhnekamsk Refinery) to 9,0 % (JSC NC «Rosneft-YANP»). At the same time, the ratio of the areas of all peaks of normal structure alkanes to the sum of the areas of the peaks of iso-structure alkanes is in the range from 9 units (Rosneft-YANP) to 12 units (TAIF, Nizhnekamsk Refinery).

After a long burnout of diesel fuel of the «winter» brand (the degree of burnout of 99 %) in its composition, as well as in the case of diesel fuel of the «summer» brand, the content of groups of alkanes of different structures is redistributed. Due to the concentration of heavy and non-volatile alkanes of the isoprenoid structure, their content in the composition of diesel fuel increases significantly. Due to the burnout of lighter alkanes of normal structure, the content of alkanes of normal structure is significantly reduced (Table 5). At the same time, the interval of the ratio of the

sum of the peak areas of normal alkanes preserved after the burnout of diesel fuel of the «winter» brand to 99% to the sum of the peak areas of the isoprenoid structure decreases by an order of magnitude compared to the original diesel fuel of the same brand and is equal to 0,5–1,0.

Table 5. Content of arenes, alkanes and isoprenoid alkanes in diesel fuel of the «winter» brand of different manufacturers after thermal burn-up to 99 %

Diesel fuel of the «summer» brand, manufacturer	Content, %			The ratio of the sum of the areas of the peaks of alkanes of different structures, units
	arens	alkanes	isoalkanes	alkanes/isoalkanes
LLC «LUKOIL-Ukhtaneftpeker»	1	34	65	0,5
NK «Surgutneftegaz», KINEF LLC	1	43	56	0,8
NK «Gazpromneft»	1	50	49	1,0

Tables 6-10 show the hydrocarbon composition of ecto and euro class diesel fuels from different manufacturers before and after thermal exposure to diesel fuels. It should be noted that the marking of diesel fuels of the Euro and Ecto (K5) classes is also divided into summer (L), winter (H) and Arctic (A) according to the physical and chemical properties, operational characteristics and conditions of use of the fuel [9].

Table 6 shows the compositions of diesel fuels of the brand «summer» class K5 (DTL-K5), obtained as a result of the analysis of chromatograms in the EBD program by means of arson.

Table 6. Content of arenes, alkanes and isoprenoid alkanes in diesel fuels of the «summer» brand, «Euro» and «Ecto» classes of different manufacturers

Diesel fuel of the «winter» brand, Euro and Ecto classes, manufacturer	Содержание, %			The ratio of the sum of the areas of the peaks of alkanes of different structures, units
	arens	alkanes	isoalkanes	alkanes/isoalkanes
NK Rosneft Oil Company, «RNPК» CJSC	4	83	14	6,0
NK «Lukoil»	5	75	20	4,0
JSC «Slavneft-YANOS»	9	80	11	7,0
LPDS «Steel Horse»	19	71	10	7,0
JSC Rosneft-Kuban Oil Company Petroleum product»	6	83	11	7,5
ООО «Gazpromneftly Ug LLC»	8	76	16	4,7
ООО «Lukoil-YugnefteProduct LLC»	8	81	11	7,0
ООО «Ufimneft»	8	79	13	6,0
The manufacturer is unknown	9	79	12	6,6

In the compositions of diesel fuels of the DTL-K5 brand, the content of all peaks of alkanes of the normal structure is 4,0–7,5 times higher than the content of all alkanes of the isoprenoid structure, as is typical for conventional diesel fuels of the «summer» brand (Table 1).

In diesel fuels of the «winter» brand of class K5 (DTZ-K5), the content of normal alkanes, depending on the manufacturers, is 9–12 times greater than that of alkanes of the isoprenoid structure (Table 7). A similar interval of the ratio of the sum of the areas of all peaks of alkanes of

the normal structure to the sum of the areas of peaks of alkanes of the isoprenoid structure is observed in conventional diesel fuel of the «winter» brand (Table 4).

Table 7. Content of arenes, alkanes and isoprenoid alkanes in diesel fuels of the «winter» brand, «Euro» and «Ecto» classes of different manufacturers

Diesel fuel of the «winter» brand, Euro and Ecto classes, manufacturer	Content, %			The ratio of the sum of the areas of the peaks of alkanes of different structures, units
	arenes	alkanes	isoalkanes	alkanes/isoalkanes
JSC «Saratov Oil Refinery»	14	78	8	10,0
OOO «LLC LUKOIL-Volga oil product»	6	86	8	11,0
YANOS «Slavneft»	12	79	9	9,0
OOO «Lukoil-Ukhtaneft Processing, LLC»	6	86	7	12,0
OOO «Gazenergo Retail Network, LLC»	14	78	8	10,0
OOO PTK LLC, Novgorod branch	19	72	9	9,0

After temperature exposure to diesel fuels of the «summer» and «winter» brands of the K-5 class (DTL-K5 and DTZ-K5), the patterns of changes in the content of normal and iso-structure alkanes are similar to those for conventional diesel fuels of the same brands (Tables 8–10 and 2, 3, 5, respectively).

Table 8. The content of arenes, alkanes and isoprenoid alkanes in diesel fuel of the brand «summer», class «Euro» of different manufacturers after thermal burn-up to 50 %

Diesel fuel, manufacturer	Content, %			The ratio of the sum of the areas of the peaks of alkanes of different structures, units
	arenes	alkanes	isoalkanes	alkanes/isoalkanes
CJSC «Ryazan RPC»	2	73	25	3,0
The manufacturer is unknown	8	66	26	2,5
DTL-K5, «PTK», OOO, FILIAL «Novgorod»	14	68	18	4,0
DTL-K5, «Neste Oil Saint Petersburg»	5	73	22	3,0
DTL-K5, LLC «Ufimneft»	2	72	36	2,0
DTL-K5, OOO Gazpromneft-Yug	2	76	38	3,0
DTL-K5, OOO Lukoil-Yugnefteprodukt	2	71	27	2,6
DTL-K5, OAO NK Rosneft-Kuban Oil product»	2	78	20	4,0
DTL-K5, LLC «Lukoil-Yugnefteprodukt»	3	71	26	2,7
DTL-K5, manufacturer not specified	1	67	32	2,0
JSC «SlavneftIANOS»	2	68	30	2,3

Table 9. The content of arenes, alkanes and isoprenoid alkanes in diesel fuel of the brand «summer», class «Euro» of different manufacturers after thermal burn-up to 50 %

Diesel fuel, manufacturer	Content, %			The ratio of the sum of the areas of the peaks of alkanes of different structures, units
	arenes	alkanes	isoalkanes	alkanes/isoalkanes
JSC «Ryazan refinery»	2	61	37	1,6
DTL-K5, the manufacturer is not specified	1	57	42	1,5
DT-L-K5, LLC PTK, branch «Novgorod»	2	62	36	1,7
DT-L-K5, «Neste Oil Saint-Petersburg»	1	59	40	1,5
DT-L-K5, OJSC «NKRosneft-Kubanefteprodukt»	2	63	35	1,8
Dt-L-K5, LLC «Lukoil-Yugnefteprodukt»	3	61	36	1,7
DT-L-K5), LLC «Lukoil-Yugnefteprodukt»	1	61	38	1,6

DTL-K5, manufacturer not specified
 DT-L-K5, PTK, OOO, FILIAL "Novgorod"
 DT-L-K5, "Neste Oil Saint Petersburg"
 DT-L-K5), JSC "Crossnet-Kubanefteprodukt".
 DT-L-K5, OOO "LUKOIL-yugnefteprodukt"
 DT-L-K5), OOO "LUKOIL-yugnefteprodukt»

When summer diesel fuel burns out by 50 %– 99 % of the K-5 class, its composition, as well as in conventional diesel fuels of the «summer» brand, redistributes the content of normal and iso-structure alkanes. With an increase in the degree of burnout of diesel fuel of the brand «summer» class K5, the total content of iso-alkanes increases up to 42 %, depending on the degree of burnout [Tables 8, 9].

Table 10 shows how the interval of the ratio of the sum of the peak areas of all identified normal-structure alkanes to the sum of the peak areas of iso-structure alkanes (isoprenoid alkanes) in diesel fuels of the «winter» brand of class K5 changes in comparison with the similar ratio for diesel fuels of the same brand and class before their burnout (Table 7). In the case of diesel fuels of the DTZ-K5 brands, when burned out by 99 %, the content of alkanes of normal structure becomes almost comparable to the total content of isoprenoid alkanes 2,6,10-trimethylpentadecane, pristan and phytane (Table 10).

Table 10. The content of arenes, alkanes and isoprenoid alkanes in diesel fuel of the brand «winter», class «Euro» of different manufacturers after thermal burn-up to 99 %

Diesel fuel, manufacturer	Content, %			The ratio of the sum of the areas of the peaks of alkanes of different structures, units
	arenes	alkanes	isoalkanes	alkanes/isoalkanes
OJSC «Slavnet-Yanos»	0	56	44	1,3
The manufacturer is not specified	0	54	46	1,2

The summary table 11 shows the effect of the degree of burning of diesel fuel on the total content of all identified alkanes of normal and iso-structures, depending on its brand.

Thus, in order to determine whether the organic residues belong to diesel fuel, it is necessary and sufficient to detect isoprenoid alkanes (2,6,10-trimethylpentadecane, pristane, and phytane) in the organic residues using the method of liquid samples (starting liquids and/or hexane extracts) by the presence of peaks on the chromatogram with linear retention indices of 1630, 1680, and 1786, respectively. To do this, you need to process the chromatogram, for example, in the program «Chromatek Analyst» or «NetChrom», pre-configuring the process of identifying the peaks of arenes and isoprenoid alkanes by linear retention indices calculated relative to the retention times of the peaks of normal alkanes.

To determine the brand of diesel fuel by the method of liquid sample GC, it is necessary to establish the total content of alkanes of normal and isoprenoid structures by analyzing the chromatogram of diesel fuel residues in the program of the All-Russian EB chromatographic data on means of arson. To determine the brand of diesel fuel by the method of GLC it is enough to calculate how many times the content of normal alkanes prevails over the content of alkanes of the isoprenoid structure.

