

*Управление в социальных и
экономических системах*

*Математическое моделирование,
численные методы и комплексы
программ*

*Системы автоматизации
проектирования*

*Автоматизация и управление
технологическими процессами и
производствами*

*Методы и системы защиты
информации*

Транспорт

Управление процессами перевозок

*Эксплуатация автомобильного,
воздушного, водного транспорта*

*Строительные конструкции, здания и
сооружения*

*Основания и фундаменты, подземные
сооружения*

Строительные материалы и изделия

*Гидравлика и инженерная
гидрология*

Строительная механика

*Экологическая безопасность
строительства и городского
хозяйства*

*Технология и организация
строительства*

Архитектура зданий и сооружений

Безопасность деятельности человека

Охрана труда

*Безопасность в чрезвычайных
ситуациях*

*Пожарная и промышленная
безопасность*

Ядерная и радиационная безопасность

*Химическая, биологическая и
бактериологическая безопасность*

ISSN 2226-700X

Министерство Российской Федерации
по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям
и ликвидации последствий стихийных бедствий

Вестник Воронежского института ГПС МЧС России

Журнал включен в
«Перечень рецензируемых научных изданий,
в которых должны быть опубликованы основные научные
результаты диссертаций
на соискание ученой степени кандидата наук,
на соискание ученой степени доктора наук ВАК при
Минобрнауки России»

№ 2 (23), 2017



Вестник Воронежского института ГПС МЧС России

Научный журнал

Издается с 2011 года

Выходит 4 раза в год

Учредитель и издатель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский институт Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий». Территория распространения — Российская Федерация.

Журнал индексируется в Научной электронной библиотеке eLIBRARY.RU / РИНЦ (Россия), Международном каталоге периодических изданий «Ulrich's Periodicals Directory» (США), размещается на платформе научной электронной библиотеки «КиберЛенинка» (Россия).

Журнал включен в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук

Перепечатка без разрешения редакции запрещена, ссылки на журнал при цитировании обязательны.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор: Калач Андрей Владимирович, д-р хим. наук, профессор,
Воронежский институт ГПС МЧС России (Россия, г. Воронеж)

Члены редколлегии:

Андронов Владимир Анатольевич, д-р техн. наук, проф.,
Национальный университет гражданской защиты Украины
(Украина, г. Харьков)

Барбин Николай Михайлович, д-р техн. наук, проф.,
Уральский институт ГПС МЧС России (Россия, г. Екатеринбург)

Бутман Михаил Федорович, д-р физ.-мат. наук, проф.,
Ивановский государственный химико-технологический
университет (Россия, г. Иваново)

Валуев Николай Прохорович, д-р техн. наук, проф.,
Академия гражданской защиты МЧС России (Россия, г. Химки)

Дешевых Юрий Иванович, д-р техн. наук, МЧС России,
Департамент надзорной деятельности (Россия, г. Москва)

Камлюк Андрей Николаевич, канд. физ.-мат. наук, доц.,
Университет гражданской защиты Министерства по
чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь (Республика
Беларусь, г. Минск)

Ковтун Вадим Анатольевич, д-р техн. наук, проф.,
Гомельский инженерный институт МЧС Республики Беларусь (Республика
Беларусь, г. Гомель)

Корневский Николай Алексеевич, д-р техн. наук, проф.,
Юго-Западный государственный университет (Россия, г. Курск)

Лопанов Александр Николаевич, д-р техн. наук, проф.,
Белгородский государственный технологический университет
(Россия, г. Белгород)

Манохин Вячеслав Яковлевич, д-р техн. наук, проф.,
Воронежский государственный архитектурно-строительный
университет (Россия, г. Воронеж)

Меньших Валерий Владимирович, д-р физ.-мат. наук, проф.,
Воронежский институт МВД России (Россия, г. Воронеж)

Овсяник Александр Иванович, д-р техн. наук, проф.,
Научно-техническое управление МЧС России (Россия, г. Москва)

Платонов Игорь Артемьевич, д-р техн. наук, проф.,
Самарский государственный аэрокосмический университет им. акад.
С. П. Королева (Россия, г. Самара)

Прус Юрий Витальевич, д-р физ.-мат. наук, проф.,
Академия ГПС МЧС России (Россия, г. Москва)

Полевой Василий Григорьевич, канд. воен. наук, доц.,
Академия гражданской защиты МЧС России (Россия, г.о. Химки)

Ресснер Франк, д-р естеств. наук, проф.,
Ольденбургский университет (ФРГ, г. Ольденбург)

Рудаков Олег Борисович, д-р хим. наук, проф.,
Воронежский государственный архитектурно-строительный университет
(Россия, г. Воронеж)

Sumets Pavel PhD in Engineering, The University of Auckland, New
Zeland

Селеменов Владимир Федорович, д-р хим. наук, проф.,
Воронежский государственный университет (Россия, г. Воронеж)

Столжко Наталия Юрьевна, д-р хим. наук, проф.,
Уральский государственный экономический университет (Россия, г.
Екатеринбург)

Сумина Елена Германовна, д-р хим. наук, проф.,
Саратовский государственный университет им. Н. Г. Чернышевского
(Россия, г. Саратов)

Тростянский Сергей Николаевич, д-р техн. наук, доц.,
Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю.
А. Гагарина (Россия, г. Воронеж)

Федянин Виталий Иванович, д-р техн. наук, проф.,
Воронежский институт ГПС МЧС России (Россия, г. Воронеж)

Шарапов Сергей Владимирович, д-р техн. наук, доц.,
Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России (Россия,
г. Санкт-Петербург)

Редактор: Дьякова Юлия Михайловна

Подписной индекс в объединенном каталоге «Пресса России» – 94015.

Подписано в печать 21.06.2017. Усл. печ. л. 7. Тираж 500 экз. Заказ №70.

Свидетельство о регистрации СМИ ПИ № ФС77-56856 от 29.01.2014.

Адрес редакции: 394052, г. Воронеж, ул. Краснознаменная, д. 231, ком. 1214;
тел.: (473) 242-12-63; e-mail: vestnik_vi_gps@mail.ru

СОДЕРЖАНИЕ

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА	
Строительные конструкции, здания и сооружения.....	7
Проблемы разработки огнезащитных составов для древесины и контроля их наличия	
<i>Н.М. Панев, А.А. Воронцова, С.Н. Животягина, А.Л. Никифоров.....</i>	7
Применение отходов производства огнеупоров и торфа для получения строительных конструкционных материалов. Научные основы повышения их прочности и устойчивости к термоокислению	
<i>Н.Ш. Лебедева, Е.Г. Недайводин</i>	12
ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ	
Управление в социальных и экономических системах.....	20
Применение методов кластерного анализа при выборе критериев для классификации объектов в противопожарном страховании	
<i>М.Б. Шмырева, А.Ю. Зенин, Е.В. Шкарупета, А.В. Калач.....</i>	20
Использование методики кластерного анализа для классификации объектов противопожарного страхования	
<i>А.Ю. Зенин, Е.В. Шкарупета, А.В. Калач, М.Б. Шмырева.....</i>	25
Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.....	31
Оптимизация траектории полета беспилотного летательного аппарата при оповещении населения малых населенных пунктов	
<i>Н.С. Шимон, А.В. Калач.....</i>	31
Методы и системы защиты информации, информационная безопасность.....	34
Логико-вероятностно-информационный подход к исследованию информационной безопасности хозяйствующих субъектов	
<i>Е.А. Жидко, В.В. Пикалов, В.С. Ясакова.....</i>	34
БЕЗОПАСНОСТЬ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА	
Пожарная и промышленная безопасность.....	40
Разработка методов и алгоритмов технической диагностики и обеспечение безопасности систем пожаротушения, тепло-, водо-, газоснабжения и промышленных технологических трубопроводов	
<i>С.А. Сазонова, Е.А. Сушко.....</i>	40

Расчет предела огнестойкости ограждающих конструкций при различных условиях теплообмена на противоположных поверхностях <i>А.М. Зайцев</i>	46
Оценка эффективности тушения пожаров в резервуарных парках с помощью стационарных робототехнических комплексов <i>У.А. Керимов, В.А. Смирнов, Д.Ю. Захаров, О.Г. Волков, А.Н. Бочкарев</i>	59
Риск-ориентированный подход к обеспечению пожарной безопасности автомобильных газозаправочных станций <i>С.А. Шевцов, А.А. Макрушин</i>	64
Идентификация потенциально опасных объектов как этап риск-ориентированного подхода при обеспечении техногенной безопасности <i>Н.Д. Разиньков</i>	68
Проблемы и перспективы использования пожарно-техническими специалистами современных способов обнаружения и исследования средств для поджога <i>А.А. Воронцова, Д.В. Калашников, А.А. Липский, О.А. Эсатов</i>	72
Пожарный риск применения растворов на основе четыреххлористого углерода в закрытых помещениях <i>А.В. Калач, М.А. Преображенский, А.М. Черехахин, О. Б. Рудаков</i>	78
Применение молекулярной люминесценцией для изучения динамики газовой термической экстракции в пожарно-технических исследованиях <i>А.Л. Павлова, М.А. Галишев</i>	88
Безопасность в чрезвычайных ситуациях	96
Риск-ориентированный подход к ранжированию водных объектов и территорий субъектов российской федерации по степени опасности для населения <i>А.Ю. Большагин</i>	96
Способ исследования нефти и нефтепродуктов методом люминесцентного анализа при решении задач диагностики и идентификации загрязнений <i>Н.М. Елфимов, Ю.Н. Бельшина, А.В. Клейменов</i>	99
Способ идентификации нефтепродуктов при расследовании поджогов по результатам газохроматографического анализа <i>А.Ю. Шнайдер, Ф.А. Дементьев, С.В. Шаранов</i>	105
ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ	111

CONTENTS

CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE

BUILDING CONSTRUCTIONS, BUILDINGS AND CONSTRUCTIONS..... 7

The problems of developing fire retardants for wood and controlling their availability

N.M. Panev, A.A. Vorontsov, S.N. Zhivotiagina, A.L. Nikiforov 7

The use of waste products of refractories and peat to produce building structural materials. Scientific basis for increasing their strength and resistance to thermal oxidation

N.Sh. Lebedeva, E.G. Nedayvodin, S.D. Dry 12

COMPUTER SCIENCE, COMPUTER ENGINEERING AND MANAGEMENT

Management in social and economic systems..... 20

Application of cluster analysis methods in selecting criteria for classification of objects in fire insurance

M.B. Shmyreva, A.Yu. Zenin, E.V. Shkarupeta, A.V. Kalach 20

Modeling of management processes and decision making in fire insurance of social and economic systems

A.Yu. Zenin, E.V. Shkarupeta, A.V. Kalach, M.B. Shmyreva 25

Mathematical modeling, numerical methods and program complexes..... 31

Optimization of the flight trajectory of an unmanned aerial vehicle when notifying the population of small settlements

N.S. Shimon, A.V. Kalach 31

Methods and systems of information security, information security..... 34

Logical-probabilistic-information approach to the study of information security of economic entities

E.A. Zhidko, V.V. Pikalov, V.S. Yasakova 34

SAFETY OF HUMAN ACTIVITIES

Fire and industrial safety..... 40

Development of methods and algorithms for technical diagnostics and ensuring the safety of fire extinguishing systems, heat, water, gas supply and industrial process pipelines

S.A. Sazonova, E.A. Sushko 40

Derivation of the calculation formula and construction of nomograms for calculating the fire resistance limit of enclosing structures under different heat exchange conditions on opposite surfaces <i>A.M. Zaitsev</i>	46
Estimation of fire fighting efficiency in reservoir parks using stationary robotic complexes <i>U.A. Kerimov, V.A. Smirnov, D.Yu. Zakharov, O.G. Volkov, A.N. Bochkarev</i>	59
Risk-oriented approach to ensuring fire safety of gas filling stations <i>S.A. Shevtsov, A.A. Makrushin</i>	64
Identification of potentially dangerous objects as a stage of the risk-oriented approach while ensuring technogenic safety <i>N.D. Razinkov</i>	68
Problems and perspectives of use by fire and technical experts of modern methods of detection and research of means for arson <i>A.A. Vorontsova, D.V. Kalashnikov, A.A. Lipsky, OA Esaty</i>	72
Fire risk of using solutions based on carbon tetrachloride in enclosed spaces <i>A.V. Kalach, M.A. Preobrazhensky, O B. Rudakov, M.A. Cherepakhin</i>	78
Application of molecular luminescence to study the dynamics of gas thermal extraction in fire-technical studies <i>A.S. Pavlova, M.A. Galishev</i>	88
Safety in emergency situations	96
Risk-oriented approach to the ranking of water bodies and territories of subjects of the Russian Federation in terms of the degree of danger to the population <i>A.Yu. Bolshagin</i>	96
Method for studying petroleum and petroleum products using the method of luminescent analysis in solving problems of diagnostics and identification of contaminants <i>N.V. Elfimov, Yu.N. Belshina, A.V. Kleimenov</i>	99
The method of identifying petroleum products in the investigation of arson as a result of gas chromatographic analysis <i>A.Yu. Schneider, F.A. Dementiev, S.V. Sharapov</i>	105
GUIDELINES FOR AUTHORS	111



СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

УДК 699.812:666.972.16+691.6

ПРОБЛЕМЫ РАЗРАБОТКИ ОГНЕЗАЩИТНЫХ СОСТАВОВ ДЛЯ ДРЕВЕСИНЫ И КОНТРОЛЯ ИХ НАЛИЧИЯ

Н.М. Панев, А.А. Воронцова, С.Н. Животягина, А.Л. Никифоров

Рассмотрены основные проблемы, связанные с применением древесины в строительстве зданий жилого и общественного назначения. Определены первоочередные задачи по созданию научной методики подбора компонентов для антипиренирующих составов. Рассмотрено влияние концентрации жидкого стекла на значения кислородного индекса испытываемых образцов. Указаны недостатки существующих методик экспресс-контроля наличия антипирена в древесине. Предложена схема устройства для проведения такого экспресс-контроля методом сравнения электропроводности.

Ключевые слова: *строительные конструкции из древесины, огнезащитные составы, научно-обоснованная методика, показатели пожарной опасности, жидкое стекло, кислородный индекс, электрическая проводимость.*

Анализ обстановки с пожарами на территории Российской Федерации за 2016 год [1], размещенный на официальном сайте МЧС России, показывает, что большая часть всех пожаров, а, следовательно, и большая доля нанесенного ими ущерба, приходится на жилой сектор. За прошедшие годы анализ обстановки с пожарами показывает аналогичную статистику.

Следует отметить, что в жилом секторе в достаточно больших количествах используется древесина и ее производные. В силу своих поистине уникальных физико-химических свойств и особенностей строения, а также восполняемости природных запасов древесина еще долгие годы будет являться одним из наиболее востребованных конструктивных и декоративно-отделочных материалов. Основным недостатком строительных материалов на основе древесины является их повышенная пожарная опасность.

На основании вышеизложенного вполне естественным оказывается поиск путей снижения пожарной опасности древесины.

Мероприятия по снижению пожарной опасности древесины могут благоприятно сказаться на статистике пожаров и, как следствие, количестве погибших и пострадавших на пожарах, а также

снизить показатели материального ущерба. Следует отметить, что данная проблема достаточно интенсивно решается на протяжении последних 30-40 лет. Так для снижения пожарной опасности строительных конструкций из древесины применяется обработка огнезащитными композициями. К сожалению, на сегодняшний день в Российской Федерации не существует нормативных документов, предписывающих собственнику объекта защиты проводить обработку в обязательном порядке. Мероприятия по обработке строительных конструкций из древесины огнезащитными средствами проводятся исключительно на добровольной основе и являются личным выбором собственника объекта защиты.

Нами был проведен достаточно большой обзор научных публикаций за последние 50 лет, посвященных исследованиям пожарной опасности древесины различных пород, огнезащите деревянных конструкций, оценке эффективности и качества огнезащитной обработки, а также существенно разработке новых рецептур огнезащитных составов и изучению влияния данных составов на прочностные свойства древесины. Отметим, что в большинстве случаев эффект огнезащиты древесины и строительных

конструкций на ее основе достигается за счет заполнения древесных пор, содержащих воздух, негорючими веществами, блокирующими доступ окислителя к целлюлозе [3, 7, 8, 10].