Table 11. Assessment of the degree of burnout for diesel fuels of different brands and classes by the content of alkanes of normal and iso-structures

Diesel fuel, brand	Degree of burnout, %		
	0	50	99
	$\Sigma\text{Stop H} - \text{alkanes} / \Sigma\text{Stop iso-alkanes}$, units.,		
Л1 (summer)	4–7,5	4–7,5	1,4–1,7
З (winter)	9–20	9–12	0,5–1
Л1-K5	4–7,5	2–4	1,5–2,5
З-K5	9–16	–	0,5–1

The results obtained will be useful for practical expert activity in solving the problem of detecting liquid samples by the GVC method together with the use of the All-Russian EC chromatographic spectra by means of arson in organic residues of unknown origin of diesel fuel and establishing the brand and degree of its burnout.

References

1. Prokuda, N. A. Analysis of the content of paraffins in diesel fuel fractions // IX Scientific Conference "Analytics of Siberia and the Far East", collection of materials [Electronic resource, access mode: http://conf.sfu-kras.ru/conf/asfe12/report?memb_id=4627]. - Krasnoyarsk: Siberian Federal University, 2011. //
2. Guidelines for laboratory work on the discipline "Physical and chemical methods of analysis of oil and petroleum products" in the direction of training 18.04.01 " Chemical technology of fuel and gas full-time training» //Trushkova L. V., Drogalev V. V.-Tyumen: Tyumen State University, 2015.
3. Methodical manual-Detection and establishment of the composition of flammable and combustible liquids during arson // I. D. Cheshko, M. Yu. Printseva, L. A. Yatsenko-M.: VNIPO EMERCOM of Russia, 2010, 90 p.
4. B. V. Stolyarov, I. M. Savinov, A. G. Wittenberg, etc. Practical gas and liquid chromatography. - St. Petersburg: Publishing House of St. Petersburg University, 2002. - 610 P.
5. Cheshko I.D., Printseva M.Yu., Yatsenko L.A. Electronic database of chromatographic and spectral data on flammable liquids (means of arson) // Supervisory activity and forensic expertise in the security system: a scientific and analytical journal. - SPb: SPb UGPS EMERCOM of Russia, No. 2, 2015, p. 12-19.

6. L.A. Yatsenko, A.A. Vorontsova, I.D. Cheshko Identification of petroleum products and technical liquids by gas-liquid chromatography by retention indices // Supervisory activity and forensic examination in the security system: scientific and analytical journal. - SPb: SPb UGPS EMERCOM of Russia, No. 1, 2017, p. 6-16.

7. Electronic database of spectral and chromatographic data on arson devices-electronic access: www.fire-expert.spb.ru.

8. Cheshko I.D., Printseva M.Yu., Yatsenko L.A. Differentiation of commodity products based on hydrocarbons neftir at the examination of fires // Journal of Life Safety, No. 11, 2018, pp. 31-40.

9. GOST 32511-2013 - (EN 590:2009) EURO diesel fuel. Technical conditions.



PROBLEMS AND PROSPECTS OF FIRES PREVENTION AND SUPPRESSION

614.845

ESTIMATED ESTIMATION OF EQUIPMENT WITH PRIMARY MEANS OF FIRE EXTINGUISHING OF PREMISES OF BUILDINGS OF VARIOUS CLASSES OF FUNCTIONAL FIRE HAZARD

I.A. Lobaev; I.A. Uvarov; A.A. Voloshenko.
Academy of State fire service of EMERCOM of Russia

The article presents the developed information and analytical system for assessing the provision and effective use of primary fire extinguishing equipment (portable fire extinguisher) in the premises of the building and an algorithm for its practical implementation. This information support allows you to quickly and under time constraints to establish the scope of effective application of fire safety requirements for providing primary fire extinguishing equipment (portable fire extinguisher) to the premises of the building.

Keywords: primary fire extinguishing equipment, portable fire extinguisher, personnel, initial stage of fire

The analysis of the requirements for the provision and use of primary fire extinguishing equipment (portable fire extinguisher) of premises of various classes of functional purpose for firefighting [1, 2] revealed the following problems:

– it is impossible to determine the size of the fire source, taking into account the size of the fire load and the physical, chemical and fire-hazardous properties of the combustible materials being handled;

– it is not possible to establish a fire risk threat to the person using the fire extinguisher.

To assess the safe and effective use of primary fire extinguishing equipment (portable fire extinguisher) in buildings, it is necessary to analyze the data of estimated estimates of the size of the fire source and the safe use of the fire extinguisher when extinguishing a fire in its initial stage.

To assess the effectiveness, it is necessary to calculate the time of free development of the fire (t_{sv}) at the initial stage - the time interval from the moment of the occurrence of gorenje to the beginning of the first extinguishing devices for its elimination.

Determining the time of fire development at various points in time:

$$t_{CB} = t_{обн} + t_{cл} + t_{оп},$$

where $t_{обн}$ – time of fire development from the moment of its occurrence to the moment of its detection [3, 4], min.; $t_{cл}$ – research time, min.; $t_{оп}$ – combat deployment time, min.

The length of the fire ($R_{пож}$) path is calculated according to the method presented in [5, 6]. To implement it, it is necessary to determine the distance R traveled by the combustion front during the time $t_{cb,p}$ according to the formula

$$R_{пож} = 0,5 \cdot V_{л} \cdot t_{CB},$$

where $V_{л}$ – linear velocity of gorenje propagation, m.

The values of the linear velocity of combustion propagation for various fire loads are given in [7]. Gorenje et al.

The area of the fire at the time of the supply of fire extinguishers, taking into account the placement of stored products and the height of the equipment, for a circular shape is calculated according to the formula:

$$S_{\text{пож}} = \pi R_{\text{пож}}^2 \quad (1)$$

The area of the fire at the time of the supply of fire extinguishers, taking into account the placement of stored products and the height of the equipment, for the angular shape is calculated according to the formula:

$$S_{\text{пож}} = (1/4) \cdot (R_{\text{пож}})^2.$$

The area of the fire at the time of the supply of fire extinguishers, taking into account the placement of stored products and the height of the equipment, for the angular shape is calculated according to the formula:

$$S_{\text{пож}} = (1/2) \cdot (R_{\text{пож}})^2.$$

the number of directions of feeding the fire area by the time the fire extinguishers are fed, taking into account the placement of stored products and the height of the equipment, for a rectangular shape is calculated by the formula:

$$S_{\text{пож}} = n \cdot a \cdot (R_{\text{пож}})^2,$$

where n – number of feed directions; a – room width, m.

Evaluation of the effectiveness of the use of primary fire extinguishing agents in the initial stage of a fire is carried out according to the formula:

$$S_{\text{пож}} \leq S_{\text{туш.огнетуш.}}$$

To assess the safe use of primary fire extinguishing agents (portable fire extinguisher) in buildings, the method specified in [8, 9] is used, which allows for a calculated assessment of the ignition of the material surface from the impact of radiant heat flow during a fire.

The calculated amount of heat transferred during a fire is expressed by the equation of radiant heat exchange between bodies separated by a transparent medium described by the formula:

$$q_{\text{расч}} = \varepsilon_{\text{пр}} C_0 \left[\left(\frac{T_{\text{и}}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{\text{доп}}}{100} \right)^4 \right] \varphi_{1-2},$$

where $T_{\text{и}}$ – radiating surface temperature, K; $T_{\text{доп}}$ – permissible temperature on the irradiated surface, K; $\varepsilon_{\text{пр}}$ – reduced degree of blackness of the system;

The analysis of the application of calculated estimates of the possible situation in the premises of the building and the occurrence of fire hazards in the form of heat flow by the time of the introduction of mobile fire extinguishers in the initial stage of the fire revealed the following problems:

- estimated estimates, taking into account the reference information specified in various sources, complicates their practical application in the organization of providing primary means of fire extinguishing (portable fire extinguisher) of the premises of the building;
- additional information is needed to assess the effectiveness of fire extinguishers.

Thus, to assess the equipment of primary fire extinguishing means in the initial stage of a fire, it is necessary to develop an information and analytical system for evaluating the use of primary fire extinguishing means (portable fire extinguisher) in the premises of the building.

To improve the efficiency of data collection, forecasting of calculated situations, an algorithm was developed (Fig. 1), according to which a complete analysis of the conditions for the use of calculation methods and obtaining the necessary and sufficient indicators to assess the provision and effective use of primary fire extinguishing agents (portable fire extinguisher) in the premises of the building is carried out. The conditions for the application of the estimated assessment are considered in the system «building (room) – assessment of the possibility of use – assessment of the safety of use».

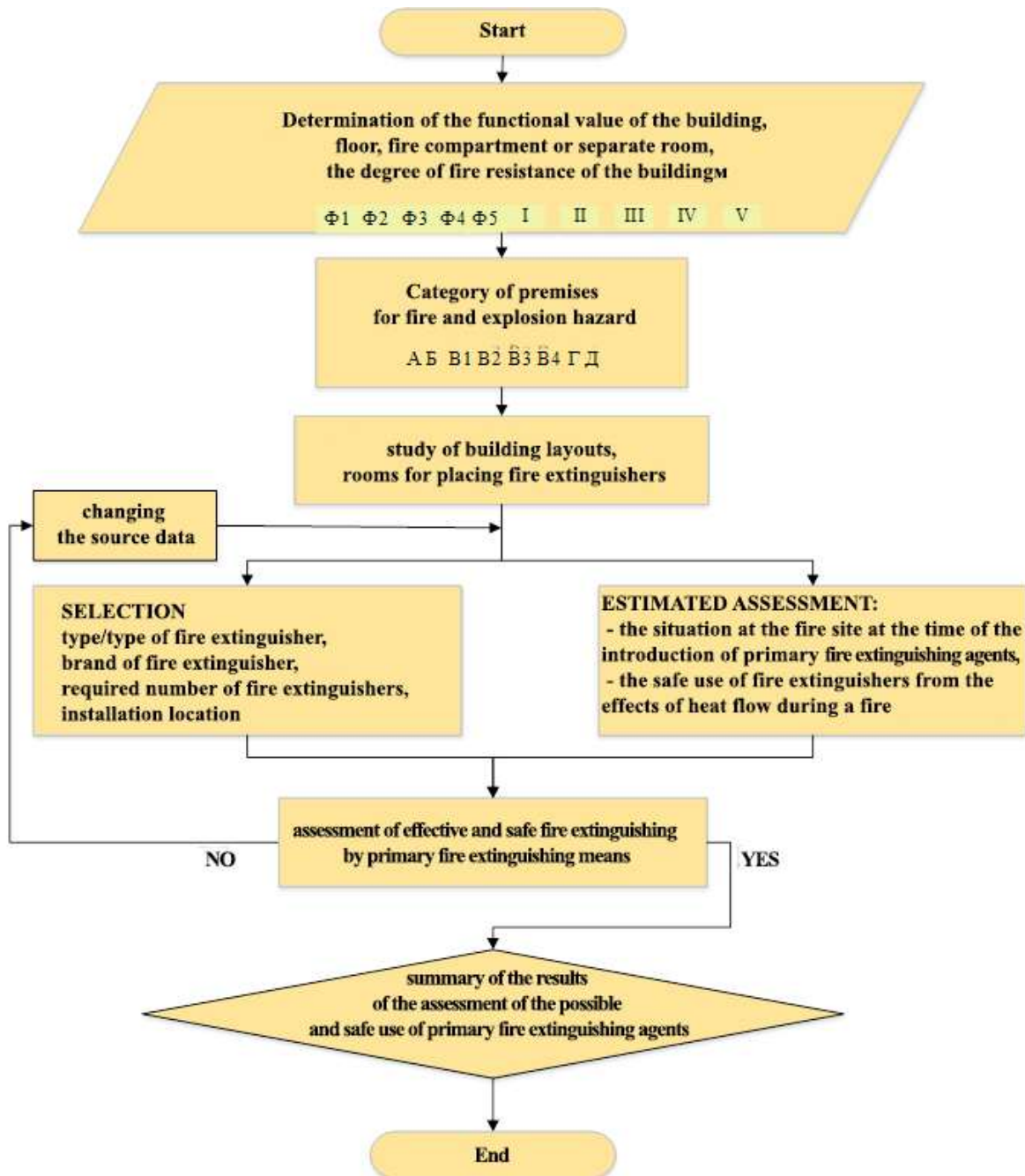


Fig. 1. Algorithm for evaluating the provision and effective use of primary fire extinguishing agents (portable fire extinguisher) in the premises of the building

For testing and practical application of the developed system according to the algorithm (Fig. 1) it is necessary to carry out a series of calculations on various objects of protection.

The estimated assessment of equipment with portable fire extinguishers will be carried out in the premises:

– public building (Load type: «Office: furniture + paper (0,75 + 0,25)» – $V_{\text{ЛИН}} = 0.42 \text{ m/min}$ [7]). SOWE-3 type. The distance, taking into account the location of the equipment, from the fire source to the installation site of a portable fire extinguisher is 25,5 meters.

A diagram of a room in a public building with an indication of the area, the arrangement of equipment, is shown in Fig. 2. Height of placement of equipment and materials $m = 3.0 \text{ m}$ from the floor level. The room in the plan – $17 \times 12 \text{ m}$. Fire loading – «Office: furniture + paper (0,75 + 0,25)» – $V_{\text{ЛИН}} = 0,42 \text{ m/min}$ [7]; furniture, internal combustible finishing, report documentation on paper, with an area of 40 m^2 , i.e. solid combustible materials (fire class A); computer, office equipment, electrical wiring, switchboard, installation equipment-switches,

sockets, lighting plafonds (class E). The room is equipped with APS, SOWE-3 type, there is no AUPT system.

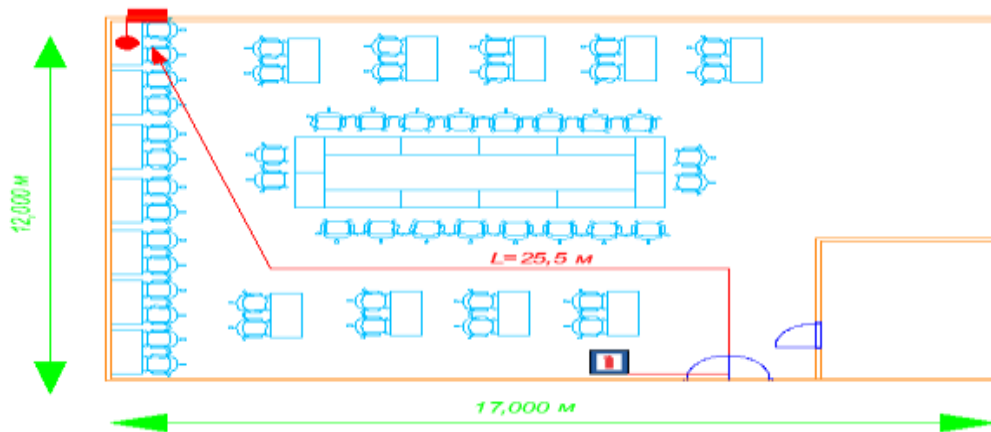


Fig. 2. Layout of a room in a public building

Option #1: The staff is located in the room of the simulated fire center.
The detection time [3] is:

$$t_{\text{обн}} = 5 + 0,01F = 0,117 \text{ min,}$$

Option №2: The staff is located outside the simulated fire site.
The detection time is 1.5 minutes [3].

For the place of the simulated fire source, the most remote place from the entrance to the room is taken. According to Fig. 6, the length of a person's route from the location of the door, the fire extinguisher and to the fire center is $L = 25,5 \text{ m}$; the time spent on moving personnel from the location of the fire extinguisher to the place of the simulated fire according to formula 1 will be $t_1 = 3,42 \text{ seconds} = 0,085 \text{ minutes}$. The time of combat deployment, i.e. the time of activation of the portable fire extinguisher will be $e_{\text{брд}} = 6 \text{ seconds} = 0,1 \text{ minutes}$.

Determination of the possible situation on the fire at the time of introduction of primary means of fire extinguishing

The fire radius (the path traveled by the flame) horizontally by the time the fire extinguishers are applied:

$$R_{\text{пож}} = 0,5V_{\text{лин}}\tau_{\text{разв.}}$$

The area of the fire at the time of the supply of fire extinguishers, taking into account the placement and height of the equipment:

$$S_{\text{пож}} = \pi R_{\text{пож}}^2$$

Evaluation of the effectiveness of the use of fire extinguishers in a public building (Type of load: «Cabinet: furniture + paper (0.75 + 0.25)») is presented in Table 1.

Table 1. Definition of the effective use of a fire extinguisher in a public building (Type of load: «Cabinet: furniture + paper (0.75 + 0.25)»)

Option / Time of fire development, $\tau_{\text{разв.}}$ min	Linear propagation velocity, $V_{\text{лин}}$, m/min	Fire radius, $R_{\text{пож}}$, m	Fire area, $S_{\text{пож}}$ m ²
Option № 1 / 0,302	0,42	0,064	0,013
Option № 2 / 1,685	0,42	0,354	0,394

Assessment of the safe use of fire extinguishers against the effects of heat flow in a fire

Table 2 presents an assessment of the safe use of primary fire extinguishing agents for extinguishing a fire in the initial stage before the arrival of fire protection units, taking into account the impact of heat flow.

**Table 2. Definition of the safe use of fire extinguishers in a public building
(Type of load: «Office: furniture + paper (0,75 + 0,25)»)**

Option / Time of fire development, $\tau_{\text{разв.}}$ min	Linear propagation velocity, m / min	Safety Distance, $r_{\text{без.п.}}$ m
Option № 1 / 0,302	0,42	0,48
Option № 2 / 1,685	0,42	4,65

Assessment of the possibilities of using fire extinguishers

The timely supply of a sufficient amount of fire extinguishing agent (powder) determines the time of fire detection (, min) and the time of combat deployment (). The location of fire extinguishers near the entrance (exit) of the room. The height of the fire extinguishing agent supply from the fire extinguisher is ≥ 1.0 m from the floor level.

According to Appendix №1 [2] in this room there should be 2 fire extinguishers of the fire rank 2A, 55B, C, E. In accordance with paragraph 406 [2], the distance from the possible fire source to the location of the portable fire extinguisher should not exceed 20 meters - for administrative and public premises.

Table 3 shows the characteristics of fire extinguishers of fire rank 2A, 55B.

Table 3. Parameters of portable fire extinguishers of fire grade 2A, 55B

Designation of a model fire source	Mass of the extinguishing agent loaded into the fire extinguisher, kg	Length of the fire extinguishing agent jet, m, not less
2A	m = 4	3
55B	m = 4	3

The generalized results of the assessment of the possible use of primary fire extinguishing agents are presented in Table 4.

**Table 4. Determination of the possible use of fire extinguishers in the premises of a public building
(Type of load: «Office: furniture + paper (0.75 + 0.25) »)**

Option / Time of fire development, $\tau_{\text{разв.}}$ min	Safe distance, $r_{\text{без.п.}}$ m	Designation / Extinguishing area of the model hearth, class / m ²	Jet length, m	Actual distance / Maximum distance from the fire source to the location of the portable fire extinguisher, m / m	Result
Option №1 / 0,174	0,48	2A / 9,36 55B / 1,75	3	25,5 / 20	possible
Option №2 / 1,657	4,65	2A / 9,36 55B / 1,75	3	25,5 / 20	Impossible

The use of primary fire extinguishing agents (portable fire extinguisher) at the initial stage of fire development and their number in the premises of a public building, taking into account the estimated estimates, established:

- 1) the efficiency of using a portable fire extinguisher of fire grade 2A, 55B, taking into account their characteristics for both options;
- 2) the impossibility of safe use of a portable fire extinguisher of fire grade 2A, 55B, taking into account the time of fire development and the supply of OTV according to Option No. 2;
- 3) the impossibility of using portable fire extinguishers according to option No. 2, taking into account the requirements for the maximum distance specified in [2].

The developed information and analytical system for organizing the equipment of primary fire extinguishing facilities in buildings of various classes of functional fire danger in the initial stage of a fire allows us to justify the number of portable fire extinguishers, as well as their effectiveness and safety of use.