В ряде работ [6, 7, 8] показано, что большинство используемых огнезащитных составов для древесины многокомпонентны. Наш взгляд это негативно отражается на их эксплуатационных свойствах и делает их малоэффективными для широкого применения.

Зачастую перечисленные причины в совокупности с высокой стоимостью огнезащитных мероприятий заставляют собственника отказаться от огнезащиты, что негативно сказывается на состоянии пожарной безопасности объектов защиты. [4, 5, 9] Излишне отмечать негативные последствия таких действий. Поэтому на сегодняшний день актуальной задачей остается разработка эффективных огнезащитных составов с приемлемой стоимостью.

Выявленные проблемы говорят о необходимости разработки научно-обоснованной методики, которая в перспективе позволит создать огнезащитный состав, не уступающий имеющимся на рынке сегодня по эксплуатационным параметрам и превосходящий существующие по экономическим показателям. Данная методика должна базироваться на комплексной оценке свойств различных индивидуальных химических веществ, входящих в состав существующих антипиренов.

В ходе данной работы нами проводится изучение и поиск веществ, эффективно снижающих пожароопасные свойства древесины, осуществляется подбор их оптимальных концентраций. Для этого исследуются показатели пожарной опасности древесных материалов, обработанных испытываемыми веществами [2].

На начальном этапе работ исследования проводились на жидком стекле. Данный препарат

производится в Ивановской области, имеет низкую стоимость и всегда имеется в наличии в открытой розничной и оптовой продажах. В одной из предыдущих наших работ говорилось о возможности применения жидкого стекла как одной из составляющих антипирена [11]. Совместно с огнезащитным препаратом, предназначенным для пропитки тяжелых целлюлозосодержащих тканей, жидкое стекло в различных концентрациях показало положительные результаты при огневых испытаниях обработанных им образцов древесины. В ходе испытаний отмечалась продолжительность самостоятельного горения и тления образцов после удаления источника зажигания.

На следующем этапе работы нами было изучено влияние жидкого стекла на показатель кислородного индекса.

Показатель кислородного индекса означает минимальное содержание кислорода в кислородно-азотной смеси, при котором возможно самостоятельное свечеобразное горение зажигаемого вертикально закрепленного образца в условиях специальных испытаний [2].

В ходе выполнения данного этапа исследований проводилась обработка образцов сосновой древесины размерами 70×8×3 мм водным раствором жидкого стекла с концентрацией вещества 10, 30, 50 и 100 г/л, с последующим испытанием образцов на установке для определения кислородного индекса Oxygen Index Module. Параллельно проводились испытания сухих (необработанных) образцов древесины.

Все испытания проводились на базе Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России согласно стандартным методикам [2]. Установлено, что показатель кислородного индекса в значительной мере зависит от концентрации жидкого стекла в пропиточном растворе. Полученные результаты приведены на рисунке.

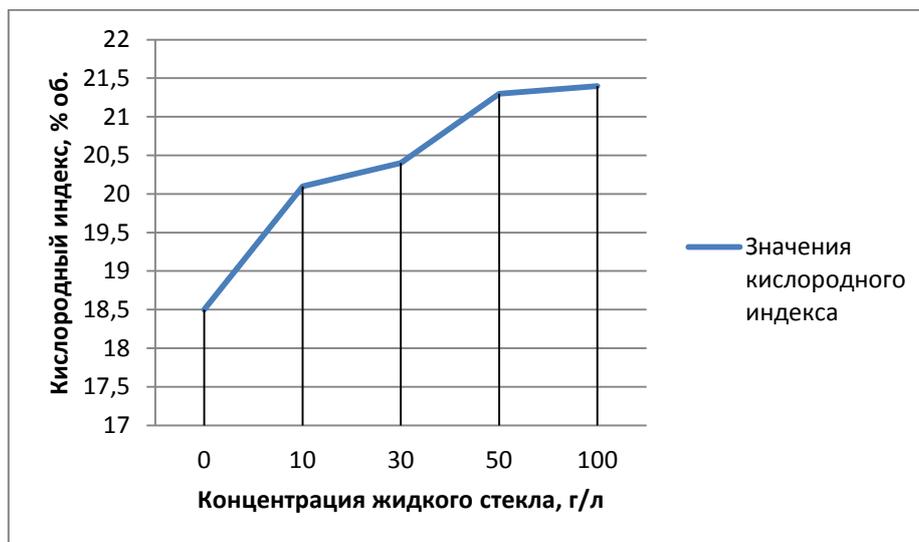


Рис. Зависимость кислородного индекса от концентрации жидкого стекла в пропиточном растворе

Из представленной зависимости видно, что увеличение содержания жидкого стекла в пропиточном растворе приводит к увеличению показателя кислородного индекса. Это означает, что жидкое стекло может быть рекомендовано к использованию в качестве индивидуального антипирена.

Еще одной проблемой, с которой мы столкнулись при исследовании вопроса огнезащиты древесных материалов, стала оценка наличия нанесенного огнезащитного состава на поверхность конструкции. В связи с большим количеством объектов защиты, на которых применяется древесина, к такому контролю предъявляются требования оперативности проведения теста, а также надежности и достоверности получаемой информации.

В настоящее время из экспресс-методов контроля согласно [3] следует использовать метод оценки качества огнезащиты древесины, обработанной пропиточными составами, при помощи малогабаритного переносного прибора ПМП-1.

Использование прибора позволяет проводить контроль качества выполненных огнезащитных работ и состояния огнезащитной обработки, при этом данный прибор можно использовать только в лабораторных условиях, так как прибор ПМП-1 в полевых условиях не сможет дать достоверный результат. Прибор ПМП-1 обладает очень высокой себестоимостью, проведение испытания с помощью данного прибора может занять много времени, а на участках, с которых отбирались пробы, необходимо снова проводить огнезащитную обработку. Также стоит отметить, что испытания образцов, отобранные по методике согласно [3], не смогут обеспечить инспектора или пожарно-технического эксперта достоверным результатом, так как методика [3] предполагает отбор 5 образцов с 1000 м² обработанной поверхности.

В связи с вышесказанным, авторами работы предложен альтернативный метод по определению наличия поверхностной огнезащитной обработки, основанный на измерении электрической проводимости поверхностного слоя древесины с помощью прибора, состоящего из следующих элементов: корпуса из фторопласта, латунных стержней, соединительных проводов и мультиметра. Данный прибор имеет компактные размеры, поэтому будет удобен для использования не только в лабораторных условиях, но и непосредственно на объектах.

По результатам, полученным в ходе измерения поверхностной электропроводности древесины, с помощью предложенного устройства было установлено, что на боковой поверхности

образца при проведении измерений вдоль волокон проводимость увеличилась в среднем в 5 раз, при проведении измерений поперек волокон – в 8 раз. При проведении измерений на поверхности основания образца проводимость увеличилась в среднем в 4 раза.

После проведения измерений с поверхности образца был сделан срез с целью проведения испытаний на приборе ПМП-1. В ходе проведенных испытаний было установлено, что поверхностная обработка огнезащитным составом для древесины была проведена качественно. Таким образом, в ходе проведенных исследований было установлено, что в случае качественного нанесения огнезащитного состава на деревянные конструкции поверхностное сопротивление древесины уменьшается в 4-8 раз.

Исходя из вышеизложенного, можно сделать вывод, что наличие антипирена в древесине можно определить, сравнивая значение сопротивления, полученное при измерениях на поверхностном слое, а также внутри объема деревянной конструкции. При этом, чем больше разница в сопротивлении сравниваемых проб, тем больше антипирена содержится в пробе. Следовательно, метод по определению наличия огнезащитной обработки, основанный на измерении сопротивления поверхностного слоя древесины, можно использовать в комплексе с экспресс-методом контроля по [3] в ходе контроля качества поверхностной огнезащитной обработки деревянных конструкций.

Достоинствами предложенного метода являются: установление наличия пропитки антипирином непосредственно на объекте в труднодоступных местах; метод является неразрушающим, т.е. не потребуются срезать фрагмент конструкции и отправлять его на исследование в лабораторных условиях; может быть использован непосредственно в момент или после проведения огнезащитных работ; малозатратный метод.

Таким образом, в ходе работы планируется выполнение широкого спектра исследований, опора на результаты которых в перспективе позволит не только разработать научную методику подбора компонентов для огнезащитных композиций, предназначенных для древесных материалов, но и создать на основе данной методики новый высокоэффективный композиционный антипирирующий состав, не уступающий имеющимся сегодня на рынке аналогам по технологическим и экономическим показателям. В ходе исследований планируется выполнение кандидатских и магистерских диссертаций, выпускных квалификационных работ на кафедре, а также патентная проработка.

Библиографический список

1. Анализ обстановки с пожарами и последствиями от них на территории Российской Федерации за 2016 год. Официальный сайт МЧС России, ссылка: http://www.mchs.gov.ru/activities/stats/Pozhari/2016_god.
2. ГОСТ 12.1.044-89 «Пожаровзрывоопасность веществ и материалов».
3. ГОСТ Р 53292-2009 «Огнезащитные составы и вещества для древесины и материалов на ее основе. Общие требования. Методы испытаний».
4. Голованов В.И. и др. Строительные конструкции и материалы: исследование огнестойкости, пожарной опасности, средств огнезащиты / В.И. Голованов // Пожарная безопасность. – 2012. – № 2. – С. 79-88.
5. Оценка качества огнезащиты и установление вида огнезащитных покрытий на объектах: руководство. – М.: ВНИИПО, 2011. – 39 с.
6. Патент РФ №2079403.
7. Патент РФ №2510751.
8. Патент РФ №2206444.
9. Сивенков А.Б. Влияние физико-химических характеристик древесины и ее пожарную опасность и эффективность огнезащиты: дис. докт. техн. наук / А.Б. Сивенков. – 2015, М. – 289 с.
10. Собурь С.В. Огнезащита материалов и конструкций: Справочник. – 5-е изд. (с изм.) / С.В. Собурь. – М.: ПожКнига, 2014. – 256 с.
11. Панев Н.М., Никифоров А.Л., Тимофеева С.В., Мочкаев С.И. Разработка малобюджетных огнезащитных составов для древесины на основе использования отечественного сырья / Н.М. Панев, А.Л. Никифоров, С.В. Тимофеева, С.И. Мочкаев // Пожарная и аварийная безопасность: материалы IX Международной научно-практической конференции. – Иваново: Ивановский институт ГПС МЧС России, 2014. – 412 с.

References

1. Analiz obstanovki s pozharemi i posledstviyami ot nih na territorii Rossijskoj Federacii za 2016 god. Oficial'nyj sajt MCHS Rossii, ssylka: http://www.mchs.gov.ru/activities/stats/Pozhari/2016_god.
2. GOST 12.1.044-89 «Pozharovzryvoopasnost' veshchestv i materialov».
3. GOST R 53292-2009 «Ognezashchitnye sostavy i veshchestva dlya drevesiny i materialov na ee osnove. Obshchie trebovaniya. Metody ispytaniy».
4. Golovanov V.I. i dr. Stroitel'nye konstrukcii i materialy: issledovanie ognestojkosti, pozharnoj opasnosti, sredstv ognezashchity // Pozharnaya bezopasnost'. – 2012. – № 2. – S. 79 – 88.
5. Ocenka kachestva ognezashchity i ustanovlenie vida ognezashchitnyh pokrytij na ob"ektah: rukovodstvo. M: VNIIPPO, 2011. 39 s.
6. Patent RF №2079403.
7. Patent RF №2510751.
8. Patent RF №2206444.
9. Sivenkov A.B. Vliyanie fiziko-himicheskikh harakteristik drevesiny i ee pozharную opasnost' i ehffektivnost' ognezashchity. Dissertaciya na soiskanie uchenoj stepeni doktora tekhnicheskikh nauk. – 2015, M, 289 s.
10. Sobur' S.V. Ognezashchita materialov i konstrukcij: Spravochnik. – 5-e izd. (s izm.) – M.: PozhKniga, 2014. - 256 s., il.
11. Panev N.M., Nikiforov A.L., Timofeeva S.V., Mochkaev S.I. Razrabotka malobyudzhjetnyh ognezashchitnyh sostavov dlya drevesiny na osnove ispol'zovaniya otechestvennogo syr'ya. – Pozharnaya i avarijnaya bezopasnost': materialy IX Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii, Ivanovo, 20-21 noyabrya 2014 g. / pod obshchej redakciej kand. tekhn. nauk, doc. I.A. Malogo. – Ivanovo: Ivanovskij institut GPS MCHS Rossii, 2014. – 412 s.

PROBLEMS OF DEVELOPMENT OF FIRE-RETARDANTS FOR WOOD AND CONTROL OF ITS APPLICATION

Main problems of application of wood for construction of buildings for residential and public use are examined. First-time tasks to create scientific-based methodology for the selection of components for fire-retardants are determined. Influence of the concentration of liquid glass to the values of oxygen index of tested specimens is investigated. Defects of existing methodologies for express-control of presence of fire-retardants in wood are shown. Principle of equipment for this express-control by the method of comparison of electrical conduction ratings is proposed.

Keywords: *wooden structural elements, fire protection compositions, scientific-based methodology, ratings of fire hazard, liquid glass, oxygen index, electrical conduction.*

Панев Никита Михайлович,

адъюнкт,

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Россия, Иваново,

e-mail: rockmetalguy@mail.ru,

Рапунов Н.М.,

post-graduated student,

Ivanovo Fire And Rescue Academy of The State Fire Service of EMERCOM of Russia,

Russia, Ivanovo.

Воронцова Анна Анатольевна,

старший эксперт сектора судебных экспертиз,

СЭУ ФПС «Испытательная пожарная лаборатория по Ивановской области»,

Россия, Иваново,

e-mail: vorontsova_a_a@mail.ru,

Vorontsova A.A.,

Senior expert of the sector of judicial expertises,

Judicial-expert institution of The State Fire Service «Test Fire Laboratory of The Ivanovo

Region»,

Russia, Ivanovo.

Животягина Светлана Николаевна,

старший преподаватель кафедры пожарной безопасности объектов защиты,

к.х.н.,

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Россия, Иваново,

e-mail: jivotyagina@mail.ru,

Zhivotiagina S.N.,

senior lector of the department of fire safety in protective objects,

candidate of chemical sciences,

Ivanovo Fire And Rescue Academy of The State Fire Service of EMERCOM of Russia,

Russia, Ivanovo.

Никифоров Александр Леонидович,

профессор кафедры пожарной безопасности объектов защиты,

доктор технических наук, старший научный сотрудник,

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Россия, Иваново,

e-mail: anikiforoff@list.ru.

Nikiforov A.L.,

professor of the department of fire safety in protective objects,

doctor of technical sciences, senior researcher,

Ivanovo Fire And Rescue Academy of The State Fire Service of EMERCOM of Russia,

Russia, Ivanovo.

ПРИМЕНЕНИЕ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА ОГНЕУПОРОВ И ТОРФА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ. НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ ПОВЫШЕНИЯ ИХ ПРОЧНОСТИ И УСТОЙЧИВОСТИ К ТЕРМООКИСЛЕНИЮ

Н.Ш. Лебедева, Е.Г. Недайводин

Изучена реакция гидролиза периклаза, в результате предложена методика, позволяющая в качестве магнезиального вяжущего использовать отходы производства огнеупоров. Получен строительный материал на основе магнезиального вяжущего и верхового торфа. Проведен сравнительный анализ прочностных характеристик силикатного и керамического кирпича с полученными изделиями на основе магнезиального вяжущего и торфа. Установлено, что образцы строительного материала с торфосодержанием не превышающим 40 масс. % характеризуются прочностью при сжатии рекомендованной для материалов конструкционного назначения. Термогравиметрически изучены процессы термоокислительной деструкции полученных материалов. Наличие торфа в образце полностью изменяет механизм процесса и лимитирующую стадию. Для цемента Сореля лимитирующая стадия термоокисления – трехмерная диффузия, а для торфосодержащих материалов – зародышеобразование. Для увеличения устойчивости торфосодержащих материалов к термоокислению целесообразно рекомендовать добавки неорганических солей на стадии его получения.