References

1. Federal Law of the Russian Federation № 123-FZ of July 22, 2008 «Technical Regulations on fire Safety requirements».
2. Resolution of the Government of the Russian Federation № 1479 of 16.09.2020 «On approval of the Rules of the fire-fighting regime in the Russian Federation».
3. Order of the Ministry of Emergency Situations of Russia of June 30, 2009 № 382 «On approval of the methodology for determining the calculated values of fire risk in buildings, structures and structures of various classes of functional fire hazard».
4. Order of the Ministry of Emergency Situations of Russia of July 10, 2009 № 404 «Methodology for determining the calculated values of fire risk at production facilities».
5. Ivannikov V.P., Klyus P.P. Handbook of the head of fire extinguishing. M.: Stroyizdat, 1987. 288 p.: ill.
6. Terebnev V.V. Handbook of the head of fire extinguishing. Tactical capabilities of fire departments. - IBS-Holding, 2005. 248 p., ill – (Fire tactics).
7. Koshmarov Yu.A. Forecasting of fire hazards in the room: A textbook. M: Academy of GPS of the Ministry of Internal Affairs of Russia, 2000. 118 p.
8. GOST 12.1.004-91*. SSBT. Fire safety. General requirements.
9. Koshmarov Yu.A., Bashkirtsev M.P.: Thermodynamics and heat transfer in fire-fighting. Textbook, VIPTSH of the Ministry of Internal Affairs of the USSR, 1987. 444 p.

621.1

THE PROBLEM OF USE THE METHOD OF FINITE DIFFERENCE FOR CALCULATION OF THE UNSTEADY HEAT CONDUCTIVITY

A.Yu. Labinskiy.

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

This article presents the problem of use the method of finite difference for calculation of the unsteady heat conductivity. The method of finite difference to realize in form the mathematical model.

Keywords: unsteady heat conductivity, method of finite difference, mathematical model

Heat transfer or heat transfer is a spontaneous irreversible process of heat propagation in space due to the temperature difference. There are three elementary methods of heat transfer: thermal conductivity, convection, and thermal radiation. Thermal conductivity is the heat transfer caused by the interaction of microparticles of parts of the same body or touching bodies with different temperatures» [1].

The set of temperature values of all points of the body at a given time is a temperature field for which the equation can be written: $T = f(x, y, z, \tau)$, where T is temperature; x, y, z are spatial coordinates; τ is time. Such an equation of the temperature field corresponds to the most general case of a three-dimensional (temperature changes in each of the three spatial coordinates), unsteady or non-stationary (temperature changes in time) temperature field.

«Simpler cases are possible [1]:

– stationary (steady-state) field, the temperature is constant in time: $T = f(x, y, z); \partial T / \partial \tau = 0$.

– two-dimensional field, the temperature changes in two coordinates: $T = f(x, y, \tau); \partial T / \partial z = 0$.

– one-dimensional field, the temperature changes in one coordinate: $T = f(x, \tau); \partial T / \partial y = 0; \partial T / \partial z = 0$;

– one-dimensional stationary field: $T = f(x); \partial T / \partial y = 0; \partial T / \partial z = 0; \partial T / \partial \tau = 0$.»

Heat transfer with thermal conductivity always occurs in the direction of decreasing temperature. To determine the amount of heat transferred per unit of time, the concepts of heat flux Q [J] and heat flux density q [W/m²] are used. Heat flow is the amount of heat transferred through an isothermal surface with an area of F . The heat flux density is the heat flux per unit area of an isothermal surface.

To transfer heat by thermal conductivity, the temperature gradient at different points of the body must be non-zero. According to Fourier's law, the amount of heat dQ passing through the surface element dF during the time $d\tau$ is proportional to the temperature gradient $\partial T / \partial n$: $dQ = -\lambda \cdot \partial T / \partial n \cdot dF \cdot d\tau$. Here λ is the coefficient of thermal conductivity [W/m / K], which characterizes the ability of a substance to conduct heat. Since $q = dQ / dF / d\tau$, so $q = -\lambda \cdot \partial T / \partial n$

The coefficient of thermal conductivity is a physical property of a substance and depends on the temperature [2]:

– for gases $\lambda = 0,005 \div 0,5$ [BT/M/K], as the temperature increases, λ increases;

– for liquids $\lambda = 0,08 \div 0,7$ [BT/M/K], with increasing temperature, λ decreases (except for water, where λ increases);

– for solids $\lambda = 0,02 \div 400,0$ [BT/M/K], with increasing temperature, λ usually decreases in pure metals and increases in alloys

For technical materials, the values of λ are given in the table [2]:

Table

Material	Density $\rho \cdot 10^{-3}$ [кг/м ³]	Thermal Conductivity λ [BT/M/K]	Heat capacity, c [кДж/кг/К]
aluminum alloy (20C/500C)	2,7	100/150	1,2
Concrete	2,0	1,3	0,84
Wood	0,55	0,15 ÷ 0,40	2,7
Brick	1,8	0,8	0,85
Foam concrete	0,36	0,1	0,8
Carbon steel (300K/1000K)	7,8	50/30	0,5
Stainless steel	7,8	30	0,5
Glass	2,5	0,8	0,8
Cast iron	7,5	30 ÷ 43	0,54

In the practice of firefighting, the calculation of non-stationary thermal conductivity is used to determine the temperature in fire barriers at a given depth at a given time in order to subsequently compare the calculated temperature with the maximum permissible temperature or to calculate the permissible time spent behind a fire barrier.

The fire-safe temperature on the wall surface is determined by the possibility of ignition of the combustible substances or materials when they come into contact with these surfaces. On non-heated surfaces of walls, partitions, floors in case of fire, the permissible temperature is assumed to be equal to 150 C [1].

Mathematical model of non-stationary thermal conductivity

The amount of heat supplied by the thermal conductivity along the x-axis to the volume element dV during the time dτ through the area F, equal to $F = dy \cdot dz$, is equal to the value: $dQ_x = q_x \cdot F \cdot d\tau$. Through the area F, the amount of heat given off can go, equal to the value $-dQ_x = -q_x \cdot F \cdot d\tau$. Then the element of the volume dV during the time dλ will accumulate $-(\partial q_x / \partial x) \cdot dx \cdot dy \cdot dz \cdot d\tau$ of heat.

Considering the heat fluxes along all the x, y, and z axes, we obtain:

$$dQ = - [(\partial q_x / \partial x) + (\partial q_y / \partial y) + (\partial q_z / \partial z)] \cdot dV \cdot d\tau.$$

According to the Fourier law:

$$q_x = -\lambda \cdot \partial T / \partial x; \quad q_y = -\lambda \cdot \partial T / \partial y; \quad q_z = -\lambda \cdot \partial T / \partial z.$$

The change in heat per unit volume over time dλ is equal to: $dQ/dV/d\tau = c \cdot \rho \cdot \partial T / \partial \tau$. Hence we have the differential Fourier-Kirchhoff heat equation:

$$c \cdot \rho \cdot \partial T / \partial \tau = [\partial / \partial x (\lambda \cdot \partial T / \partial x) + \partial / \partial y (\lambda \cdot \partial T / \partial y) + \partial / \partial z (\lambda \cdot \partial T / \partial z)] \cdot dV \cdot d\tau.$$

Here c is the heat capacity [kJ/kg/K], ρ – Density [kg/m^3].

Non-stationary thermal conductivity is observed when heating enclosing structures and equipment in a fire. The heating of a body of arbitrary shape can be described by the following equations [1]:

$$\partial T / \partial \tau = a \cdot [(\partial^2 T / \partial x^2) + (\partial^2 T / \partial y^2) + (\partial^2 T / \partial z^2)]; \quad \partial T / \partial n = -(\alpha / \lambda) \cdot \Delta T.$$

Here $\partial T / \partial n$ – temperature gradient, $a = \lambda / c \cdot \rho$ – thermal conductivity coefficient [m^2/s], α – heat transfer coefficient [$\text{W/m}^2/\text{K}$].

The solution of the problem described by the above system of two equations gives the equation of the temperature field: $T = f(\tau, x, y, z, L, a, \alpha, \lambda, \Delta T)$, where L – characteristic body size, ΔT – the temperature difference between the environment and the body. In many cases, the solution of such a problem is analytically impossible. In these cases, numerical methods are used [3].

Numerical method for solving the problem of nonstationary thermal conductivity

The finite difference method or the grid method is often used for the numerical solution of nonstationary heat conduction problems. Consider a flat wall with a thickness of δ (Fig. 1):

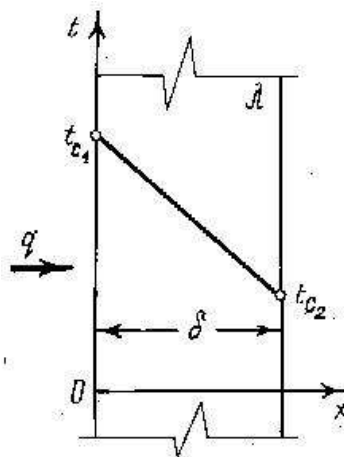


Fig. 1. Diagram of a flat homogeneous wall [1]

Stationary boundary conditions of the first and third kind can be set on the wall surface. Boundary conditions of the first kind: the temperatures on the wall surface are set t_{c1} and t_{c2} . Heat flow density $q = (\lambda / \delta) \cdot (t_{c1} - t_{c2})$.

Boundary conditions of the third kind: the temperatures of the medium on both sides of the wall are set: t_{CP1} and t_{CP2} , by the way $t_{CP1} > t_{CP2}$. The coefficients of heat transfer from the medium to the wall are also set α_1 and α_2 . Then $t_{CP1} - t_{C1} = q/\alpha_1$, $t_{C2} - t_{CP2} = q/\alpha_2$ and $t_{C1} - t_{C2} = q/(\lambda/\delta)$. From here we have: $q = k \cdot (t_{CP1} - t_{CP2})$, where $k = 1/(1/\alpha_1 + \delta/\lambda + 1/\alpha_2)$ – heat transfer coefficient [BT/M²/K]. The inverse of the heat transfer coefficient is the thermal resistance $R = 1/k = 1/\alpha_1 + \delta/\lambda + 1/\alpha_2$.

The problem of heating a flat wall under boundary conditions of the first kind consists in determining the function $t(x, \tau)$ that satisfies the equation $\partial t/\partial \tau = a \cdot \partial^2 t/\partial x^2$, the initial condition: $t(x, 0) = f_1(x)$ and the boundary conditions of the first kind: $t(0, \tau) = f_2(\tau)$; $t(\delta, \tau) = f_3(\tau)$.

We will divide the area for determining the parameters by a uniform rectangular grid (Figure 2) with a step Δx on the x axis and a step $\Delta \tau$ on the time axis τ . In this case, $\Delta x = \delta/n$ и $\Delta \tau = H/m$, where n and m are the number of steps along the wall thickness δ and over the time interval H

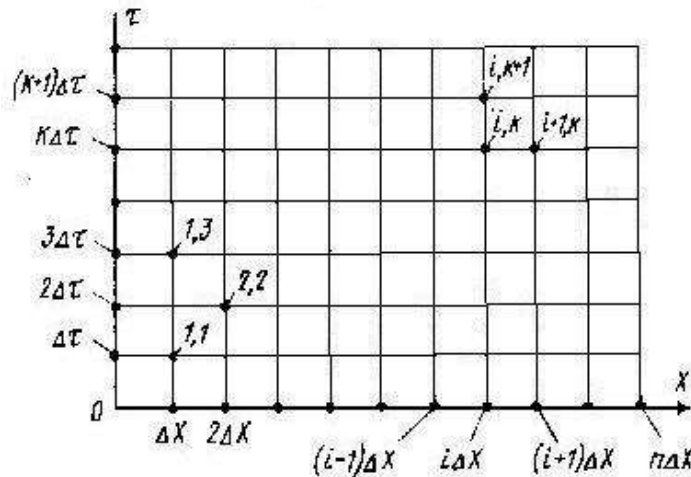


Fig. 2. Grid of the finite difference method [1]

The first time derivative can be represented in finite differences as: $\partial t/\partial \tau = (t_{i,k+1} - t_{i,k})/\Delta \tau$, and the second derivative of the coordinate can be represented as follows: $\partial^2 t/\partial x^2 = (t_{i-1,k} - 2 \cdot t_{i,k} + t_{i+1,k})/\Delta x^2$.

Then the equation $\partial t/\partial \tau = a \cdot \partial^2 t/\partial x^2$ can be represented as follows [1]:

$t_{i,k+1} = (a \cdot \Delta \tau)/\Delta x^2 \cdot [t_{i-1,k} + t_{i+1,k} + (\Delta x^2/(a \cdot \Delta \tau) - 2) \cdot t_{i,k}]$ – grid equation or difference scheme. " This equation allows you to calculate the temperature value at all n points on the x -axis for the moment of time $\tau_{k+1} = (k+1) \cdot \Delta \tau$, if the temperature values at these points are known at the previous moment of time τ_k .

This difference scheme is stable (errors do not increase with increasing τ), if the condition is met: $\Delta x^2/(a \cdot \Delta \tau) \geq 2$. If $\Delta x^2/(a \cdot \Delta \tau) = 2$, then the grid equation is greatly simplified: $t_{i,k+1} = (t_{i-1,k} + t_{i+1,k})/2$ [1].

Suppose that under fire conditions, the temperature of the left wall surface (the boundary condition of the first kind $t(0, \tau) = f_2(\tau)$) changes according to the law shown in Fig. 3.

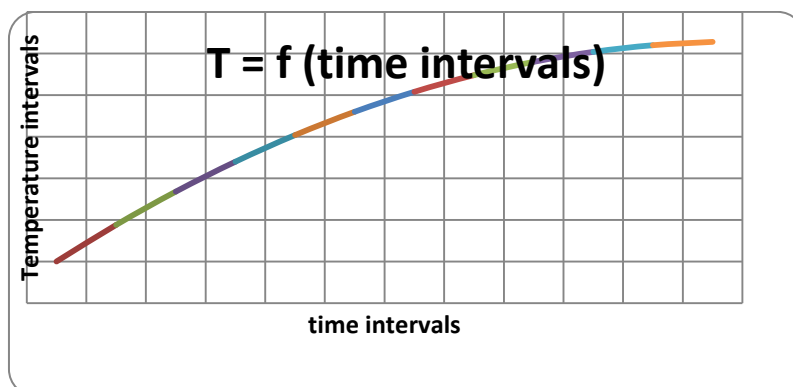


Fig. 3. Graph of changes in the wall surface temperature over time

On the right surface of the wall, the temperature at the initial time is 20 C. To calculate the temperature change over the wall thickness, we use a grid equation (difference scheme) under the initial condition: $t(x, 0) = f_1(x)$ and boundary conditions of the first kind: $t(0, \tau) = f_2(\tau)$; $t(\delta, \tau) = f_3(\tau)$.

We fix the temperature distribution over the wall thickness during the development of the fire at the time points corresponding to the temperature on the left surface, equal to the values of 100 C, 150 C, 200 C, 300 C and 500 C. The graph of the temperature distribution over the wall thickness, divided into 10 sections, is shown in Fig. 4:

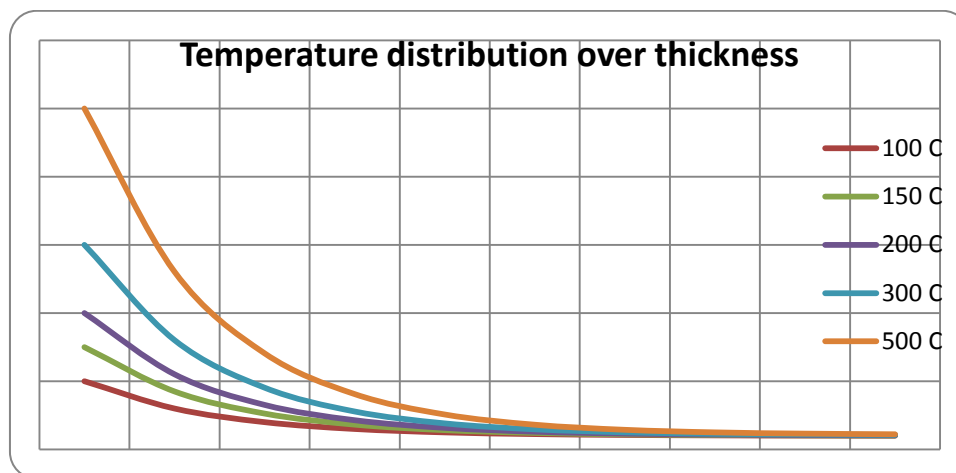


Fig. 4. Temperature distribution over the wall thickness

The calculation was carried out using the simplified dependence $t_{i, k+1} = (t_{i-1, k} + t_{i+1, k})/2$, since it was assumed that $\Delta x^2 / (a \cdot \Delta \tau) \approx 2$.

At the same time, the calculation procedure is significantly simplified, but the error increases. Due to the significant calculation error, the presented graph reflects only a qualitative picture of the temperature distribution over the wall thickness.

The advantage of the finite difference method is the ability to calculate the temperature field when the boundary conditions change over time according to any laws [1].

Conclusion

A mathematical model of nonstationary thermal conductivity and a numerical finite difference method for solving the problem of nonstationary thermal conductivity are considered. The calculations of the temperature field at a temperature change in the range from 100 C to 500 C on the wall surface from the fire side were performed, which allowed us to present a qualitative picture of the temperature distribution over the wall thickness in graphical form.

References

1. Koshmarov Yu.A. Teplotekhnika. M.: IC «Akademkniga», 2007.
2. Kuhling Kh. Handbook of Physics. St. Petersburg: Piter, 2008.
3. Labinsky A. Yu. Modeling of the process of non-stationary heat transfer-news by the method of heat balance // Supervisory activity and forensic examination in the security system. 2019. № 4.

ANALYTICAL METHODS FOR PREDICTING THE DEFORMATION OF STRUCTURAL ELEMENTS OF VENTILATION DUCTS IN FIRE CONDITIONS

A.A. Kuzmin; A.A. Kuzmin; T.A. Kuzmina.

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

It is proposed to use the calculation using the stress function in the form of a polynomial to estimate the elongation of the shaped sheet in fire conditions, as the main structural element of the ventilation channel. Calculations of the same sheet by the finite element method, the traditional method of material resistance, and using the stress function in the form of a polynomial are presented. It is shown that the proposed approach can be used to perform practical calculations and as test tasks when using numerical methods.

Keywords: shaped sheet, variable cross-section, stress function, stiffness, deformation, test problem

Steel sheets of variable cross-section are widely used in various construction and technological structures, form the basis of ventilation channels and smoke removal systems. They connect knots, extensions, and other structural elements. Insufficient rigidity of at least one part can lead to breakage or damage to the electrical wiring, gas pipeline and other communications. It is particularly difficult to predict the behavior of such structural elements in the conditions of a fire that has already started.

As a rule, when designing large objects, strength calculations are performed both numerically and analytically. If the results agree, a test experiment should be performed. Among the numerical methods, the well-established finite element method is widely used. Numerous programs and computer systems successfully work on its basis. Much work is also being done in the search for new analytical solutions. So in [1] it is proposed to use the equations of the theory of elasticity of a higher order than the classical ones. In [2], the behavior of heterogeneous materials is modeled. In [3], a solution is given for the stress-strain state of the plate, taking into account plastic deformations. The use of modern calculation methods provides high mathematical accuracy, but it should be taken into account that the thickness tolerance for sheet steel of 5 mm exceeds 0.5 mm, i.e. 10 % [4]. A certain error in the calculation results is caused by the spread in the estimation of the operating loads and temperatures. Therefore, the task of a relatively simple (allowing you to make corrections and reserve coefficients) calculation of deformations of the shaped sheet is relevant.

Here, to estimate the elongation of the shaped sheet, which is the main structural element of the ventilation channel, it is proposed to use the calculation using the stress function in the form of a polynomial. The Gorenje solution is proposed to be used as a test problem for calculating the possible consequences of exposure to combustion products on the ventilation ducts by numerical methods.

Below is an example of calculating a ventilation duct part. The sheet shown in the figure is 1.5 mm thick and has dimensions of $2\ell = 1000$ mm, $A = 30$ mm². A force of $F = 3$ kN acts on the sheet (by the type of loading of the rod) and it is made of St steel.3 ($E = 2 \times 10^5$ MPa; $[\sigma] = 160$ MPa). You need to check the sheet for strength and rigidity and plot the stress and displacement diagrams. This problem can be solved by methods of material resistance, numerically, and by methods of elasticity theory using the stress function φ .