Ключевые слова: торф, магнезиальное вяжущее, хлорид магния, строительный материал, прочность, термоокислительная деструкция, горение, кинетика.

В настоящее время существует множество строительных материалов, обладающих различными практическими свойствами, но интерес к созданию и развитию новых строительных материалов не пропал, а только наоборот усилился. Этому способствует ряд признаков: нестабильное экономическое положение, преобладание количества над качеством продукции, сложные технологии производства, узкая сырьевая база, возрастающие экологические проблемы [1], ухудшение механических и пожаробезопасных свойств, изготавливаемых строительных материалов. Пожары возникают во всех уголках России, основными объектами пожара являются различные здания и сооружения. Анализ показал, что количество пожаров с каждым годом снижается, несмотря на это гибель и травматизм людей остается на прежнем высоком уровне, это объясняется различными причинами, среди которых низкая несущая способность конструктивных материалов, подверженных действию высоких температур, несоблюдением технологии производства материалов, наличие дефектов в несущих конструкциях и др. Ярким примером может выступать пожар в административно-производственном и складском здании 03 апреля 2017 года по адресу: Ивановская область, г.о. Иваново, ул. 23-я линия д. 13, где при тушении пожара и проведении аварийно-спасательных работ погибли два сотрудника МЧС России, вследствие обрушения конструкций

перекрытия не горящего и не задымленного помещения.

Поэтому создание новых строительных материалов на основе магнезиальных вяжущих, отвечающих современным требованиям безопасности становится приоритетным направлением [2-3].

Говоря о безопасности, можно выделить три тренда: 1) улучшение качества технологий производства, гарантирующего высокую трещиностойкость; 2) пожарная безопасность 3) улучшение физико-механических свойств строительного материала.

В связи с выше изложенным целью данной работы являлось 1) разработка методики затворения магнезиального порошка, являющегося отходом производства огнеупоров; 2) определение механических характеристик материалов на основе магнезиального вяжущего; 3) исследование термоокислительной деструкции образцов материала с различным торфосодержанием.

На первом этапе были изучены текстурные характеристики магнезиального вяжущего (ПМК – 87) и периклаза (отхода производства огнеупоров). Известно, что при использовании отходов огнеупоров в качестве вяжущего и при применении стандартной технологии затворения, со временем, в полученном материале наблюдается появление микротрещин, дефектов, что снижает несущую способность конструкции, состоящей из данного материала. В случае пожара, наличие микродефектов и трещин может привести к

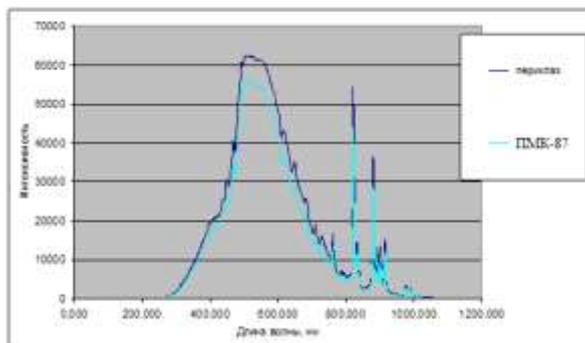


Рис. 3. Спектры отражения ПМ-87 и периклаза в воде с одинаковой концентрацией исходных навесок

Как видно из рис. 3 спектр отражения растворов, содержащих периклаз и магнезит схожи по форме максимального пика. Меньшая интенсивность отражения магнезита, свидетельствует о меньшем размере частиц, что согласуется с данными таб. 1. Отсутствие каких-либо спектральных изменений в спектре отражения

периклаза во времени свидетельствует о том, что гидролиз намертво обожженного оксида магния практически не идет.

Введение в затворяющий раствор соляной кислоты или торфяной выжимки приводит к изменению спектров отражения (рис. 4, 5 и 6).

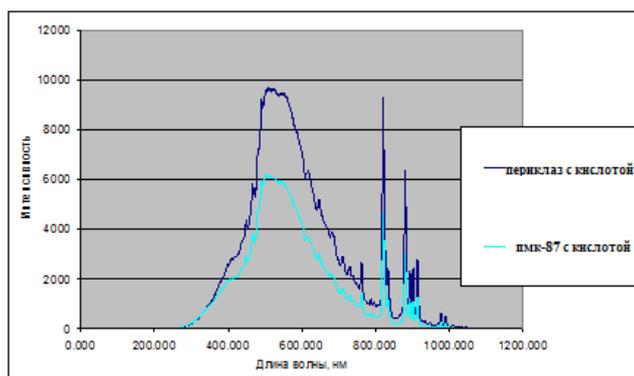


Рис. 4. Спектр отражения ПМК-87 и периклаза в воде с добавлением соляной кислоты

Слабые растворы неорганических кислот промотируют реакцию гидролиза оксида магния. В

качестве примера, на рисунках 4 и 5 приведены полученные спектры.

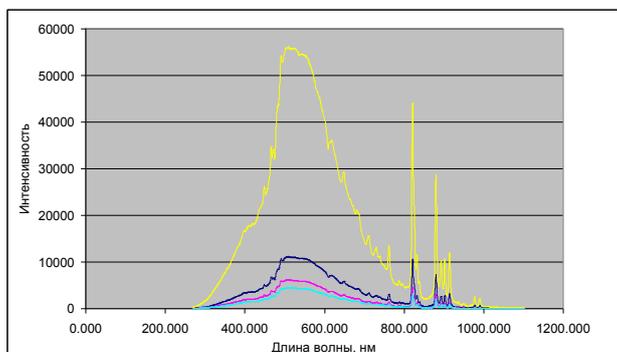


Рис. 5. Спектр отражения периклаза в воде при увеличении концентрации кислоты (сверху вниз увеличивается концентрация HCl)

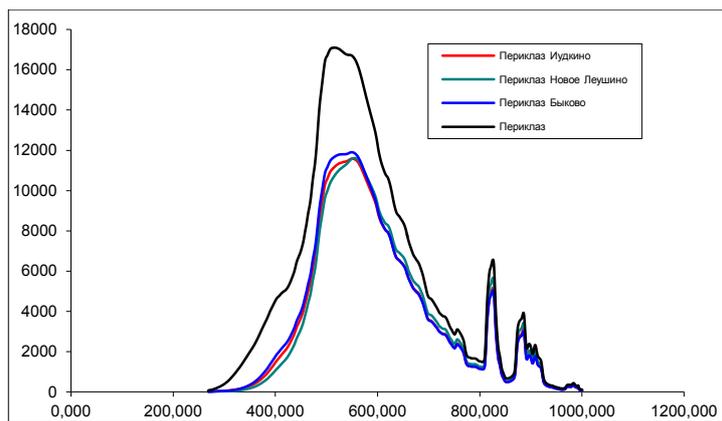


Рис. 6. Спектр отражения периклаза в воде и в растворах торфяных вытяжек

Как видно из представленных данных введение соляной кислоты или торфяной вытяжки приводит к уменьшению интенсивности полосы отражения, т.е. частицы гидролизуются. Причем в случае торфяной вытяжки эти изменения начинаются практически сразу при внесении вытяжки в суспензию. По прошествии 30 мин, раствор становится спектрально прозрачным, т.е. все частицы периклаза гидролизировались. Полученные спектральные изменения позволяют утверждать, что присутствующие в торфяной вытяжке электролиты и гуминовые кислоты способствуют процессу гидролиза, проникая в поры и активируя гидролиз частиц оксида магния.

Большая экологичность технологии и меньшая себестоимость продукции будет при использовании торфяной вытяжки, поэтому дальнейшие исследования проводились с материалом содержащем магниальное вяжущее и торф.

Введение в состав материала торфа позволяет решить ряд проблем, характерных для изделий из магниального вяжущего, таких как высаливание, увеличение тепло- и звуко-изоляционных свойств, и уменьшение себестоимости, при сохранении высоких прочностных свойств (табл. 2).

Таблица 2

Характеристики цементного камня

Номер образца	Содержание торфа, % масс.	Предел прочности при сжатии изделий, МПа
1.	0	52,6
2.	10	37,7
3.	20	27,1
4.	30	20,6
5.	40	12,8
6.	50	7,8
7.	60	4,5
8.	70	3,5
9.	80	3,1
10.	90	2,6

Исследование прочностных характеристик, анализируемых образцов позволило установить, что при увеличении содержания торфа в изделии, наблюдается постепенное понижение прочности материала. При этом, достаточно высокие прочностные характеристики образцов можно получить в широких пределах содержания торфа (10-50 масс. %). Сравнивая [5-6] прочностные характеристики опытных образцов, силикатного и керамического кирпича, можно заключить, что при содержании торфа не превышающем 50% все

анализируемые образцы можно отнести к материалам для конструкционного назначения.

Следует отметить, что торф – горючее вещество [7], является возобновляемым природным биоресурсом. По данным International Peat Society (IPS), предварительные оценки торфяных запасов в мире составляют 175 млн га (500 млрд тонн) из них 56,8 млн га (186,6 млрд тонн) находятся в России. Освоение месторождений торфа существенно снижает риск возникновения торфяных пожаров.

Торфяные пожары относятся к особому виду пожара на природных территориях, при

котором горит верхний слой торфа. Важнейшей особенностью торфяных пожаров является то, что они разгораются и распространяются очень медленно, но могут продолжаться в течение нескольких месяцев, а иногда и нескольких лет. Торф не горит открытым огнем: он тлеет, выделяя большое количество дыма. Тление торфа может продолжаться даже зимой, поскольку очаги непосредственного тления оказываются прикрытыми от холода вышележащими слоями торфа или торфяной золы. Лишь тщательное перемешивание тлеющего торфа с большим количеством воды или снега способно остановить процесс тления. Торфяные пожары создают опасность провала в прогоревший грунт (прогар) людей и техники.

Как известно, осенью 2010 года в России на всей территории сначала Центрального федерального округа, а затем и в других регионах России возникла сложная пожарная обстановка из-

за аномальной жары и отсутствия осадков, вследствие чего возникли крупные торфяные пожары.

Торф обладает низкой теплопроводностью и, несмотря на его высокую пожарную опасность, может рассматриваться как строительный материал [8].

Контролируемые торфоразработки, обводнение котлованов, после выемки торфа снижает риск возникновения торфяных пожаров.

В связи с тем, что исследований процессов горения торфа, локализованного в неорганической матрице магнезильного вяжущего (рис. 7) не проводилось, следующим этапом работы являлось оценка устойчивости к термоокислению материала на основе магнезильного вяжущего с различным торфосодержанием.

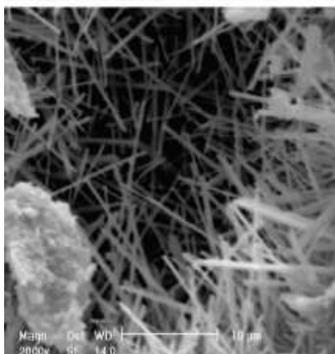


Рис. 7. Микрофотография структуры кристаллической фазы 3 по литературным данным [4]

Для сравнения изначально был изучен процесс термоокислительной деструкции цемента Сореля (кристаллическая фаза $3\text{MgO}\cdot\text{MgCl}_2\cdot 11\text{H}_2\text{O}$).

На первом низкотемпературном этапе (до 200°C) происходит удаление адсорбированной и окклюзированной воды. Удаление специфически связанной воды из самой кристаллической фазы $3\text{MgO}\cdot\text{MgCl}_2\cdot 11\text{H}_2\text{O}$ протекает поэтапно в температурном интервале от 300 до 530°C . Кинетические характеристики термоокислительной деструкции представлены в (табл. 3). Энергия активации изучаемого процесса имеет довольно высокое значение.

Как было показано выше, высокая механическая прочность материалов на основе магнезильного вяжущего обусловлена его текстурой, отличающейся взаимным прорастанием спиралевидных трубчатых нитевидных агрегатов [9]. Очевидно, что высокие значения энергии активации, обуславливающие кинетическую

устойчивость к термоокислению исследуемых материалов, связаны с неорганической природой полимера. Функция $f(\alpha)$ деструкции кристаллической фазы $3\text{MgO}\cdot\text{MgCl}_2\cdot 11\text{H}_2\text{O}$ максимально точно описывается уравнением $3/2(1-\alpha)^{4/3}[1/(1-\alpha)^{1/3}-1]^{-1}$. Этот случай соответствует диффузионной области протекания гетерогенного процесса, а именно трехмерной диффузии. При этом скорость химической реакции относительно велика и превышает скорость диффузионных стадий. Таким образом лимитирующей стадией термоокисления цемента Сореля являются диффузионные процессы, такие как диффузия кислорода в зону реакции, удаления газообразных продуктов реакции. Исходя из выше изложенного, в качестве профилактических мер, направленных на увеличение устойчивости данного материала к термоокислительной деструкции, могут быть рекомендованы покрытия, препятствующие диффузии газов, такие как, например, огнестойкие краски.

Кинетические параметры термоокислительного процесса образцов цементного камня и торфа [10]

Материал	Температурный интервал, К	Ea, кДж/моль	Ln A	функция	R ²
3MgO·MgCl ₂ ·11H ₂ O	600-636	691	135	$3/2(1-\alpha)^{4/3}[1/(1-\alpha)^{1/3}-1]^{-1}$	0,996
5% торфа	660-729	317	56	$4(1-\alpha)^{3/4}$	0,995
10% торфа	673-754	288	33	$4(1-\alpha)^{3/4}$	0,995
20% торфа	678-731	271	45	$4(1-\alpha)^{3/4}$	0,995
30% торфа	666-715	266	45	$4(1-\alpha)^{3/4}$	0,995
50% торфа	673-754	203	33	$4(1-\alpha)^{3/4}$	0,994
Торф*	493-606	122-136	28-31	$2(1-\alpha)^{3/2}$	0,993

* Данные получены для образцов торфа трех различных районов Ивановской области

Введение в состав материала торфа существенно влияет на процесс термоокисления (рис. 9).

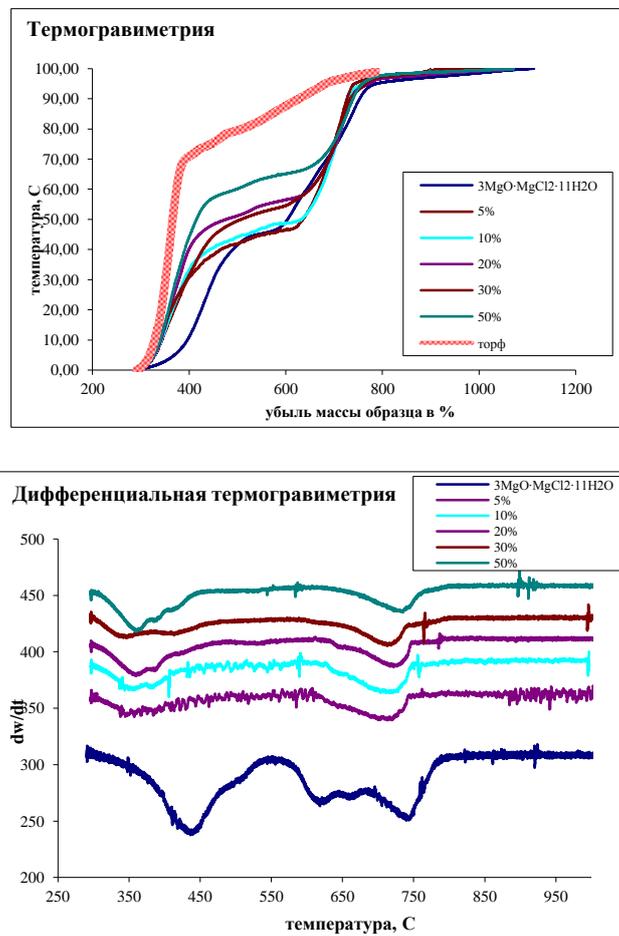


Рис. 9. Термограммы образцов цементного камня с различным содержанием торфа

На кривой ДТА [10] образца материала без торфа, не зарегистрированы ярко выраженные экзо-эффекты, напротив, термоокисление торфосодержащих материалов сопровождается интенсивным выделением тепла с максимумами экзо-эффектов, приходящихся на 750-780 С. Следует отметить, что тепловыделение при

термоокислении собственно торфа в аналогичных условиях заканчивается до 400 С [11]. Очевидно, что термоокисление торфа в составе кристаллитов ингибируется. Возможно, это обусловлено наличием непрореагировавшего MgCl₂, являющегося антипиреном или изоляцией частиц

торфа между игольчатыми кристаллитами неорганического полимера.