Consider the latter method. We choose the stress function in the form of a second-order polynomial. As already noted, when choosing a second-order polynomial, the stress function has the form:

$$\varphi_2 = \frac{a_2}{2} x^2 + b_2 xy + \frac{c_2}{2} y^2.$$

In general, the voltages will take the following values:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sigma_x = \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} = c_2; \\ \sigma_y = \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} = a_2; \\ \tau_{xy} = -\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial \varphi}{\partial y} \right) = -b_2. \end{array} \right.$$

Since there are no forces other than longitudinal ones, and it is also obvious that at $y=0$ there are no tangential stresses, it is appropriate to take $a_2=b_2=0$, so at any point only the stresses $\sigma_x = c_2$ will act, i.e. we will get the problem of stretching a rod of constant cross-section. As this constant cross-section, it is appropriate to choose the median area $A_2=60 \text{ m}^2$, then the tensile stress will be:

$$\sigma_x = \frac{F}{A_{cp}} = \frac{3 \cdot 10^3}{60} = 50 \frac{\text{H}}{\text{mm}^2}.$$

Since $\varepsilon=dU/dx$, the total elongation is determined by the formula:

$$U = \int_0^{2l} \varepsilon_x dx = \frac{1}{E} \int_0^{2l} \sigma_x dx = \frac{2Fl}{EA_{cp}} = 0,25 \text{ mm}.$$

The displacement of the median section in this case will be:

$$U = \int_0^l \varepsilon_x dx = \frac{Fl}{EA_{cp}} = 0,125 \text{ mm}.$$

Consider the stress function in the form of a polynomial of the 3rd degree:

$$\varphi_3 = \frac{a_3}{2 \cdot 3} x^3 + \frac{b_3}{2} x^2 y + \frac{c_3}{2} xy^2 + \frac{d_3}{2 \cdot 3} y^3.$$

In general, the stresses will be determined by the equations of the system:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sigma_x = \frac{\partial^2 \varphi_3}{\partial y^2} = c_3 x + d_3 y; \\ \sigma_y = \frac{\partial^2 \varphi_3}{\partial x^2} = a_3 x + b_3 y; \\ \tau_{xy} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial \varphi_3}{\partial y} \right) = -b_3 x - c_3 y. \end{array} \right.$$

If all coefficients except c_3 are assumed to be equal to 0, then taking into account the stress function in the form of a polynomial of the 2nd order, based on the principle of superposition, the stresses will be determined by the equations of the system:

$$\begin{cases} \sigma_x = c_2 + c_3 x; \\ \tau_{xy} = -c_3 y. \end{cases}$$

Such an expression corresponds exactly to the representation of the stress function as the sum of the polynomials of the 2nd and 3rd orders. It should be noted that in this case, tangential stresses can be neglected due to the smallness of the angle (Figure), the tangent of which is 0.02. Otherwise, it is necessary to solve the plane problem of the theory of elasticity. The coefficients c_2 and c_3 are determined from the conditions (1) and (2):

$$x=0 \quad \sigma_x = \frac{F}{3A} = \frac{3 \cdot 10^3}{90} = 33,33 \frac{H}{MM^2}, \quad (1)$$

$$x=1000 \text{ MM} \quad \sigma_x = \frac{F}{A} = \frac{3 \cdot 10^3}{30} = 100 \frac{H}{MM^2}. \quad (2)$$

Solving a system of equations:

$$\begin{cases} c_2 = 33,33; \\ c_3 \cdot 10^3 + c_2 = 10. \end{cases}$$

defining the value $c_3=0,06667$, from

$$\sigma_x = 33,33 + 66,67 \cdot 10^{-3} x.$$

According to the well-known formula, we determine the movement of the median section:

$$\begin{aligned} U &= \int_0^L \varepsilon_x dx = \frac{1}{E} \int_0^L (c_2 + c_3 x) dx = \frac{1}{E} (c_2 x + \frac{c_3 x^2}{2}) = \\ &= \frac{c_2 l + c_3 l^2 / 2}{E} = 0,125 \text{ MM}. \end{aligned}$$

Similarly, we define the movement of the free end:

$$U = \frac{1}{E} [c_2 2l + \frac{c_3 (2l)^2}{2}] = 0,333 \text{ MM}.$$

When choosing a polynomial of the 4th degree, the stress function has the form:

$$\varphi_4 = \frac{a_4}{4 \cdot 3} x^4 + \frac{b_4}{3 \cdot 2} x^3 y + \frac{c_4}{2} x^2 y^2 + \frac{d_4}{2 \cdot 3} xy^3 + \frac{e_4}{4 \cdot 3} y^4.$$

At the same time, the coefficients c_4 и a_4 are subject to restrictions [5]: $e_4 = -(c_4 + a_4)$, there are no restrictions on the other coefficients. Taking into account the introduced restrictions, the stresses in the general case will be determined by the equations of the system (16):

$$\left\{ \begin{array}{l} \sigma_x = \frac{\partial^2 \varphi_4}{\partial y^2} = c_4 x^2 + d_4 xy - (2c_4 + a_4) y^2; \\ \sigma_y = \frac{\partial^2 \varphi_4}{\partial x^2} = c_4 x^2 + d_4 xy - (2c_4 + a_4) y^2; \\ \tau_{xy} = -\frac{\partial^2 \varphi_4}{\partial x \partial y} = -\frac{b_4 x^2}{2} - 2c_4 xy - d_4 y^2. \end{array} \right\}$$

If we take $b_4 = d_4 = 0$, then the system of equations for determining the stresses will take the form:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sigma_x = \frac{\partial^2 \varphi_4}{\partial y^2} = c_4 x^2 - (2c_4 + a_4) y^2; \\ \sigma_y = \frac{\partial^2 \varphi_4}{\partial x^2} = a_4 x^2 + c_4 y^2; \\ \tau_{xy} = -\frac{\partial^2 \varphi_4}{\partial x \partial y} = -2c_4 xy. \end{array} \right\}$$

In [6], it is shown that when calculating rods of variable cross-section, similar to the one shown in the figure, there are dependencies (3) and (4):

$$\tau_{xy} = \sigma_x \cdot \operatorname{tg} \gamma; \quad (3)$$

$$\sigma_e = \sigma_x \cdot \operatorname{tg}^2 \gamma. \quad (4)$$

Since in the case under consideration $\gamma = 0.02$, i.e. the value of the 2nd order of smallness, tangential and transverse stresses can be neglected. Then, in accordance with the principle of superposition and taking into account the variants of the stress function in the form of polynomials of the 2nd and 3rd orders, the equation for determining the tensile stresses will take the form:

$$\sigma_x = c_2 + c_3 \cdot x + c_4 \cdot x^2,$$

$$x=0 \quad \sigma_x = c_2 = 33,33 \text{ МПа}; \quad x=l \quad \sigma_x = 50 \text{ МПа}, \quad x=2 \cdot l \quad \sigma_x = 100 \text{ МПа}$$

Unknown c_3 and c_4 are determined by the solution of the system:

$$\left\{ \begin{array}{l} 50 = 33,33 + c_3 \cdot l + c_4 \cdot l^2; \\ 100 = 33,33 + 2 \cdot c_3 \cdot l + 4 \cdot c_4 \cdot l^2. \end{array} \right\}$$

The solution of the system gives the following results: $c_3 = 0$; $c_4 = 0,667 \cdot 10^{-4}$

Taking into account the obtained values of the coefficients, the displacement of the median section will be:

$$U = \frac{c_2 \cdot l + \frac{c_4 \cdot l^3}{3}}{E} = 0,097 \text{ мм},$$

Moving the free end will be:

$$U = \frac{c_2 \cdot 2 \cdot l + \frac{c_4 \cdot (2 \cdot l)^3}{3}}{E} = 0,2775 \text{ мм}.$$

Based on the results of the calculations, a displacement plot was constructed, shown in the figure (curve 2). In the classical course of resistance of materials, the elongation of a rod loaded with longitudinal forces is determined by the formula [7]:

$$\Delta l = \int_0^l \frac{N dx}{EA} \quad (5)$$

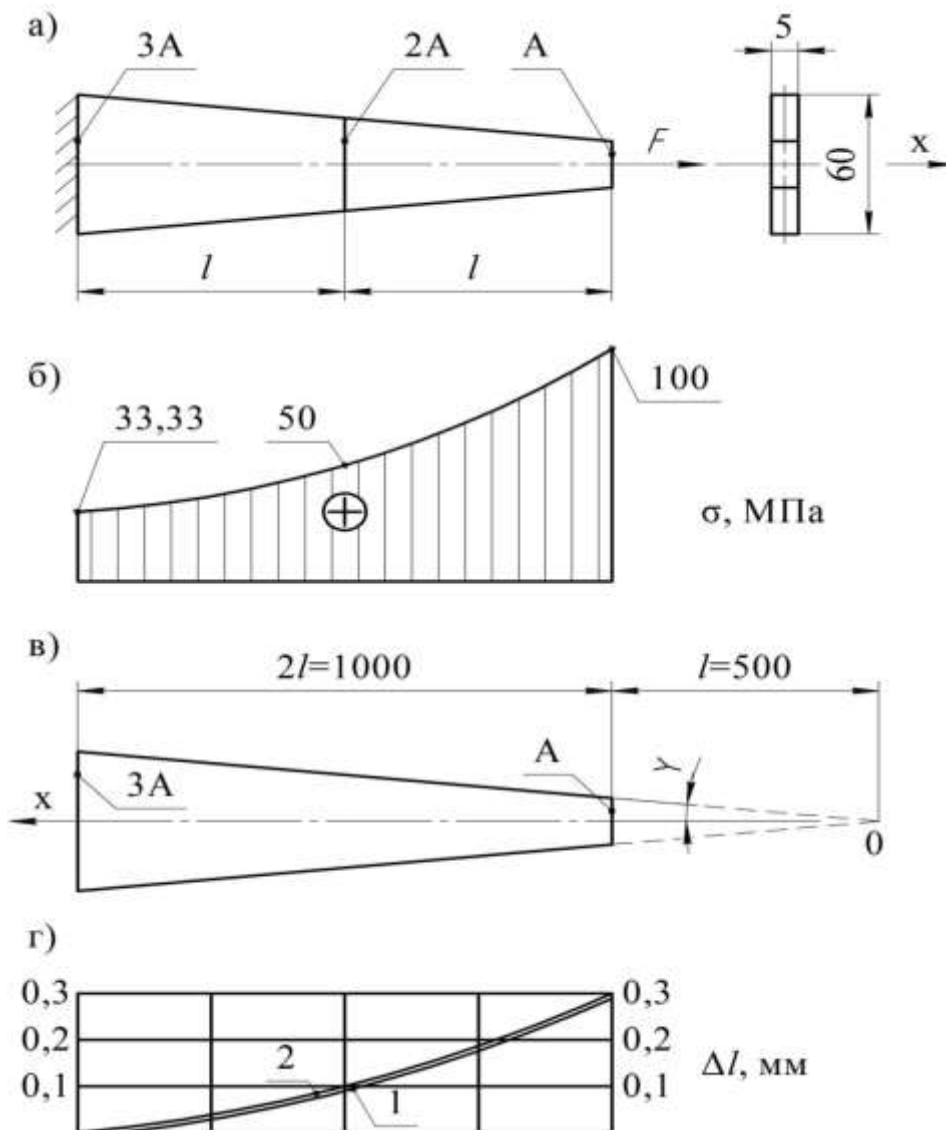


Fig. Design diagram of a rod of variable cross-section. a-rod, b - stress plot, c-graphical description of the dependence of the cross-sectional area on the x coordinate, d-displacement plot

Since the sheet is made of a single material and a single constant force acts on it, the presented formula (5) is converted to the form:

$$\Delta l = \frac{N}{E} \int_0^l \frac{dx}{A(x)}$$

For the convenience of an analytical description of the dependence of the cross-sectional area A on the coordinate of the abscissa, we present the rod (figure, figure a) in the form (figure, figure b), taking the point O as the origin. Obviously, the area of an arbitrary cross-section of the rod is defined as $A(x) = 0.06x$, then the total elongation of the rod:

$$\Delta l = \frac{N}{0,06 \cdot E} \cdot \int_l^{3l} \frac{dx}{x} = \frac{N}{0,06 \cdot E} [\ln(3l) - \ln(l)]$$

which in numerical terms is:

$$\begin{aligned} \Delta l &= \frac{3 \cdot 10^3}{0,06 \cdot 2 \cdot 10^5} [\ln(1500) - \ln(500)] = \\ &= 2,5 \cdot 10^{-1} (7,31 - 6,21) = 0,275 \text{ мм} \end{aligned}$$

Comparing the results of the calculation with the two methods given above, it can be seen that with an increase in the degree of the polynomial, the result of the solution in the first way tends to «classical» (curve 1), but for the completeness of the analysis, experimental confirmation is necessary. A numerical experiment was also carried out with the breakdown of the sheet into two and four finite elements. The total elongation in this case was 0,267 and 0,2726 mm, respectively, i.e., with an increase in the finite elements, the solution tends to «classical».

Based on the calculations performed and the numerical experiment carried out, it can be concluded that the use of polynomials as a mathematical model gives results close to theoretical solutions. The proposed approach can also be used to compile text problems when analyzing the operation of structural elements of ventilation ducts of a more complex geometric shape in fire conditions.

References

1. Vasiliev V.V., Lurie S.A. Generalized theory of elasticity // Izv. Wounds. MTT. 2015. № 4. Pp. 16–27.
2. Lomakin E.V., Fedulov B.N. Stretching strip weakened by a cut with a circular base, in the conditions of plane deformation of the material depends on the stress state properties // Izv. Wounds. MTT. 2013. № 4. Pp. 80–87.
3. Kovalev V.A., Rusin, E.Yu., Yakovlev A.Yu. On the mechanical interaction of elements of a thin elastic-plastic structure // Bulletin of the I.Ya. Yakovlev CHPSU. 2017. № 1 (31) P. 3–14.
4. GOST 19903-2015 Hot-rolled sheet products. M.; Assortment. Standartinform, 2016.
5. Timoshenko S.P. Theory of elasticity: textbook for universities M.: Nauka, 1975. 576.
6. Bezukhov N.I. Examples and problems in the theory of elasticity, plasticity and creep: a textbook for universities. M., Vysshaya SHKOLA, 1965. 320 p.
7. Feodosyev V.I. Resistance of materials: textbook for universities: 11th ed., ster. M.: Bauman, 2003. 591 p.

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Voloshenko Alexander Yuryevich – Professor of the Department of Supervision. deyat. Academy of GPS of the Ministry of Emergency Situations of Russia (1293114, Moscow, Boris Galushkin str., 4), e-mail: volax84@mail.ru;

Kuznetsova Yana Mikhailovna – Master's student of the St. Petersburg State University of the Ministry of Emergency Situations of Russia (196105, St. Petersburg, Moskovsky ave., 149);

Kuzmin Alexander Alekseevich – Associate Professor of the Mechanics Department of St. Petersburg State Technol. in-ta (tech. un-ta) (190013, Saint Petersburg, Moskovsky ave., 26), e-mail: alexkuzmin@lenta.ru, candidate of technical sciences;

Kuzmin Anatoly Alekseevich – Associate Professor of the Department of Physics and Technology. basic fire safety. Saint-Petersburg State Department of the Ministry of Emergency Situations of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky Ave., 149), candidate of pedagogical sciences, associate professor;

Kuzmina Tatyana Anatolyevna – Associate Professor of the Department of Supervision. deyat. Saint-Petersburg Un-ta SBS EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), e-mail: kuzmina@igps.ru, candidate of pedagogical sciences;

Labinsky Alexander Yuryevich – Associate Professor of the Department of Applied Mathematics and Information Technology of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovskiy, 149) e-mail: labinskyi.a@igps.ru, candidate of technical science, associate professor;

Lobaev Igor Alexandrovich – Professor of the Department of Supervision. deyat. Academy of GPS of the Ministry of Emergency Situations of Russia (, 129311, Moscow, Boris Galushkin str., 4.), e-mail: ialobaev@yandex.ru, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;

Uvarov Igor Alexandrovich - art.Sci. employee of the NIO OND UNK OND of the Academy of GPS of the Ministry of Emergency Situations of Russia (129311, Moscow, Boris Galushkin str., 4.), e-mail: igor_uvarov@mail.ru;

Fomin Alexander Viktorovich – prof. of the Department of Supervision. deyat. Saint-Petersburg State Emergency Service of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), e-mail: fom-deg@ya.ru, candidate of technical sciences, professor, honored worker of higher education of the Russian Federation;

Yatsenko Larisa Anatolyevna – leading research worker of Scientific Research Institute of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Sankt-Peterburg, Oktyabr'skaya 35), e-mail: yatsenko-la@mail.ru, candidate of chemical science;



SUMMARY OF INFORMATION

The oldest educational institute of fire and technical specialization was established in 1906 October 18th, when based on the decision of City Council of Saint-Petersburg courses of fire engineer started the work. Along with training of specialists the institute was responsible for correlation and systematization of fire and technical knowledges and creation of new special discipline. There were published first national textbooks which were used for all Russian firefighters training.

For Century University history more than 30 000 specialists were trained which had higher professional level and unlimited loyalty to work of firefighters and oath loyalty. As result huge quantity of officers and graduates of the institute who got a higher reward from the country such as: knights of Saint George's Cross, four heroes of Soviet Union and one hero of Russian Federation. It is not accident that there are many graduates among head staff of fire service of our country.

Nowadays Saint-Petersburg University of State Fire Service of Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergency Situations and the Rectification of the Consequences of Natural Disasters is modern scientific and educational complex integrated in world scientific and educational. The University provides studying of secondary and high, post graduates students, retraining of specialists more than for 30 staff categories using systems of classroom studying and distance.

Chief of the University – Doctor of Technical Sciences, Docent General-the Major of internal service Gavkalyk Bogdan Vasilyevich.

The main direction of activity of the university is training of specialists in the specialty «Fire safety», and at the same time training is organized for other specialties that are in demand in the EMERCOM system. They are specialists in the field of system analysis and management, higher mathematics, legislative support and legal regulation of EMERCOM of Russia, psychology of risk and emergency situations, budgetary accounting and audit in EMERCOM divisions, fire-technical expertise and inquiry. Innovative training programs included training specialists in the specialization «Managing of rescue operations of special risk» and «Carrying out emergency humanitarian operations» with knowledge of foreign languages, as well as training specialists for paramilitary mine-rescue units in the specialties «Mining» and «Technological safety and mine rescue».

The breadth of scientific interests, high professionalism, extensive experience in scientific and pedagogical activity, possession of modern methods of scientific research allow the university staff to multiply the scientific and scientific-pedagogical potential of the university, ensure continuity and succession of the educational process. Today, 1 Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, 5 Honored Scientists of the Russian Federation, 13 Honored Workers of the Higher School of the Russian Federation, 2 Honored Lawyers of the Russian Federation, Honored Inventors of the Russian Federation and the USSR transfer their knowledge and vast experience to the university. The preparation of highly qualified specialists is currently carried out at the University by 4 laureates of the Government of the Russian Federation Prize in the field of science and technology, 42 doctors of science, 228 candidates of sciences, 63 professors, 155 associate professors, 20 academicians of branch academies, 11 corresponding members of branch academies, 6 senior researchers, 8 Honored Workers of Higher Professional Education of the Russian Federation, 1 Honorary Worker of Science and Technology of the Russian Federation, 2 Honorary Radio Operators of the Russian Federation and 2 Honorary Workers of General Education of the Russian Federation.

University consists of:

- Institute for Advanced Professional Education;
- Institute of distance education;
- Institute of Life Safety.

Three faculties:

- Engineers;
- Economics and law;
- Training and retraining of scientific and pedagogical staff.

In the university are created:

- An educational center;
- Centre for Scientific Research Organization;
- Center for Information Technology and Systems;
- Educational and scientific center of engineering and technical expertise;
- Distance Learning Center;
- Expert Center;

- Industrial park of science and innovation;
- Center for international cooperation and information policy;
- Science and innovative technologies park.