Как видно из представленных данных (табл. 3), введение торфа в состав цементного камня негативно сказывается на его устойчивости к термоокислению. Введение 5% количества торфа приводит к снижению энергии активации практически в два раза. Дальнейшее увеличение торфосодержания не существенно отражается на кинетических параметрах термоокисления. Наличие торфа в образце полностью изменяет

механизм процесса термоокисления, для торфосодержащих образцов лимитирующей стадией является зародышеобразование. Введение торфа в материал способствует повышению пористости, уменьшает плотность кристаллитов, поэтому диффузионные процессы не являются определяющими. Исходя из полученных данных, для увеличения устойчивости к термоокислению торфосодержащих материалов можно рекомендовать добавки неорганических солей (антипиренов) на стадии получения материала.

Библиографический список

1. Liska M., Al-Tabbaa A. *Performance of magnesia cements in pressed masonry units with natural aggregates: Production parameters optimization* / M. Liska, A. Al-Tabbaa // *Construction and Building Materials*. – 2008. – Т. 22. – №8. – PP. 1789-1797.
2. Finch T., Sharp J.H. *Chemical reactions between magnesia and aluminium orthophosphate to form magnesia-phosphate cements* / T. Finch, J.H. Sharp // *Journal of materials science*. – 1989. – Т. 24. – №. 12. – PP. 4379-4386.
3. Singh D. et al. *Chemically bonded phosphate ceramics for low-level mixed-waste stabilization* // *Journal of Environmental Science & Health Part A*. – 1997. – Т. 32. – № 2. – PP. 527-541.
4. Li G. et al. *Experimental study on urban refuse/magnesium oxychloride cement compound floor tile* // *Cement and concrete research*. – 2003. – Т. 33. – №10. – PP. 1663-1668.
5. ГОСТ 530-2012 *Кирпич и камень керамические. Общие технические условия*.
6. Межгосударственный стандарт ГОСТ 379-2015 «Кирпич, камни, блоки и плиты перегородочные силикатные. Общие технические условия».
7. Hadden R.M., Rein G., Belcher C.M. *Study of the competing chemical reactions in the initiation and spread of smouldering combustion in peat* // *Proceedings of the Combustion Institute*. – 2013. – Т. 34. – №2. – PP. 2547-2553.
8. Копаница Н.О., Кудряков А.И., Ковалева М.А. *Торфодревесные теплоизоляционные строительные материалы*. – STT Publishing, 2009.
9. Dehua D., Chuanmei Z. *The formation mechanism of the hydrate phases in magnesium oxychloride cement* // *Cement and concrete research*. – 1999. – Т. 29. – №9. – PP. 1365-1371.
10. Лебедева Н.Ш., Потемкина О.В., Недаёвдин Е.Г. *Кинетика термоокислительной деградации строительных материалов на основе магнезального вяжущего* // *Научно-технический журнал «Пожарная безопасность»*, 2016. – №2. – С. 55-63.
11. Лебедева Н.Ш., Потемкина О.В., Мочалова Т.А., Малькова Е.А. *Кинетический анализ термоокислительной деградации верхового торфа* //

References

1. Liska M., Al-Tabbaa A. *Performance of magnesia cements in pressed masonry units with natural aggregates: Production parameters optimization* / M. Liska, A. Al-Tabbaa // *Construction and Building Materials*. – 2008. – Т. 22. – №8. – PP. 1789-1797.
2. Finch T., Sharp J.H. *Chemical reactions between magnesia and aluminium orthophosphate to form magnesia-phosphate cements* / T. Finch, J.H. Sharp // *Journal of materials science*. – 1989. – Т. 24. – №. 12. – PP. 4379-4386.
3. Singh D. et al. *Chemically bonded phosphate ceramics for low-level mixed-waste stabilization* // *Journal of Environmental Science & Health Part A*. – 1997. – Т. 32. – № 2. – PP. 527-541.
4. Li G. et al. *Experimental study on urban refuse/magnesium oxychloride cement compound floor tile* // *Cement and concrete research*. – 2003. – Т. 33. – №10. – PP. 1663-1668.
5. GOST 530-2012 *Kirpich i kamen keramicheskiye. Obshchiye tekhnicheskiye usloviya*.
6. *Mezhhgosudarstvennyy standart GOST 379-2015 «Kirpich. kamni. bloki i plity peregorodochnyye silikatnyye. Obshchiye tekhnicheskiye usloviya»*.
7. Hadden R.M., Rein G., Belcher C.M. *Study of the competing chemical reactions in the initiation and spread of smouldering combustion in peat* // *Proceedings of the Combustion Institute*. – 2013. – Т. 34. – №2. – PP. 2547-2553.
8. Kopanitsa N.O., Kudryakov A.I., Kovaleva M.A. *Torfodrevesnyye teploizolyatsionnyye stroitelnyye materialy*. – STT Publishing, 2009.
9. Dehua D., Chuanmei Z. *The formation mechanism of the hydrate phases in magnesium oxychloride cement* // *Cement and concrete research*. – 1999. – Т. 29. – №9. – PP. 1365-1371.
10. Lebedeva N.Sh., Potemkina O.V., Nedayvodin E.G. *Kinetika termookislitelnoy destruktzii stroitelnykh materialov na osnove magnezialnogo vyazhushchego* // *nauchno-tekhnicheskiy zhurnal «Pozharnaya bezopasnost»*. – 2016. – №2. – S. 55-63.
11. Lebedeva N.Sh., Potemkina O.V., Mochalova T.A., Malkova E.A. *Kineticheskiy analiz termookislitelnoy destruktzii verkhovogo torfa* // *Ros.*

Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва им. Д.И. хим. ж. (Zh. Ros. khim. ob-va im. D.I. Mendeleeva). Менделеева). – 2014. – т. LVIII. – №2. – С.1-7. 2014. t. LVIII. №2. – S.1-7.

THE USE OF WASTE REFRACTORIES AND PEAT FOR THE CONSTRUCTION OF STRUCTURAL MATERIALS. SCIENTIFIC BASIS TO ENHANCE THEIR STRENGTH AND RESISTANCE TO THERMAL OXIDATION

The hydrolysis reaction of periclase is studied, methodology, that makes possible to use wastes from the production of refractories is proposed as the result. Building material based on magnesia cement and peat is obtained. The strength characteristics of silicate and ceramic bricks and the obtained products based on magnesia binder and peat were compared and analyzed. It was found that the samples of construction material with content of peat not exceeding 40 wt.% can be attributed to the materials of structural purpose by its compressive strength. Processes of thermo-oxidative degradation of the synthesized materials were studied by thermogravimetry. The presence of peat in the sample completely changes the mechanism of the process and for peat samples containing limiting step is nucleation. For the Sorel cement the rate-limiting step of thermo-oxidating is a dimensional diffusion, and for peat-containing materials is a nucleation. To increase resistance to thermal effects on materials can recommend a supplement of inorganic salts at the stage of its receipt.

Keywords: Peat, magnesia cement, magnesium chloride, Building material, strength, thermal-oxidative destruction, phase, burning, kinetics.

Лебедева Наталья Шамильевна,
профессор кафедры естественнонаучных дисциплин,
доктор химических наук, доцент,
Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Россия, Иваново,

Lebedeva N.Sh.,
professor of the department of natural sciences,
doctor of chemical Sciences, associate professor,
Ivanovo Fire And Rescue Academy of The State Fire Service of EMERCOM of Russia,
Russia, Ivanovo.

Недайводин Евгений Геннадьевич,
адъюнкт,
Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
e-mail: evgenij-161@yandex.ru,
Россия, Иваново,

Nedayvodin E.G.,
post-graduated student,
Ivanovo Fire And Rescue Academy of The State Fire Service of EMERCOM of Russia,
Russia, Ivanovo.



ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

УПРАВЛЕНИЕ В СОЦИАЛЬНЫХ И ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

УДК 368.11

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА КЛАСТЕРНОГО АНАЛИЗА ПРИ ВЫБОРЕ КРИТЕРИЕВ ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ ОБЪЕКТОВ В ПРОТИВОПОЖАРНОМ СТРАХОВАНИИ

М.Б. Шмырева, А.Ю. Зенин, Е.В. Шкарунета, А.В. Калач

Предложена методика, которая позволит отбирать признаки не только для решения задачи классификации объектов в противопожарном страховании на основе метода главных компонент, но и для проведения кластерного анализа. Рассмотренный в статье подход в сочетании с сингулярным разложением матрицы «объект-признак» позволяет выбрать рабочий словарь признаков пожарной опасности, устойчивый к изменениям априорно неизвестного параметра модели данных.

Ключевые слова: *противопожарное страхование, страхование от огня, метод главных компонент, метод кластерного анализа.*

Несомненна важность и актуальность каждого научного исследования в области разработки теории и методов принятия решений. Существует большое количество методов и моделей принятия решений в различных условиях, среди них отдельное место занимают методы принятия решений в противопожарном страховании, которые наиболее востребованы в практических приложениях. Именно эти методы позволяют принимать объективно оптимальные решения с наиболее надежным результатом. Во всех моделях принятия решений прослеживается единый подход – для каждой альтернативы вычисляется некоторый числовой показатель ее привлекательности, называемый функцией полезности альтернативы, и в результате анализа этого показателя принимается оптимальное решение. В классической теории функция полезности является суммой частных оценок альтернатив по критериям, что, конечно, просто в вычислительном плане. Однако такая модель не совершенна и имеет недостатки и ограничения, среди которых можно выделить два: функция полезности нелинейна к числовым оценкам альтернатив по критериям ввиду того, что не учитывает степень выполнимости критериев, то есть того, на сколько удовлетворяют требованиям критерия все альтернативы в совокупности. И слабо выполнимые критерии, и выполнимые в высокой

степени дают одинаковый вклад в функцию полезности. А так, как функция полезности очень чувствительна к оценкам альтернатив по критериям, то небольшое изменение одной из оценок по любому критерию может привести к изменению решения. Вторым недостатком тесно связан с первым: все существующие методы принятия решений позволяют оценивать альтернативы, но не уделяют внимания анализу самих критериев: насколько они адекватны, выполнимы, объективны. С другой стороны, в настоящее время интенсивно развивается новое направление в области теории измерений – теория оценивания противопожарных тарифных ставок и коэффициентов [1].

Таким образом, необходимо разработать модель системы управления пожарным риском и способов ее функционирования, обеспечивающих сохранение требуемой потенциальной эффективности функционирования в условиях воздействий внешней среды.

Требуемый уровень пожарной безопасности производственных объектов достигается с помощью систем предотвращения пожаров и взрывов, противопожарной защиты и организационно-технических мероприятий.

Таким образом, управление пожарной безопасностью объектов предусматривает осуществление следующих процессов:

- создание организационной структуры управления пожарной безопасностью;
- нормативное обеспечение системы управления пожарной безопасностью;
- научно-техническое и информационное обеспечение системы управления пожарной безопасностью;
- мониторинг пожарной безопасности объектов;
- разработку и реализацию организационных и инженерно-технических мероприятий по обеспечению пожарной безопасности конкретных объектов;
- обучение работников и их подготовку к действиям по предупреждению и ликвидации пожаров;
- ликвидация пожаров, проведение аварийно-спасательных работ;
- материально-техническое и финансовое обеспечение;
- противопожарное страхование.

Моделью принятия решений в управлении социальными и экономическими системами в условиях определенности называется ситуация выбора наиболее привлекательной альтернативы, когда имеется полная информация об оценках всех альтернативах по всем критериям и по важности (весах) альтернатив. Данное условие в математической модели предполагает, что каждый критерий измеряется количественно и его показатель привлекательности для каждой альтернативы пропорционален его количественной оценке. Если критерии качественные, то численные оценки по ним получаются с помощью экспертного оценивания [2].

Основной акцент при оценке возможности страхования зданий и сооружений должен быть поставлен на противопожарном страховании имущества и других опасностей, а также на вопросах страхования ответственности перед третьими лицами. Противопожарное страхование обеспечивает защиту от наиболее катастрофических по своему характеру событий и явлений, воздействие которых может поставить вопрос о самом существовании предприятия, несмотря на отлаженный механизм управления компанией, блестящие перспективы развития и благоприятную рыночную конъюнктуру, а страхование ответственности обеспечивает надежную защиту репутации и финансового благополучия компании от возможных претензий со стороны третьих лиц.

При анализе терминологии, касающейся оценки возможности страхования зданий и сооружений при пожаре, необходимо выделить ряд следующих понятий.

Объект страхования – это имущественный интерес, связанный с сохранением материальных благ страхователя, обусловленный желанием переложить риск утраты или ухудшения состояния конкретизированных объектов на страховщика. Это

законный интерес, имеющийся у лица в отношении вещей и имущественных прав (например, возникающий на основании договора аренды или купли/продажи).

Механизм страховой защиты позволяет минимизировать расходы предприятия/организации при авариях, форс-мажорных обстоятельствах, перерывах в коммерческой деятельности и многих других возможных случайных событий, носящих вероятностный характер.

Управление промышленной безопасностью объекта – это организация выполнения требований промышленной безопасности по установленной системой управления промышленной безопасностью технологии (технология обеспечения промышленной безопасности). Система управления промышленной безопасностью организации – это входящая в систему управления организацией функциональная подсистема, включающая руководителей и органы управления, которые организуют работы по выполнению требований промышленной безопасности структурными подразделениями, службами, должностными лицами, специалистами, работниками и физическими лицами.

В статье за основную функцию системы управления пожарным риском принято обеспечение требуемых показателей эффективности управления риском возникновения пожаров в социальных и экономических системах.

Процесс выработки решений по управлению пожарным риском следует представить в виде трех компонентов:

$t_{cp/пф}$ – среднее время возникновения негативных факторов, приводящих к пожарам;

$t_{cp/и}$ – среднее время идентификации негативных факторов;

$t_{cp/н}$ – среднее время нейтрализации негативных факторов;

P – показатель эффективности управления пожарным риском, направленным на предупреждение возникновения пожаров.

Далее необходимо сформировать модель управления пожарным риском, в которой рассматривается деятельность второй стороны (в нашем случае, внешней среды).

Методика построения модели принятия решений в противопожарном страховании представляется нами в виде следующей итерации шагов.

Этап 1. Формируется поток поражающих факторов λ .

$\lambda_1(t), \lambda_2(t), \dots, \lambda_n(t)$ – интенсивности появления ПФ,

где $\lambda_i(t) = \frac{1}{t_{cp/пф}^i}$, $t_{cp/пф}^i$ – среднее время появления i -го поражающего фактора, p – количество факторов воздействий.

Этап 2. Идентификация информационной подсистемой опасных ПФ с интенсивностью $v^1_{и}, v^2_{и}, v^3_{и}, \dots, v^n_{и}$,

где $v_i И = \frac{1}{t_{ср/и}^i}$, $t^i_{ср/и}$ – среднее время, необходимое для идентификации i -го поражающего фактора.

Этап 3. Данные информационной подсистемы об обнаруженных ПФ поступают в подсистему управления. Действия подсистемы управления при обеспечении устранения выявленных ПФ выполняются с интенсивностью $V^1_{проф}, V^2_{проф}, V^3_{проф}, \dots, V^n_{проф}$.

где $v_i проф = \frac{1}{t_{ср/и}^i}$, $t^i_{ср/и}$ – среднее время, необходимое для нейтрализации идентифицированного i -го поражающего фактора.

В процессе функционирования двух сторон складывается обобщенный показатель эффективности как комбинация соответствующих функций (пространства и времени) – интенсивностей соответствующих компонентов $\lambda(t), v_i(t), v_{проф}(t)$.

Рассмотрим формирование потенциалов показателя эффективности при решении задачи об управлении пожарным риском на основе страховой деятельности [5].

Правилами страхования имущества юридических лиц от огня и других опасностей каждого Страховщика предусмотрена возможность возмещения реального ущерба вследствие гибели, утраты или повреждения застрахованного имущества, возникшего в результате следующих событияи:

РИСК 1: пожар, удар молнии, взрыв, в том числе взрыв газа, употребляемого в бытовых целях, падение пилотируемых летательных аппаратов или их частей.