The University has representations in the cities of Vyborg (Leningrad region), Petrozavodsk, Strezhevoy (Tomsk region), Khabarovsk, Syktyvkar, Burgas (Republic of Bulgaria), Almaty (Republic of Kazakhstan), Bar (Republic of Montenegro), Baku (Azerbaijan), Nis (Serbia), Sevastopol, Pyatigorsk.

At the university in 31 areas of training more than 8000 people studies. The annual class of graduates is more than 1550 specialists.

One dissertational council for defending dissertations for the academic degree of a doctor and candidate of science in technical sciences operates at the university. In order to improve scientific activity, 12 research laboratories have been established at the university.

Annually, the University conducts international scientific-practical conferences, seminars and round tables on a wide range of theoretical and applied scientific problems, including the development of a system for preventing, eliminating and reducing the consequences of natural and man-made emergencies, improving the organization of interaction between various administrative structures in conditions of extreme situations, etc.

Among them: the All-Russian Scientific and Practical Conference «Security Service in Russia: Experience, Problems and Perspectives», International Scientific and Practical Conference «Training of Personnel in the System of Prevention and Elimination of Consequences of Emergencies», Forum of the EMERCOM of Russia and public organizations «Society for Security», All-Russian Scientific and Practical Conference «The Arctic – the Territory of Security. Development of providing of complex security system for the Arctic zone of the Russian Federation».

On the basis of the university, joint scientific conferences and meetings were held by the Government of the Leningrad Region, the Federal Service of the Russian Federation for the Control of the Traffic of Drugs and Psychotropic Substances, the Scientific and Technical Council of the EMERCOM of Russia, the Northwest Regional Center of the EMERCOM of Russia, The International Technical Committee for the Prevention and Extinction of Fire (CTIF), Legislative Assembly of the Leningrad Region.

The University annually takes part in exhibitions organized by the EMERCOM of Russia and other departments. Traditionally, the University stands at the annual International exhibition «Integrated Security» and the International Forum «Security and Safety» SFITEX enjoys great interest.

Saint-Petersburg University of State Fire Service of EMERCOM of Russia has been cooperating with the State Hermitage for several years in the field of innovative projects on fire safety of cultural heritage sites.

During the teaching of specialists in the University, advanced domestic and foreign experience is widely used. The university maintains close ties with the educational and research institutions and structural subdivisions of the fire and rescue profile of Azerbaijan, Belarus, Bulgaria, Great Britain, Germany, Kazakhstan, Canada, China, Korea, Serbia, Montenegro, Slovakia, USA, Ukraine, Finland, France, Estonia and other states.

The university is a member of the International Association of Fire and Rescue Services (CTIF), which unites more than 50 countries around the world.

In the framework of international activities, the university actively cooperates with international organizations in the field of security.

In cooperation with the International Civil Defense Organization (ICDO) Saint-Petersburg University of State Fire Service of EMERCOM of Russia organized and conducted seminars for foreign experts (from Moldova, Nigeria, Armenia, Sudan, Jordan, Bahrain, Azerbaijan, Mongolia and other countries) for expert evaluation of fire, ensure the safety of oil facilities, the design of fire extinguishing systems. In addition, University staff participated in conferences and seminars conducted by ICDO in the territory of other countries. Nowadays five programs on technosphere safety in English have been developed for representatives of the ICDO.

One of the key directions of the University's work is participation in the scientific project of the Council of the Baltic Sea States (CBSS). The University participated in the project 14.3, namely in the direction C – «Macro-regional risk scenarios, analysis of hazards and gaps in the legislation» as a full-fledged partner. At present, work is underway to create a new joint project within the framework of the CBSS.

A lot of work is underway to attract foreign citizens to study. Representative offices have been opened in five foreign countries (Bulgaria, Montenegro, Kazakhstan, Azerbaijan, and Serbia).

Nowadays, more than 200 citizens from 8 foreign countries study at the university.

Cooperation agreements have been concluded with more than 20 foreign educational institutions, including the Higher Technical School in Novi Sad and the University of Nis (Serbia), the Fire Academy of Hamburg (Germany), the College of Fire and Rescue Service in Kuopio (Finland), Kokshetau Technical

Institute of the EMERCOM of the Republic of Kazakhstan and many others. The training in Harvard University for university's representatives has been organized using training program for safety leaders qualification increasing.

In virtue of intergovernmental agreements, Ministries of Emergency Situations of the Kyrgyz Republic and the Republic of Kazakhstan staff is provided with a training at the university.

Over the years, the university has trained more than 1 000 specialists for fire protection in Afghanistan, Bulgaria, Hungary, Vietnam, Guinea-Bissau, Korea, Cuba, Mongolia, Yemen and other foreign countries.

The training under the program of additional professional education «Translator in the field of professional communication» was organized for students, cadets, adjuncts and employees.

The monthly information-analytical packet and analytical reviews on fire and rescue topics of the Center for international cooperation and information policy is published. University website is translated into English and constantly updated.

The University's computer park is more than 1400 units, united in a local network. Computer classes allow students to work in the international computer network Internet. With the help of the Internet, access to Russian and international information sites is provided, which makes it possible to significantly expand the possibilities of the educational, teaching, methodological and scientific-methodical process. The necessary regulatory information is in the database of computer classes provided with the full version of the programs «Consultant Plus», «Garant», «Legislation of Russia», «Fire Safety». For information support of educational activities in the university there is a unified local network.

Increasing multiplicity and complexity of modern tasks significantly increase the requirements for the organization of the educational process. Nowadays the University use distance-studying technologies.

The university library corresponds to all modern requirements. The fund of the University's library accounts more than 359 thousand numbers of literature on all branches of knowledge. The library's funds have information support and are united into a single local network. All processes are automated. The library program «Irbis» is installed. The library provides electronic book loan. This makes it possible to bring the book to user as soon as possible.

Reading rooms of the library are equipped with computers with Internet access and a local network of the university. The Electronic Library has been created and is functioning; it is integrated with the electronic catalog.

2/3 of the educational and scientific foundation was digitized in the Electronic Library. The following libraries are connected to the electronic library: a branch in Zheleznogorsk and a library of the Vytegra training and rescue center, as well as training centers. There is access to the largest libraries of our country and the world (BN Yeltsin Presidential Library, Russian National Library, Russian State Library, Library of the Academy of Sciences, Library of Congress). A contract was concluded with EBS IPRbooks for the using and viewing of educational and scientific literature in electronic form.

The library has more than 150 copies of rare and valuable publications. The library has a rich fund of periodicals, their number is 8121 copies. In 2017, in accordance with the requirements of the state educational standard, 80 titles of magazines and newspapers were issued. All incoming periodicals are signed by a bibliographer for electronic catalogs and card files. Publications of periodicals are actively used by readers in educational and research activities. Also, 3 foreign journals are issued.

On the basis of the library, a professorial library and a professorial club of the university were established.

The Polygraphist Center of the University is equipped with modern printing equipment for full-color printing, which allows providing orders for printed products of the University, as well as a plan for publishing activities of the Ministry. The University publishes 7 scientific journals, publishes materials of a number of International and All-Russian scientific conferences, packet of scientific works of the faculty of the university. The University's editions comply with the requirements of the legislation of the Russian Federation and are included in the electronic database of the Scientific Electronic Library to determine the Russian Scientific Citation Index, and also have an international index. The scientific and analytical journal «Problems of risk management in the technosphere» and the electronic scientific and analytical journal «Bulletin of the St. Petersburg University of the State Fire Service of the EMERCOM of Russia» are included in the list of peer-reviewed scientific journals approved by the decision of the Higher Attestation Commission, in which the main scientific results of dissertations should be published for the degree of candidate of sciences, for the degree of Doctor of Sciences.

All cadets of the university are trained in the initial training programs for rescuers and firefighters. The training takes place on the basis of the Vytegra Training and Rescue Center, a branch of the North-West regional search-and-rescue detachment of the EMERCOM of Russia; The rescue training center of the Baikal

search and rescue team, located in the settlement of Nikola near Lake Baikal; 40th Russian Rescue Training Center; 179th Rescue Center in Noginsk; Center for the training of rescuers «Krasnaya Polyana» of the Southern Regional search and rescue team of the. On July 1, 2013, the Center for the Education of Cadets was established on the basis of the St. Petersburg's University of the State Fire Service of the EMERCOM of Russia.

The main goals of the Center's activities are intellectual, cultural, physical and the spiritual and moral development of the Cadets, their life adaptation in society, the creation of the preparation basis of minors to serve the Fatherland in the field of state civil, military, law enforcement and municipal service.

The Center implements the training of cadets in general secondary education programs, taking into account additional educational programs.

The university pays great attention to sports. Teams consisting of teachers, cadets and listeners are regular participants of various sports tournaments, held both in Russia and abroad. Students and cadets of the university are members of the teams of the Ministry of Emergencies of Russia in various sports. Students and cadets of the university are members of the EMERCOM teams in various sports.

Sport club «Nevskiy Lions» was organized which includes professional fire and rescue sport teams, also includes ice hockey, volleyball, basketball, American football teams and other different kinds of strength sport.

Cadets and students have opportunity to develop their cultural standards and their creative capacity in the Institute of Arts. Cadets and students actively take a part in games of the club of humor between Emercom units, annual professional and art competitions «Miss Emercom», «The best club», «The best museum» and also musical competition of firefighters and rescuers «Melodies of sensitive hearts».

All necessary conditions for training higher educated specialists for fire and rescue service of Emercom of Russia were created in the Saint-Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia.



ФГБОУ ВО МЧС России
«Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы»
EMERCOM of Russia
FSBEI HPE «Saint-Petersburg university of State fire service»

Научно-аналитический журнал
Scientific and analytical magazine

Надзорная деятельность и судебная экспертиза
в системе безопасности
Monitoring and expertise in safety system

№ 2 – 2021

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

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

Подписано в печать 25.06.2021. Формат 60×84_{1/8}. Усл.-печ. 14,75 п.л. Тираж 1000 экз.
Passed for printing 25.06.2021. . Format 60×84_{1/8}. Tentative printed sheets 14,75. Circulation 1000 copies.

Отпечатано в Санкт-Петербургском университете ГПС МЧС России
196105, Санкт-Петербург, Московский проспект, д. 149.
Printed in Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia
196105, Saint-Petersburg, Moskovsky prospect, № 149.