Кроме того, по соглашению сторон, особо оговоренному в договоре страхования, Страховщик может в дополнение к страхованию от рисков, перечисленных выше, предоставить страховую защиту от повреждения, утраты или гибели имущества вследствие следующих событияи (далее «ДУ» – дополнительные условия):

РИСК 2: повреждение водой (ДУ No1 страхования от повреждения водой);

РИСК 3: стихийные бедствия (ДУ No2 страхования от стихийных бедствий);

РИСК 4: посторонние воздействия (ДУ No3 страхования от посторонних воздействий);

РИСК 5: противоправные действия третьих лиц (ДУ No4 страхования от противоправных действий третьих лиц);

РИСК 6: поломки машин и оборудования (ДУ No5 страхования поломок машин и оборудования);

РИСК 7: кража со взломом, разбой и грабеж наличных денег (ДУ No6 страхования наличных денег от кражи со взломом, разбоя и грабежа);

РИСК 8: бои стекол (ДУ No7 страхования боя стекол);

РИСК 9: повреждение электронного оборудования (ДУ No8 страхования электронного оборудования);

РИСК 10: порча имущества в холодильных камерах (ДУ No9 страхования от порчи имущества в холодильных камерах);

РИСК 11: ущерб при погрузочно-разгрузочных работах (ДУ No10 страхования от ущерба при погрузочно-разгрузочных работах);

РИСК 12: терроризм, диверсии (ДУ No11 страхования от терроризма и диверсии).

Вероятности состояний системы предупреждения возникновения пожаров обозначены [5]:

P 00 - информационная система (ИС) РСЧС и система управления (СУ), устраняющая выявленные факторы свободны от обслуживания негативных факторов;

P 10 – ИС занята получением информации по об одном факторе (явлении), СУ свободна от обслуживания;

P 01 – ИС свободна, а СУ занята обработкой информации о факторе и выработкой решения на применение сил и средств;

P 11 – обе системы заняты.

Необходимо составить дифференциальные уравнения состояний СУПР. Соответственно обозначаются состояния системы: A 00, A 10, A 01, A 11.

Соотношение для состояния A 00:

$$P_{00}(T + \Delta T) = P_{00}(t)(1 - \lambda \Delta t) + P_{01}(t)\lambda^{проф} \Delta t \quad (1)$$

Соотношение для состояния A 01:

$$\frac{d}{dt} P_{01}(t) = -P_{01}(t)(\lambda + V^{проф}) + P_{11}(t)V^И + P_{10}(t)V^И \dots (2)$$

Соотношение для состояния A 10:

$$\frac{d}{dt} P_{10}(t) = P_{00}(t)\lambda - P_{10}(t)v^И + P_{11}(t)v^{проф} \quad (3)$$

Соотношение для состояния A 11:

$$\frac{d}{dt} P_{11}(t) = P_{01}(t)\lambda - P_{11}(t)(v^И + v^{проф}) \quad (4)$$

Общая система уравнений, описывающая все возможные состояния СУПР, представляется в следующем виде:

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} P_{00}(t) &= -P_{00}(t)\lambda + P_{01}(t)v^{\text{проф}} \\ \frac{d}{dt} P_{01}(t) &= -P_{01}(t)(\lambda + v^{\text{проф}}) + P_{11}(t)v^{\text{И}} + P_{10}(t)v^{\text{И}} \\ \frac{d}{dt} P_{10}(t) &= P_{00}(t)\lambda - P_{10}(t)v^{\text{И}} + P_{11}(t)v^{\text{проф}} \\ \frac{d}{dt} P_{11}(t) &= P_{01}(t)\lambda - P_{11}(t)(v^{\text{И}} + v^{\text{проф}}) \end{aligned} \quad (5)$$

при граничных условиях: $P_{i0}(t_0) = 1$, $P_{i1}(t_0) = 0$.

Таким образом, показано, как построена базовая модель взаимодействия между системой страхования и внешней средой.

Разработанный инструмент позволяет оценить эффективность проведения

профилактических мероприятий, прогнозировать результаты деятельности системы управления пожарным риском и выработать определенные требования ее деятельности для поддержания требуемого показателя эффективности.

Библиографический список

References

1. Иванов А.К. Исторический и правовой аспект зарождения противопожарного страхования в России / А.К. Иванов // Вестник Восточно-Сибирского института МВД России. – 2016. – № 2 (77). – С. 25-30.

2. Шмырева М.Б., Калач Е.В., Шаталов Н.С. Проблемы и перспективы развития противопожарного страхования в Российской Федерации / М.Б. Шмырева, Е.В. Калач, Н.С. Шаталов // Современные технологии обеспечения гражданской обороны и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. – 2016. – Т. 2. – № 1 (7). – С. 157-159.

3. Захарова Е.В. Особенности противопожарного страхования в России / Е.В. Захарова // Современные технологии обеспечения гражданской обороны и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. – 2016. – Т. 2. – № 1 (7). – С. 56-61.

4. Отгон, Ф.В. [и др.] Противопожарное страхование в Российской Федерации: проблемы и перспективы развития / Ф.В. Отгон // Современные технологии обеспечения гражданской обороны и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. – 2016. – Т. 2. – № 1 (7). – С. 75-80.

5. Бурлов В.Г., Магулян Г.Г., Матвеев А.В. Общий подход к моделированию систем обеспечения безопасности / В.Г. Бурлов, Г.Г. Магулян, А.В. Матвеев // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Информатика. Телекоммуникации. Управление. – 2011. – Т. 5. – № 133. – С. 73-76.

6. Liu F. [et al.] Fire risk assessment for large-scale commercial buildings based on structure entropy weight method / F. Liu // Safety Science. – 2017. – V. 94. – pp. 26-40.

7. Park K.W. [et al.] Experimental Study on the Effect of Frame Height of Bed Mattress upon Fire Behavior in Compartment / K.W. Park // Fire Science and Technology 2015. – Springer Singapore, 2017. – pp. 397-407.

1. Ivanov A.K. Istoricheskij i pravovoj aspekt zarozhdeniya protivopozharnogo strahovaniya v Rossii / A.K. Ivanov // Vestnik Vostochno-Sibirskogo instituta MVD Rossii. – 2016. – № 2 (77). – S. 25-30.

2. Shmyreva M.B., Kalach E.V., Shatalov N.S. Problemy i perspektivy razvitiya protivopozharnogo strahovaniya v Rossijskoj Federacii / M.B. Shmyreva, E.V. Kalach, N.S. Shatalov // Sovremennye tekhnologii obespecheniya grazhdanskoj oborony i likvidacii posledstvij chrezvychajnyh situacij. – 2016. – T. 2. – № 1 (7). – S. 157-159.

3. Zaharova E.V. Osobennosti protivopozharnogo strahovaniya v Rossii / E.V. Zaharova // Sovremennye tekhnologii obespecheniya grazhdanskoj oborony i likvidacii posledstvij chrezvychajnyh situacij. – 2016. – T. 2. – № 1 (7). – S. 56-61.

4. Otgon F.V. [i dr.] Protivopozharnoe strahovanie v Rossijskoj Federacii: problemy i perspektivy razvitiya / F.V. Otgon // Sovremennye tekhnologii obespecheniya grazhdanskoj oborony i likvidacii posledstvij chrezvychajnyh situacij. – 2016. – part 2. – № 1 (7). – S. 75-80.

5. Burlov V.G., Magulyan G.G., Matveev A.V. Obshchij podhod k modelirovaniyu sistem obespecheniya bezopasnosti / V.G. Burlov, G.G. Magulyan, A.V. Matveev // Nauchno-tekhnicheskie vedomosti Sankt-peterburgskogo gosudarstvennogo politekhnicheskogo universiteta. informatika. telekommunikacii. Pravlenie. – 2011. – part 5. – № 133. – S. 73-76.

6. Liu, F. [et al.] Fire risk assessment for large-scale commercial buildings based on structure entropy weight method / F. Liu // Safety Science. – 2017. – V. 94. – pp. 26-40.

7. Park, K.W. [et al.] Experimental Study on the Effect of Frame Height of Bed Mattress upon Fire Behavior in Compartment / K.W. Park // Fire Science and Technology 2015. – Springer Singapore, 2017. – pp. 397-407.

8. Clark J.R., Lee, D.R. *Too Inexpensive to Be Inexpensive: How Government Censorship Increases Costs by Disguising Them* / J.R. Clark, D.R. Lee // *Explorations in Public Sector Economics*. – Springer International Publishing, 2017. – pp. 35-50.

8. Clark, J.R., Lee, D.R. *Too Inexpensive to Be Inexpensive: How Government Censorship Increases Costs by Disguising Them* / J.R. Clark, D.R. Lee // *Explorations in Public Sector Economics*. – Springer International Publishing, 2017. – pp. 35-50.

APPLICATION OF THE METHOD OF CLUSTER ANALYSIS AT THE SELECTION OF CRITERIA FOR CLASSIFICATION OF OBJECTS IN FIRE INSURANCE

A technique is proposed that will allow selecting characteristics not only for solving the problem of classification of objects in fire insurance based on the method of main components, but also for conducting cluster analysis. The approach considered in the article in combination with the singular decomposition of the object-attribute matrix makes it possible to select a working dictionary of fire danger signs that is resistant to changes in the a priori unknown parameter of the data model.

Keywords: *Fire insurance, fire insurance, main components method, cluster analysis method.*

Шмырева Марианна Борисовна,

научный сотрудник,

к.э.н.,

Воронежский институт ГПС МЧС России,

Россия, Воронеж,

e-mail: mariannaforme@gmail.com

Shmyreva M.B.,

researcher,

Ph. D.,

Voronezh Institute of State Firefighting Service of EMERCOM of Russia,

Russia, Voronezh.

Зенин Александр Юрьевич,

ФГКУ «Специальное управление ФПС No 37 МЧС России»,

Россия, г. Воронеж,

Zenin A.Yu.,

FGKU «Special management the Federal fire service №37 of EMERCOM of Russia»,

Russia, Voronezh.

Шкарупета Елена Витальевна,

Доцент кафедры защиты населения и территории,

Доцент, к.э.н.,

Воронежский институт ГПС МЧС России,

Россия, Воронеж,

Shkarupeta E.V.,

Associate Professor of the Department of protection of population and territories

Associate Professor, Ph. D.,

Voronezh Institute of State Firefighting Service of EMERCOM of Russia,

Russia, Voronezh.

Калач Андрей Владимирович,

Заместитель начальника института по научной работе,

Профессор, д.х.н.,

Воронежский институт ГПС МЧС России,

Россия, Воронеж,

e-mail: AVKalach@gmail.com

Kalach A.V.,

The deputy chief on scientific work f Institute,

Prof., Sc. In Chemistry,

Voronezh Institute of State Firefighting Service of EMERCOM of Russia,

Russia, Voronezh.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДИКИ КЛАСТЕРНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ ОБЪЕКТОВ ПРОТИВОПОЖАРНОГО СТРАХОВАНИЯ

А.Ю. Зенин, Е.В. Шкарупета, А.В. Калач, М.Б. Шмырева

Предложена методика, которая позволит отбирать признаки не только для решения задачи классификации объектов в противопожарном страховании на основе метода главных компонент, но и для проведения кластерного анализа. Рассмотренный в статье подход в сочетании с сингулярным разложением матрицы «объект-признак» позволяет выбрать рабочий словарь признаков пожарной опасности, устойчивый к изменениям априорно неизвестного параметра модели данных.

Ключевые слова: *противопожарное страхование, страхование от огня, метод главных компонент, метод кластерного анализа.*

При моделировании технических систем, которые подвержены воздействию стохастических факторов, широкое распространение получили вероятностные модели. Одним из наиболее распространенных

методов в распознавании является статистический метод, основанный на байесовской теории [1].

Основой этого метода является известная теорема Байеса:

$$P(S_i / A) = \frac{P(S_i)P(A / S_i)}{P(A)}, \quad (1)$$

где $P(S_i / A)$ – апостериорное значение величины S_i при условии, что произошло событие A ;

$P(A / S_i)$ – условная вероятность наступления события A при условии, что произошло событие S_i .

Покажем возможности использования байесовского подхода в сфере оценки пожарного риска. В настоящем исследовании необходимо определить влияние некоторого фактора (угрозы) Y на степень некоторого типа противопожарной защиты объектов, представленных на рисунке 1.

- 1) жилое здание высотой до 28 м
- 2) жилое здание высотой более 28 м
- 3) здание гостиницы
- 4) здание театра
- 5) здание музея
- 6) здание концертного зала
- 7) здание магазина
- 8) здание столовой
- 9) здание вокзала
- 10) здание ВУЗа
- 11) здание школы
- 12) офисное здание высотой более 28 м
- 13) здание склада каучука завода СК
- 14) здание ЦЗЛ
- 15) здание мельницы

Рис. 1. *Объекты для классификации в противопожарном страховании на основе метода главных компонент и проведения кластерного анализа*

Унифицированные критерии оценки объектов противопожарного страхования

- 1 Применение электрооборудования, соответствующего классу пожароопасной и (или) взрывоопасной зоны, категории и группе взрывоопасной смеси
- 2 Применение в конструкции быстродействующих средств защитного отключения электроустановок или других устройств, исключающих появление источников зажигания
- 3 Применение оборудования и режимов проведения технологического процесса, исключающих образование статического электричества
- 4 Устройство молниезащиты зданий, сооружений и оборудования
- 5 Применение устройств, исключающих возможность распространения пламени из одного объема в смежный
- 6 Применение объемно-планировочных решений и средств, обеспечивающих ограничение распространения пожара
- 7 Устройство эвакуационных путей, удовлетворяющих требованиям безопасной эвакуации людей.
- 8 Устройство систем обнаружения пожара, оповещения и управления эвакуацией людей
- 9 Применение систем коллективной защиты (в том числе противодымной) обеспечивающей деятельность пожарной охраны
- 10 Применение основных строительных конструкций с пределами огнестойкости и классами пожарной опасности, соответствующими требуемому уровню огнестойкости и классу конструктивной пожарной опасности зданий и сооружений
- 11 Применение огнезащитных составов и строительных материалов для повышения пределов огнестойкости строительных конструкций
- 12 Устройство аварийного слива пожароопасных жидкостей и аварийного стравливания горючих газов из аппаратуры
- 13 Применение первичных средств пожаротушения
- 14 Применение автоматических установок пожаротушения
- 15 Наличие лифтов для перевозки пожарных подразделений
- 16 Наличие противопожарного водоснабжения
- 17 Организация деятельности подразделений пожарной охраны на объекте
- 18 Наличие требуемых проездов и подъездов пожарной техники
- 19 Организация обучения работников по программам ПТМ (пожарно-технического минимума), противопожарным инструктажам
- 20 Организация добровольной пожарной охраны на объекте

Рис. 2. Унифицированные критерии для оценки объектов противопожарного страхования

Для выявления из всех признаков тех, которые являются наиболее информативными, с точки зрения задачи распознавания, предлагается предварительно провести анализ данным методом главных компонент.

В этом случае методику можно представить следующими основными этапами:

4. Сингулярное разложение корреляционной матрицы $R=USV^T$, где U и V – ортогональные матрицы левых и правых сингулярных векторов; S – матрица-вектор

1. Составление исходной матрицы X «объект-признак» размером $m \times n$.

2. Составление ковариационной матрицы признаков $K_{n \times n} = X^T X$.

3. Составление корреляционной матрицы, элементами которой являются:

$$R_{ij} = \frac{K_{ij}}{\sqrt{K_{ii}K_{jj}}} \quad (2)$$

сингулярных чисел, расположенных в порядке убывания [2].

5. Определение k главных компонент, определяемых по соотношению первых

сингулярных чисел.

6. Из анализа первых k столбцов (главных компонент) матрицы U определяются компонентные веса, приходящиеся на каждый информационный признак.

7. Проводится кросс-валидация (в случае малой выборки объектов) или «зашумление» путем добавления исходной матрицы X , и пункты 1–6 повторяются.

8. Определяются признаки, которые по результатам двух расчетов имеют наибольшие компонентные веса. Они и отбираются в качестве признаков для дальнейшей процедуры распознавания.

Очевидно, что предлагаемая методика позволит отбирать признаки не только для решения задачи классификации объектов, но и для проведения кластерного анализа [1].

Проведем верификацию методики кластерного анализа в оценке 15 объектов противопожарного страхования, представленных на рисунке 1 выше.

Вначале выделим критерии для определения коэффициента оценки противопожарного состояния 15 объектов. К данным критериям, по мнению авторов, следует отнести следующие (рисунок 2).

С целью осуществления экспертной оценки организуются две группы экспертов, специализирующихся в области страхования и перестрахования и знакомых друг с другом. В первую группу включены специалисты перестраховочных компаний, а во вторую – специалисты по страхованию имущественных рисков. Число экспертов в группе № 1 равно 5 человек; число экспертов в группе № 2 также равно 5.

Результаты кластерного анализа объектов противопожарного страхования представлены на рисунке 3 ниже. Данные предварительно нормировались. При анализе определялся метод анализа, вид формулы для расстояния (евклидово) и количество кластеров (3) в эталонном алгоритме.

Таблица

Результаты нормализованного значения при определении коэффициента оценки противопожарного состояния объектов

Критерий**	Единица измерения	Значения в нормализованной матрице u_{ij} *														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	Не требуется	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	-	1	1	1
2	Да	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	Не требуется	-	-	-	2	2	2	1	2	2	1	1	-	1	1	1
4	Неисправно	2	1	1	2	1	3	1	3	1	1	1	2	1	1	1
5	Не требуется	-	-	-	-	3	3	3	3	3	3	1	1	1	1	1
6	Да	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1
7	Да	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
8	Не требуется	-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
9	Не требуется	-	1	-	3	3	3	3	3	1	1	-	1	1	1	1
10	Да	1	1	1	1	1	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1
11	Не требуется	-	-	-	1	3	1	3	3	1	1	-	-	-	-	1
12	Не требуется	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	1	-

Критерий**	Единица измерения	Значения в нормализованной матрице u_{ij} *														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
13	Нет	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1
14	Не требуется	-	-	-	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	-	-	-	1	2	2
15	Не требуется	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-
16	Да	1	1	1	1	-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
17	Не требуется	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	2
18	Да	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
19	Низкая	3	3	1	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	2	1
20	Нет	2	2	1	-	-	-	-	-	-	-	1	2	1	1	1

* Нумерация объектов в соответствии с рис. 1. ** Нумерация критериев в соответствии с рис. 2

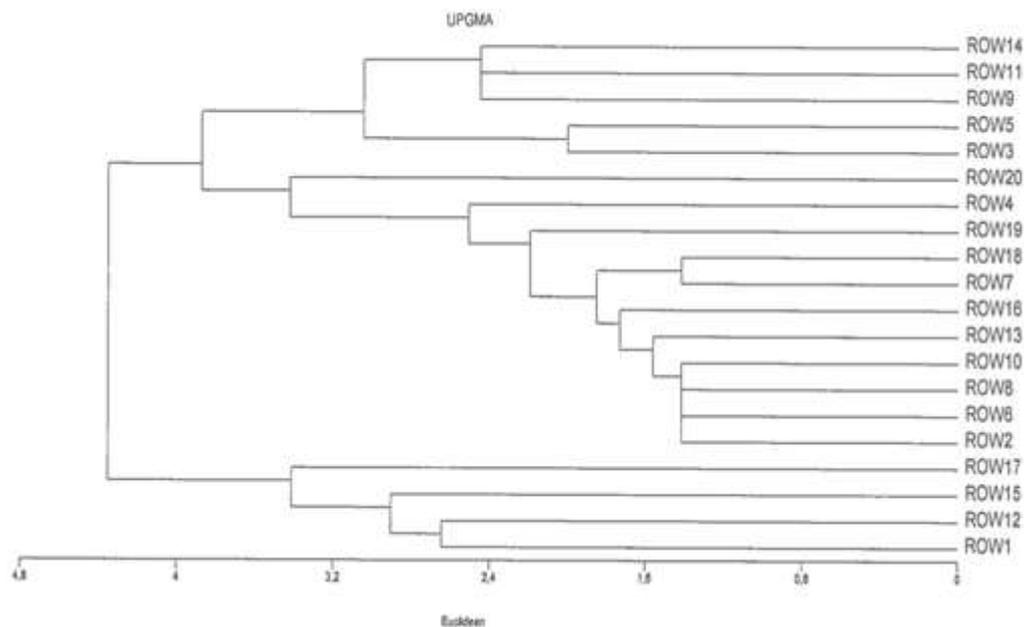


Рис. 3. Результаты кластерного анализа объектов противопожарного страхования

Таким образом, рассмотренный подход в сочетании с сингулярным разложением матрицы «объект-признак» позволяет выбрать рабочий

словарь признаков пожарной опасности, устойчивый к изменениям априорно неизвестного параметра модели данных.

Библиографический список

References

1. Зикратов И.А., Тяхтерекоев С.А., Чижоев В.А. Методика выбора информативных признаков для классификации объектов на основе метода главных компонент // Научно-аналитический журнал «Вестник Санкт-Петербургского университета государственной противопожарной службы МЧС России». – 2014. – № 3. – С. 40-44.
2. Бондарев А.Е., Галактионов В.А. Визуальный анализ кластерных структур в многомерных объемах данных // Научная визуализация. – 2016. – Т. 8. – № 3. – С. 1-24.
3. Сметанкина Г.И., Деревянка В.М. Социально-экономические аспекты противопожарного страхования в современной России // Новая наука: современное состояние и пути развития. – 2016. – № 9. – С. 248-250.
4. Ермасова Н., Ермасов С. Страхование. – Litres, 2016.
5. Зенин А.Ю. и др. Методический подход к оценке и экономическому обоснованию тарифных ставок противопожарного страхования имущества // Вестник Воронежского института ГПС МЧС России. – 2016. – № 1 (18).
6. Abakanov T. et al. Formalised assessment of the earth crust seismic potential (Mmax) of Kazakhstan based on a complex of seismogeophysical parameters // Қазақстан Республикасы. – 2016. – Т. 2224.
7. Трифонов Б.И. Практические аспекты расчета тарифа в рисковом виде страхования // Стратегии бизнеса. – 2016. – № 3 (23).
8. Суханов Ю.Ю. О некоторых особенностях независимой оценки пожарного риска в Российской Федерации // Новая наука: современное состояние и пути развития. – 2016.
9. Lozhkin V. et al. Differential neural network approach in information process for prediction of roadside air pollution by peat fire // Materials Science and Engineering Conference Series. – 2016. – Т. 158. – № 1. – P. 012063.
10. Porfiriev B. Crises in Russia: contemporary management policy and practice from a historical perspective. – Routledge, 2016.
11. Rawlings P. The Great Fire of London and the Origins of Fire Insurance: A Brief Note // Browser Download This Paper. – 2016.
1. Zikratov I.A., Tekhterekov S.A., Chizhov V.A. Metodika vybora informativnyh priznakov dlya klassifikacii ob'ektov na osnove metoda glavnyh komponent // nauchno-analiticheskij zhurnal «Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta gosudarstvennoj protivopozharnoj sluzhby MCHS Rossii». – 2014. – № 3. – S. 40-44.
2. Bondarev A.E., Galaktionov V.A. Vizual'nyj analiz klasternyh struktur v mnogomernyh ob'emah dannyh // Nauchnaya vizualizaciya. – 2016. – T. 8. – № 3. – S. 1-24.
3. Smetankina G.I., Derevyanko V.M. Social'no-ehkonomicheskie aspekty protivopozharnogo strahovaniya v sovremennoj Rossii // Novaya nauka: sovremennoe sostoyanie i puti razvitiya. – 2016. – № 9. – S. 248-250.
4. Ermasova N., Ermasov S. Strahovanie. – Litres, 2016.
5. Zenin A.Yu. i dr. Metodicheskij podhod k ocenke i ehkonomicheskomu obosnovaniyu tarifnyh stavok protivopozharnogo strahovaniya imushchestva // Vestnik Voronezhskogo instituta GPS MCHS Rossii. – 2016. – № 1 (18).
6. Abakanov T. et al. Formalised assessment of the earth crust seismic potential (Mmax) of Kazakhstan based on a complex of seismogeophysical parameters // Қазақстан Respublikasy. – 2016. – T. 2224.
7. Trifonov B.I. Prakticheskie aspekty rascheta tarifa v riskovyh vidah strahovaniya // Strategii biznesa. – 2016. – № 3 (23).
8. Suhanov Yu.Yu. O nekotoryh osobennostyah nezavisimoy oenki pozharnogo riska v Rossijskoj Federacii // Novaya nauka: sovremennoe sostoyanie i puti razvitiya. – 2016.
9. Lozhkin V. et al. Differential neural network approach in information process for prediction of roadside air pollution by peat fire // Materials Science and Engineering Conference Series. – 2016. – T. 158. – №. 1. – P. 012063.
10. Porfiriev B. Crises in Russia: contemporary management policy and practice from a historical perspective. – Routledge, 2016.
11. Rawlings P. The Great Fire of London and the Origins of Fire Insurance: A Brief Note //Browser Download This Paper. – 2016.

TECHNIQUE OF THE CHOICE OF CRITERIA FOR CLASSIFICATION OF OBJECTS IN FIRE-PROOF INSURANCE ON THE BASIS OF A METHOD MAIN A COMPONENT

A technique is proposed that will allow selecting characteristics not only for solving the problem of classification of objects in fire insurance based on the method of main components, but also for conducting cluster analysis. The approach considered in the article in combination with the singular decomposition of the object-attribute matrix makes it possible to select a working dictionary of fire danger signs that is resistant to changes in the a priori unknown parameter of the data model.

Keywords: fire-proof insurance, insurance upon fire, method main component.

Зенин Александр Юрьевич,
*ФГКУ «Специальное управление ФПС № 37 МЧС России»,
Россия, Воронеж,
Zenin A.Yu.,
FGKU «Special management the Federal fire service №37 of EMERCOM of Russia»,
Russia, Voronezh.*

Шкарупета Елена Витальевна,
*доцент кафедры защиты населения и территории,
доцент, к.э.н.,
Воронежский институт ГПС МЧС России,
Россия, Воронеж,
Shkarupeta E.V.,
associate professor of the Department of protection of population and territories,
associate professor, Ph. D.,
Voronezh Institute of State Firefighting Service of EMERCOM of Russia,
Russia, Voronezh.*

Калач Андрей Владимирович,
*заместитель начальника института по научной работе,
профессор, д.х.н.,
Воронежский институт ГПС МЧС России,
Россия, Воронеж,
e-mail: AVKalach@gmail.com
Kalach A.V.,
the deputy chief on scientific work f Institute,
prof., Sc. In Chemistry,
Voronezh Institute of State Firefighting Service of EMERCOM of Russia,
Russia, Voronezh.*

Шмырева Марианна Борисовна,
*научный сотрудник,
к.э.н.,
Воронежский институт ГПС МЧС России,
Россия, Воронеж,
e-mail: mariannaforme@gmail.com
Shmyreva M.B.,
researcher,
Ph. D.,
Voronezh Institute of State Firefighting Service of EMERCOM of Russia,
Russia, Voronezh.*

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ

УДК 681.05.1

ОПТИМИЗАЦИЯ ТРАЕКТОРИИ ПОЛЕТА БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА ПРИ ОПОВЕЩЕНИИ НАСЕЛЕНИЯ МАЛЫХ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ

Н.С. Шимон, А.В. Калач

В статье рассматриваются основы поиска оптимального алгоритма движения беспилотных летательных аппаратов для оповещения населения малых населенных пунктов. Определяется минимум времени оповещения путем выбора оптимальной последовательности точек в траектории движения беспилотных летательных аппаратов.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, оповещение населения, ЧС, алгоритм.

В настоящее время наблюдается лавинообразный рост интереса к беспилотной авиации как инновационному направлению развития современной техники. По оценкам специалистов годовой объем рынка беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), составлявший в 2009 году около 5 млрд долларов, должен к 2020 году превысить отметку 50 млрд долларов. Неудивительно, что интерес к тематике беспилотных авиационных комплексов растет лавинообразно, и на сегодняшний день разработками беспилотных аппаратов занимаются более чем в 70 странах мира. К числу признанных лидеров в области разработки и использования беспилотной техники принято относить США (до 40% объема рынка) и Израиль (до 4% объема рынка), являющихся крупнейшими поставщиками такой техники. Российская федерация не может находиться в стороне от развития беспилотной авиации.

Одним из важных применений БПЛА является мониторинг, предупреждение и оповещение населения при угрозе возникновения чрезвычайных ситуаций.

При угрозе возникновения чрезвычайной ситуации в определенной местности органы государственной власти, местного самоуправления и подразделения МЧС России производят оповещение населения.

Наибольшие сложности представляет оповещение в малых населенных пунктах и отдельных объектов (турбазы, дачные участки, машинно-тракторные станции и т.п.). Примерами чрезвычайных ситуаций, требующих локального оповещения объектов могут быть приближающийся к объекту лесной пожар, угроза затопления объекта, прогнозируемый сход снежной лавины на объект.

В настоящее время производители

беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) предлагают использовать их для оповещения населения о ЧС. Такой способ может быть особенно эффективен для малых населенных пунктов и изолированных объектов. Запущенные оператором БПЛА могут двигаться со скоростью порядка 5...50 м/с и за короткое время облететь заданную местность. БПЛА самолетного типа могут издавать звуковой сигнал «Внимание всем!» (звук однотональной сирены, оповещающий население о необходимости включить теле- или радиоприемники), а БПЛА вертолетного или мультикоптерного типа могут останавливаться в определенных точках и передавать подробные звуковые сообщения в радиусе 10-100 м.

Одной из проблем способа оповещения с помощью БПЛА является планирование оптимальной траектории движения БПЛА, чтобы минимизировать время оповещения объекта или максимизировать площадь, охватываемую оповещением [3, 4]. Современные БПЛА оснащены системами компьютерного управления и ГЛОНАСС- или GPS-приемником, позволяющим направлять БПЛА по заданному маршруту. Поэтому проблема наиболее результативно может быть решена с использованием спутниковой карты и компьютерной оптимизации траектории движения БПЛА, а также координат и времени остановок для БПЛА вертолетного или мультикоптерного типа.

В случае использования БПЛА мультикоптерного типа задача поиска оптимального алгоритма полета сводится к минимизации длины траектории в виде ломаной линии (рис.), либо времени полета.

Перед началом необходимо оператор задает точки зависания БПЛА и передачи голосовых сообщений. Современные технологии оптического распознавания позволяют определять

по спутниковым картам здания и сооружения, и автоматически выбирать точки остановки БПЛА

так, чтобы радиус оповещения охватывал наибольшее количество целевых объектов.

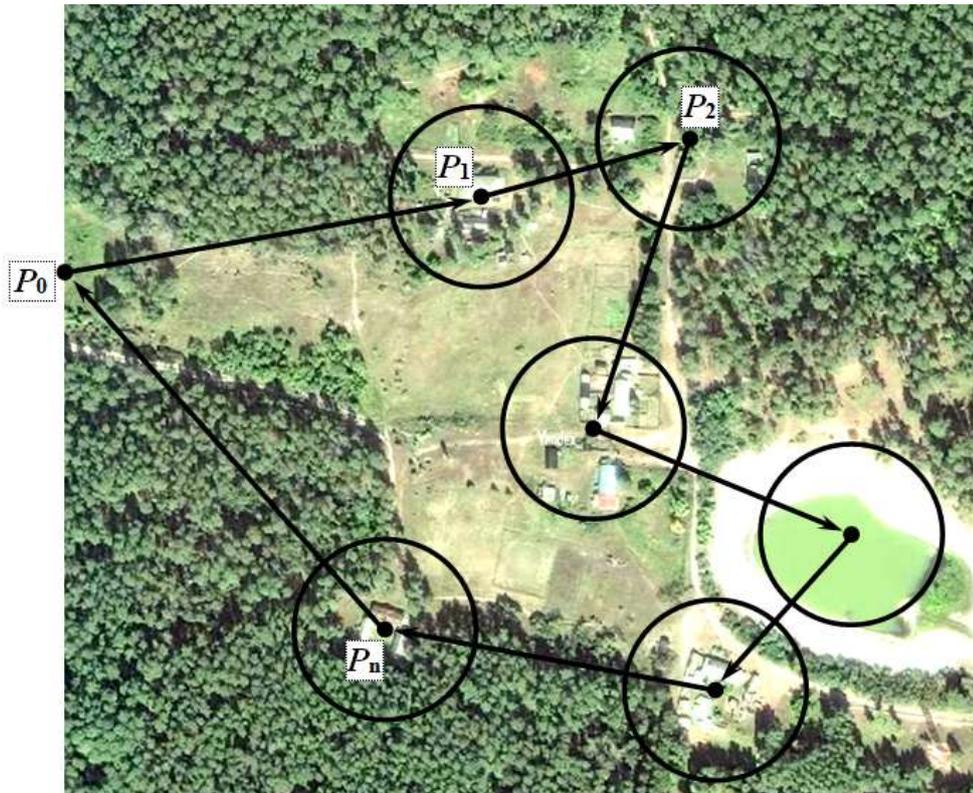


Рис. Возможная траектория движения БПЛА мультикоптерного типа при оповещения населения населенного пункта Чистое Воронежской области (кругами показаны зоны охвата звуковым оповещением)

Изложим математические основы поиска оптимального алгоритма движения БПЛА. Исходными данными служит набор точек $P_0, P_1, P_2, \dots, P_n$, заданных оператором и привязанных к спутниковой карте местности. Задача построения оптимальной траектории заключается в выборе последовательности перелета между точками, таким образом, чтобы суммарное время полета было минимальным. Время полета может немонотонно зависеть от длины траектории, так как на скорость полета может оказывать существенное

влияние (около 10-50 %) ветер (от 3 до 10 м/с). Поэтому целесообразно минимизировать именно суммарное время оповещения, но не длину траектории. Кроме того, в случае оптического распознавания координат зданий в алгоритм оптимизации может включаться и выбор координат точек зависания $(x_{P_i}, y_{P_i}, z_{P_i})$.

Для расчета суммарного времени полета $t_{\text{сум}}$ предлагается использовать следующую формулу:

$$t_{\text{сум}} = n \cdot t_{\text{оп}} + \sum_{i=0, n+1 \Rightarrow i=0}^{n+1} \left(t_p + \frac{\sqrt{(x_{P_{i-1}} - x_{P_i})^2 + (y_{P_{i-1}} - y_{P_i})^2} - L_p - L_m}{v_m + v_e \cos \left(\text{Arctg} \left(\frac{y_{P_{i-1}} - y_{P_i}}{x_{P_{i-1}} - x_{P_i}} \right) - \varphi_e \right)} + t_m \right),$$

где n – количество точек остановки, $t_{\text{оп}}$ – время голосового оповещения; t_p и t_t – время разгона и торможения при движении по прямолинейному участку (порядка 2-5 с); L_p и L_t – длина участков разгона и торможения (порядка 10-30 м); (x_{P_i}, y_{P_i}) – координаты i -й точки остановки мультикоптера; v_m – скорость мультикоптера; v_e и φ_e – скорость и угол направления ветра; прописные

буквы в обозначениях \cos и Arctg означают коррекцию углов под косинусом на переход $0-360^\circ$ и удвоение диапазона 180° для арктангенса. Действие « $i = n+1 \Rightarrow i = 0$ » означает, что последней точкой остановки мультикоптера будет не точка P_{n+1} , а точка P_0 (возврат в исходную точку запуска).

Задача оптимизации плана полета записывается аналитически следующим образом.

$$t_{\text{сум}}(P_0, P_i, P_j, \dots, P_n, v_g, \varphi_g) \rightarrow \min \Rightarrow i, j, \dots,$$

То есть, необходимо добиться минимума времени оповещения $t_{\text{сум}}$ путем выбора оптимальной последовательности точек i, j , и т.д. В настоящее время ведется работа по разработке компьютерной программы, реализующей предложенный метод

оптимизации плана полета БПЛА.

Таким образом, разработана методологическая основа выбора оптимального алгоритма движения БПЛА при оповещении населения в малых населенных пунктах и изолированных объектах.

Библиографический список

References

1. Моисеев В.С. Основы теории эффективного применения беспилотных летательных аппаратов: монограф / В.С. Моисеев. – Казань: Редакционно-издательский центр «Школа», 2015. – 444 с. (Сер. «Современная прикладная математика и информатика»).

2. Ефимов А.П. Акустика: Справ. / А.П. Ефимов, А.В. Никонов, М.А. Сапожков, В.И. Шоров. – М.: Радио и связь, 1989. – 336 с.

3. Иванов Н.И. Инженерная акустика. Теория и практика борьбы с шумом: учеб. / Н.И. Иванов. – М.: Университетская книга, Логос, 2008. – 424 с.

4. Советов Б.Я. Моделирование систем: учеб. пособие / Б.Я. Советов, С.А. Яковлев. – М.: Высш. шк., 1998. – 319 с.

1. Moiseyev V.S. Osnovy teorii effektivnogo primeneniya bespilotnykh letatelnykh apparatov: monograf. – Kazan: Redaktsionno-izdatelskiy tsentr «Shkola». 2015. – 444 s. (Ser. «Sovremennaya prikladnaya matematika i informatika»).

2. Efimov A.P. Akustika: Sprav. / A.P. Efimov. A.V. Nikonov. M.A. Sapozhkov. V.I. Shorov. – M.: Radio i svyaz. 1989. – 336 s.

3. Ivanov N.I. Inzhenernaya akustika. Teoriya i praktika borby s shumom: ucheb. – M.: Universitetskaya kniga. Logos. 2008. – 424 s.

4. Sovetov B.Ya. Modelirovaniye sistem: Ucheb. posobiye / B.Ya. Sovetov. S.A. Yakovlev – M.: Vyssh. shk. 1998. – 319 s.

OPTIMIZATION OF THE TRAJECTORY OF THE FLIGHT OF THE UNBEILED FLYING APPARATUS IN AN APPROPRIATION OF THE POPULATION OF SMALL HUMAN SETTLEMENTS

The article deals with the foundations of searching for the optimal UAV motion algorithm for populating the population of small settlements. The minimum of the warning time is determined by choosing the optimal sequence of points in the UAV trajectory.

Keywords: *Unmanned aerial vehicle, population alert, emergency situation, algorithm.*

Шимон Николай Степанович,

*начальник организационно-научного и редакционно-издательского отдела,
к.т.н.,*

*Воронежский институт ГПС МЧС России,
Россия, Воронеж,*

Shimon N.S.,

*Head of Organizational-Scientific and Editorial-Publishing Department,
Cand. Of Tech. Sci.,*

*Voronezh Institute of State Firefighting Service of EMERCOM of Russia,
Russia, Voronezh.*

Калач Андрей Владимирович,

*заместитель начальника института по научной работе,
профессор, д.х.н.,*

*Воронежский институт ГПС МЧС России,
Россия, Воронеж,*

e-mail: AVKalach@gmail.com,

Kalach A.V.,

*The deputy chief on scientific work f Institute,
Prof., Sc. In Chemistry,*

*Voronezh Institute of State Firefighting Service of EMERCOM of Russia,
Russia, Voronezh.*

МЕТОДЫ И СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ, ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

УДК 004.056

ЛОГИКО-ВЕРОЯТНОСТНО-ИНФОРМАЦИОННЫЙ ПОДХОД К ИССЛЕДОВАНИЮ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ХОЗЯЙСТВУЮЩИХ СУБЪЕКТОВ

Е.А. Жидко, В.В. Пикалов, В.С. Ясакова

В статье рассматривается возможность реализации требований по информационной безопасности объектов защиты на основе разработки теоретических основ ее системного математического моделирования. Теория базируется на усовершенствованном логико-вероятностно-информационном подходе, в котором предусматривается комплексирование синтаксических, семантических и математических моделей, полученных теоретическими, эвентологическими и эмпирическими методами исследований информационной безопасности.

Ключевые слова: *хозяйствующий субъект, информационная безопасность, проектное управление, устойчивое развитие, информатизация, моделирование.*

Согласно [1] под информационной безопасностью (ИБ) Российской Федерации понимается состояние защищенности ее национальных интересов в информационной сфере, определяющихся совокупностью сбалансированных интересов личности, общества и государства. Объектами защиты (хозяйствующие субъекты (ХС)) от угроз нарушения их ИБ с негативными последствиями, согласно [1], являются, в том числе системы управления, экологически опасными и экономически важными производствами.

Экономически важными производствами (объектами) целесообразно считать те из них, которые способны обеспечить: потребности ЛОГ в необходимом и достаточном уровне, качестве и безопасности жизни; их устойчивое антикризисное развитие в новых условиях XXI века. Экологически опасными являются те экономически важные производства, которые оказывают на окружающую среду антропогенное воздействие, уровень которого превышает нормы экологической безопасности, создает угрозы качеству и безопасности жизни человека и природы [2].

С учетом проведенных исследований [3-6] реализации требований по ИБ ХС возможна на основе разработки теоретических основ системного математического моделирования взаимосвязанного развития внешней и внутренней среды.

Методология системного моделирования ИБ предназначена для эффективного управления циклами информационной и интеллектуальной поддержкой ХС, их систем информационной безопасности (СИБ) с целью обеспечения их безопасного и устойчивого (антикризисного)

развития в реально складывающейся и прогнозируемой обстановке XXI века.

Безопасность и устойчивость развития ХС должна обеспечиваться в различных сферах их деятельности в условиях противоборства договаривающихся сторон (сторона А и В) на политической арене (контекст) и конкурентной борьбы в социально-эколого-экономической сфере (аспект) в условиях информационной войны между злоумышленником (сторона А) и лицом, принимающим решения (ЛПР) (сторона В) об адекватном реагировании на угрозы со стороны А.

Методология базируется на выполнении следующих операций:

– априори: подготовка исходных данных для формирования панорамы возможных исходов дуэли на основе их классификации по степени опасности угроз нарушения ИБ, приемлемости их последствий;

– обоснование структуры пространства стратегических позиций ХС, их СИБ по результатам SWOT анализа, то есть сильных и слабых сторон намерений и действий участников дуэли, оценки их возможностей и угроз;

– апостериори: введение критериев оптимизации и адаптации СИБ по ситуации и результатам;

– синтез панорамы защищенности ХС, его СИБ от угроз нарушения их ИБ на основе классификации методов, систем и средств обеспечения ИБ по результатам оценки их эффективности.

Следуя единому алгоритму реализации такой методологии, приходим к логической схеме последовательности выполнения операций, показанной на рис. 1 [5].



Рис. Единый алгоритм реализации общей методологии системного моделирования ИБ ХС

Алгоритм базируется на:

- последовательном решении задач: анализа ситуации и оценки степени опасности угроз нарушения ИБ, приемлемости их последствий; формирования априорной панорамы возможных исходов дуэли в отсутствие противодействия угрозам. В интересах решения таких задач разрабатывается система моделей, состав которой приведен в алгоритме;

- создании научно методического обеспечения проектирования и перепроектирования облика ХС, его СИБ, программирования и перепрограммирования траектории их БУР(КСП(ИО(ИБ(ИК))), близких к оптимальным и адаптивных к реально складывающейся и прогнозируемой обстановке [6-8].

Алгоритм реализуется на внедрении логико-вероятностно-информационного подхода, сущность которого изложена в табл. 1 [5,9-11].

В табл. 2 приведен пример реализации такой сущности в комплексе с операцией ветвления интегральной цели ИБ ХС, их СИБ на частные.

Для разработки табл. 2 использованы методы, которые имеются в накопленной базе знаний (табл. 1), в том числе:

- PEST анализ состояний внешней среды ХС, их СИБ в политической, экономической, социальной, технологической областях;

- SEET анализ состояний внутренней среды ХС, их СИБ в социально-эколого-экономическом и технологическом аспектах;

- IT(IDEF) структурный анализ систем, который рассматривается как высокие технологии для лиц, принимающих решение;

- SWOT анализ, то есть выявление сильных и слабых сторон участников дуэли, их возможностей и угроз.

Согласно структуре единого алгоритма реализации общей методологии системного моделирования ИБ ХС, их СИБ (рис. 1.), результаты SWOT анализа используются для:

- разработки структуры пространства стратегических позиций ХС, их СИБ в реально складывающейся и прогнозируемой обстановке;

- проектирования и перепроектирования облика ХС, их СИБ;

- программно-целевого планирования и перепрограммирования траектории безопасного и устойчивого развития ХС, их СИБ.

Сущность логико-вероятностно-информационного подхода к исследованиям ИБ ХС, их СИБ

Логико-вероятностно-информационный подход к исследованиям ИБ		
Логико-	вероятностно-	информационный
<p>Синтаксис: ER концепция (сущности исследуемых процессов, отношения между ними, влияющие на них факторы) Факторный анализ Синтаксическое моделирование по формуле Бэкуса-Наура [12]</p> <p>Семантика: Теории: четких и нечетких множеств, четкой и нечеткой логики, интеллектуальных систем, возможностей и риска, прогнозирования и принятия решений, оптимального управления [13].</p> <p>Математика: ветвление интегральной цели ХС, его СИБ на частные фильтрация ветвей, близких к оптимальным и адаптивных к меняющимся условиям скобочные конструкции моделирования по формуле Бэкуса-Наура [12]</p>	<p>Теория вероятностей: -теоремы о вероятностях условно связанных событий -теорема Байеса и принцип Беллмана Теория принятия решений: -в условиях определенности и риска; -в условиях неопределенности; -многокритериальные задачи принятия решений [14].</p> <p>Эвентология и векторная статистика [15] Законы распределения вероятностей Теория распознавания ситуаций, их классификации по: -цели, месту и времени, диапазону условий и полю проблемных ситуаций; -природе и масштабам, сложности структурных связей и детерминированности процессов, цикличности и информационной обеспеченности; -причинно-следственным связям, движущим силам, целям законам и закономерностям развития ХС, их СИБ; -нормализация локальных критериев</p>	<p>Теория информации: Теоремы о мере информации об условно связанных событиях; -теорема об управлении мерой информации по ситуации; -правила принятия решений о возможных исходах дуэли между сторонами А и В, как функции меры информации по А.А. Харкевичу [16].</p> <p>Структурный анализ систем IDEF технологии: -функциональное моделирование; -анализ потоков данных; -имитационные модели; -программное обеспечение IDEF моделирования Информационные технологии для менеджеров -информационные технологии и информационные системы; -современный подход к качеству; -менеджер и фирма в информационном обществе Теория глобальной оптимизации реакции на угрозы нарушения ИБ ХС, их СИБ: -методы поиска оптимальных решений; -стратегия решения задач оптимизации</p>
<p>Итог: Научно-методическое обеспечение (НМО) программы исследований ИБ ХС, их СИБ, базируется на едином алгоритме и единой шкале оценки защищенности ХС, их СИБ от угроз нарушения их ИБ с негативными последствиями. НМО формирования единого алгоритма на основе: синтаксического, семантического и математического моделирования взаимосвязанного развития внешней и внутренней среды ХС, их СИБ теоретическими, эвентологическими и эмпирическими методами. НМО формирования единой шкалы оценки защищенности ХС, их СИБ на основе введения: лингвистической переменной, начала отсчета, градаций и норм уровня защищенности.</p>		

Примечание: В таблице приняты следующие обозначения: БУР-безопасное и устойчивое развитие ХС; КСП – конкурентоспособность ХС на внутреннем и внешних рынках; ИО – своевременное и качественное информационное обеспечение; Ик - информационный конфликт возникающий между договаривающимися сторонами из-за противоречивости их интересов и приоритетности собственных интересов у каждой из них т.е. между сторонами А и В.

В результате возникают задачи управления проектами и программами на основе их оптимизации и адаптации к меняющимся условиям с учётом реально имеющихся у ХС, их СИБ нематериальных и материальных ресурсов [6]. Эффективность решения названных задач базируется на управлении циклами информационной и интеллектуальной поддержке защищенностью ХС, их СИБ в процессе комплексирования, дальнейшего совершенствования и наращивания ресурсов.

Реализация сущности на основе введения лингвистической переменной и ветвления интегральной цели ИБ ХС, их СИБ на частные

Виды моделей Функционала БУР(КСП(...ИБ..))	Характеристики моделей в области			Итог
	Противо- борства	конкурентной борьбы	Информаци- онной войны	
Синтаксические модели по формуле Бэкуса- Наура	PEST ₁₁ анализ	SEET ₁₂ анализ	IT(IDEF) ₁₃	Полный набор имён X (X ₁ , X ₂ , X ₃)
	Комплексы имён состояний:			
	X ₁	X ₂	X ₃	
Семантические сети: иерархические, функциональные, процессные	SWOT ₂₁ анализ	SWOT ₂₂ анализ	SWOT ₂₃ анализ	Полный набор правил образования имён G(G ₁ , G ₂ , G ₃)
	Правила образования имён:			
	G ₁	G ₂	G ₃	
Математические модели в виде скобочных конструкций функционала БУР(КСП(...ИБ..))	Формулы:			Полный набор правил ассоциации имён с целями ХС, их СИБ M _{AP} (M _{AP1} M _{AP2} M _{AP3}) где AP – адекват- ность реакции
	БУР(КСП)	КСП(ИО)	ИО(ИБ(ИК))	
	Правила ассоциации имён с целью:			
	M _{AP1}	M _{AP2}	M _{AP3}	
	по формуле:			
Бэкуса-Наура ₃₁	Бэкуса-Наура ₃₂	Бэкуса-Наура ₃₃		
Итог	Комплексы моделей:			Система моделей ИБ ХС, их СИБ
	противоборства	конкурентной борьбы	Информаци-онной войны	

На практике предложенную методологию системного моделирования ИБ ХС, их СИБ целесообразно использовать для решения комплекса задач управления проектами и программами, приведенными [5, 6].

Для реализации такого подхода целесообразно прибегнуть к услугам системы поддержки управления на основе консалтинга. На современном этапе предоставлением таких услуг занимается целый ряд отечественных и зарубежных организаций. Очевидно, что в этих условиях возможны различные варианты формирования системы поддержки управления. Например:

– для консультаций по *общим* вопросам целесообразно прибегнуть к услугам внешних консалтинговых организаций, специализирующихся по проблеме. Это не исключает и создание собственного подразделения, если позволяет ресурс ХС;

– для консультаций по *специальным* вопросам (защита информации и безопасность ХС) лучше иметь собственную систему поддержки управления. Это диктуется пакетом законов о защите государственной, военной и других тайн;

– *комплексирование* услуг внешнего и внутреннего консалтинга с учётом возможности их интеграции с внешним и внутренним аудитом результатов финансово-хозяйственной деятельности ХС.

Сократить затраты на них можно за счёт:

– оптимизации комплексирования консалтинговых услуг, их интеграции с услугами аудита, адаптации результатов верификации по ситуации и результатам;

– повышения квалификации лиц, принимающих решения, в интересах приобретения ими качеств руководителей узкого и/или широкого профиля мирового уровня конкурентоспособности менеджеров (т.е. глобальных менеджеров);

– внедрения в практику интегрированного менеджмента высоких интеллектуальных и информационных технологий, базирующихся на последних достижениях образования, науки, техники и технологий;

– высокой корпоративной культуры, основанной на современной школе человеческих отношений и поведенческих наук, управления персоналом и человеческим ресурсом.

Библиографический список

1. Доктрина информационной безопасности Российской Федерации: утв. Президентом РФ 9 сентября 2000 г., № Пр-1895 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.scrf.gov.ru/documents/6/5.html/>.
2. Жидко Е.А., Муштенко В.С. Методический подход к идентификации экологического риска, учитываемого в деятельности предприятия / Е.А. Жидко, В.С. Муштенко // Высокие технологии. Экология – 2011. – № 1. – С. 11-14.
3. Жидко Е.А. Методология формирования единого алгоритма исследований информационной безопасности. Е.А. Жидко // Вестник Воронежского института МВД России. – 2015. – № 1. – С. 62-69.
4. Жидко Е.А. Научно-обоснованный подход к классификации угроз информационной безопасности / Е.А. Жидко // Информационные системы и технологии. – 2015. – № 1 (87). – С. 132-139.
5. Жидко Е.А. Методология исследований информационной безопасности экологически опасных и экономически важных объектов: монография / Е.А. Жидко.- Воронеж. гос. арх.-строит. ун-т. - Воронеж, 2015. - 183 с.
6. Барковская С.В. Интегрированный менеджмент XXI века: проектное управление устойчивостью развития: учебное пособие / С.В. Барковская, Е.А. Жидко, В.И. Морозов, Л.Г. Попова. – Воронеж, – 2011. – 168 с.
7. Сазонова, С.А. Методы обоснования резервов проектируемых гидравлических систем при подключении устройств пожаротушения / С.А. Сазонова // Вестник Воронежского института ГПС МЧС России. – 2015. – № 4 (17). – С. 22-26.
8. Сазонова С.А. Обеспечение безопасности гидравлических систем при реализации задач управления функционированием и развитием / С.А. Сазонова // Вестник Воронежского института ГПС МЧС России. – 2016. – № 1 (18). – С. 22-26.
9. Жидко Е.А. Логико-вероятностно-информационный подход к формированию единого алгоритма исследований информационной безопасности объектов защиты / Е.А. Жидко // Системы управления, связи и безопасности. – 2016. – № 1. – С. 262-277.
10. Жидко Е.А., Попова Л.Г. Логико-вероятностно-информационное моделирование информационной безопасности / Е.А. Жидко, Л.Г. Попова // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. – 2014. – № 4. – С. 136-140.
11. Жидко Е.А. Методология формирования системы измерительных шкал и норм информационной безопасности объекта защиты / Е.А. Жидко // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2015. – №2 (97). – С. 17-22.
12. Жидко Е.А., Попова Л.Г. Системное математическое моделирование устойчивого (антикризисного) развития хозяйствующих субъектов по формуле Бэкуса-Наура / Е.А. Жидко, Л.Г. Попова // Вестник

References

1. Doktrina informacionnoj bezopasnosti Rossijskoj Federacii: utv. Prezidentom RF 9 sentyabrya 2000 g., № Pr-1895 [EHlektronnyj resurs]. URL: <http://www.scrf.gov.ru/documents/6/5.html/>.
2. ZHidko E.A., Mushtenko V.S. Metodicheskij podhod k identifikacii ehkologicheskogo riska, uchityvaemogo v deyatel'nosti predpriyatiya/E.A. ZHidko, V.S. Mushtenko // Vysokie tekhnologii. EHkologiya. –2011. – № 1. –S. 11-14.
3. ZHidko E.A. Metodologiya formirovaniya edinogo algoritma issledovanij informacionnoj bezopasnosti. E.A. ZHidko// Vestnik Voronezhskogo instituta MVD Rossii. – 2015. – № 1. – S. 62-69.
4. ZHidko E.A. Nauchno-obosnovannyj podhod k klassifikacii ugrozh informacionnoj bezopasnosti / E.A. ZHidko//Informacionnye sistemy i tekhnologii. – 2015. – № 1 (87). – S. 132-139.
5. ZHidko E.A. Metodologiya issledovanij informacionnoj bezopasnosti ehkologicheski opasnyh i ehkonomicheski vazhnyh ob"ektov: monografiya / E.A. ZHidko. – Voronezh. gos. arh.-stroit. un-t. Voronezh, 2015. 183 s.
6. Barkovskaya S.V. Integrirovannyj menedzhment HKHI veka: proektnoe upravlenie ustojchivost'yu razvitiya: uchebnoe posobie/ S.V. Barkovskaya, E.A. ZHidko, V.I. Morozov, L.G. Popova. – Voronezh, – 2011. – 168 s.
7. Sazonova, S.A. Metody obosnovaniya rezervov proektiruemyh gidravlicheskih sistem pri podklyuchenii ustrojstv pozharotusheniya / S.A. Sazonova // Vestnik Voronezhskogo instituta GPS MCHS Rossii. – 2015. – № 4 (17). – S. 22-26.
8. Sazonova S.A. Obespechenie bezopasnosti gidravlicheskih sistem pri realizacii zadach upravleniya funkcionirovaniem i razvitiem / S.A. Sazonova // Vestnik Voronezhskogo instituta GPS MCHS Rossii. – 2016. – № 1 (18). – S.22-26.
9. ZHidko E.A. Logiko-veroyatnostno-informacionnyj podhod k formirovaniyu edinogo algoritma issledovanij informacionnoj bezopasnosti ob"ektov zashchity/ E.A. ZHidko // Sistemy upravleniya, svyazi i bezopasnosti. – 2016. – № 1. – S. 262-277.
10. ZHidko E.A., Popova L.G. Logiko-veroyatnostno-informacionnoe modelirovanie informacionnoj bezopasnosti / E.A. ZHidko, L.G. Popova // Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. A.N. Tupoleva. – 2014. – № 4. – S. 136-140.
11. ZHidko E.A. Metodologiya formirovaniya sistemy izmeritel'nyh shkal i norm informacionnoj bezopasnosti ob"ekta zashchity/ E.A. ZHidko // Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. – 2015. – № 2 (97). – S. 17-22.
12. ZHidko E.A., Popova L.G. Sistemnoe matematicheskoe modelirovanie ustojchivogo (antikrizisnogo) razvitiya hozyajstvuyushchih sub"ektov po formule Behkusa-Naura/ E.A. ZHidko, L.G. Popova//Vestnik Voronezhskogo instituta GPS MCHS Rossii. – 2016. – №1.(18). – S.27-31.
13. YAndeks: teorii: intellektual'nyh sistem, nechyotkih mnozhestv, nechyotkoj logiki, vozmozhnostej, riska, prinyatiya reshenij; optimal'noe

Воронежского института ГПС МЧС России. – 2016. – №1(18). – С.27-31.

13. Яндекс: теории: интеллектуальных систем, нечётких множеств, нечёткой логики, возможностей, риска, принятия решений; оптимальное управление.

14. Валдайцев С.В. Антикризисное управление на основе инноваций: Учебное пособие / С.В. Валдайцев. – СПб.: Изд-во С.-Петербур. ун-та, 2001. – 232 с.

15. Воробьев О.Ю. Эвентология / О.Ю. Воробьев, Сиб.фед. ун-т.-Красноярск, 2007. – 434 с.

16. Харкевич А.А. О ценности информации / А.А. Харкевич // Проблемы кибернетики. – №4. – 1960.

управление.

14. Valdajcev S.V. Antikrizisnoe upravlenie na osnove innovacij: Uchebnoe posobie. – SPb.: Izd-vo S.-Peterb. un-ta, 2001. – 232 s.

15. Vorob'ev O.YU. EHVentologiya /O.YU. Vorob'ev, Sib.fed. un-t.-Krasnoyarsk, 2007. – 434 s.

16. Harkevich A.A. O cennosti informacii / A.A. Harkevich // Problemy kibernetiki. – №4. – 1960.

LOGICAL-AND-PROBABILISTIC-INFORMATIONAL APPROACH TO THE STUDY OF INFORMATION SECURITY BUSINESS ENTITIES

The article discusses the possibility of implementing the requirements for information security protection through the development of the theoretical foundations of its system of mathematical modeling. The theory is based on the improved logical-and-probabilistic-informational approach to organizing provides for the integration of syntactic, semantic and mathematical models, theoretical, metologicheskije and empirical research methods information.

Keywords: *economic entity, information security, project management, sustainable development, information, modeling.*

Жидко Е.А.,

*профессор, к.т.н., доцент,
Воронежский государственный технический университет,
Россия, г. Воронеж,
e-mail: lenag66@mail.ru,*

Zhidko E.A.,

*prof., cand. Tech. Sci., ass. prof.,
Voronezh State Technical University,
Russia, Voronezh.*

Пикалов В.В.,

*начальник кафедры,
ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»
Россия, г. Воронеж,
e-mail: pvv36@yandex.ru,*

Pikalov V.V.,

*head of Department,
Military training and scientific center of the air force Academy named after Professor N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin,
Russia, Voronezh.*

Ясакова В.С.,

*студент,
Воронежский государственный технический университет,
Институт архитектуры и градостроительства,
Россия, г. Воронеж,*

Yasakova V.S.,

*student,
Voronezh state technical University; Institute of architecture and urban planning,
Russia, Voronezh.*



БЕЗОПАСНОСТЬ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА

ПОЖАРНАЯ И ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

УДК 614.8:69

РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ И АЛГОРИТМОВ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ И ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ СИСТЕМ ПОЖАРОТУШЕНИЯ, ТЕПЛО-, ВОДО-, ГАЗОСНАБЖЕНИЯ И ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ТРУБОПРОВОДОВ

С.А. Сазонова, Е.А. Сушко

В статье рассматриваются в совокупности разработанные методы и алгоритмы для технической диагностики гидравлических систем. Разработан метод статического оценивания состояния гидравлических систем, реализуемый на практике с помощью проведения манометрической съемки объекта. Полученные с помощью телеизмерений показания для гидравлической системы необходимо обрабатывать с помощью программного обеспечения в автоматизированных системах управления с целью восполнения полной информации о исследуемом объекте для лица, принимающего решение. Разработаны методы и алгоритмы диагностики утечек и резервирования функционирующих гидравлических систем, реализуемые с целью обеспечения безопасности их функционирования и для обеспечения требуемого объема потребления транспортируемой среды. На стадии проектирования задача резервирования может рассматриваться для рационального подбора конфигурации и параметров системы. Апробация разрабатываемых методов и алгоритмов для инженерных задач выполнена с помощью пакета прикладных программ.

Ключевые слова: гидравлические системы, безопасность эксплуатации, аварии, системы пожаротушения, техническая диагностика, математические модели, статическое оценивание, диагностика утечек, параметрическое и транспортное резервирование.

Введение. Инженерные системы централизованного снабжения в составе топливно-энергетического комплекса в настоящее время представлены весьма широким спектром объектов различного назначения, масштабы, принципов построения, физической сущности процессов функционирования [1]. К ним относятся глобальные системы страны (электроэнергетическая и газоснабжающая); межрегиональные (магистральные газо- и нефтепроводы, групповые водоводы); городские системы (тепло-, водо- и газоснабжения, пожаротушения); системы отопления, вентиляции и

кондиционирования жилых зданий и промышленных объектов.

Отправной точкой создания универсальных подходов к исследованию является их общая сущность, поскольку практически все указанные системы квалифицируются как транспортные. Способствует унификации и однородность их структурного состава, обычно включающего источники (устройства подачи целевого продукта (ЦП) в систему); абонентские подсистемы (АП), отожествляемые с потребителями, а так же распределительные сети, предназначенные для транспортировки среды [1].

Особое место среди систем централизованного снабжения занимают гидравлические трубопроводные системы (ГС), что обусловлено динамикой их развития, исключительным многообразием, значительной капиталоемкостью и т.д. Собираемый термин «гидравлическая система» [1] будет использоваться для обозначения прежде всего городских и промышленных систем тепло-, водо-, газоснабжения, а так же систем пажаротушения и промышленных технологических трубопроводов.

Решение описанной проблемы. Для ГС на основе применения функционального эквивалентирования АП [1, 2, 3] при моделировании потокораспределения [4] решен целый ряд инженерных задач. Эквивалентирование АП, в отличие от ранее существующих научных подходов, дает существенное преимущество в силу того, что с его помощью можно решить любые прикладные задачи моделирования трубопроводных ГС. Это необходимо при реализации программного обеспечения для систем автоматизированного проектирования и оперативного управления [5, 6, 7] с помощью автоматизированных систем управления (АСУ). Несмотря на то, что современные компьютеры имеют высокое быстродействие, все равно остается проблема их быстродействия при выполнении технической диагностики при мониторинге текущего состояния в силу больших размеров и сложной конфигурации ГС. Для осуществления мониторинга технического состояния ГС в диспетчерских пунктах должно быть установлено соответствующее программное обеспечение АСУ и обеспечена информационная безопасность объекта защиты [8, 9]. На исследуемой ГС должны быть установлены датчики давления в соответствии с разработанными научными рекомендациями, показания с которых с помощью телеизмерений при их одновременном опросе должны поступать в диспетчерский пункт. По программе на компьютере полностью восполняется информация по всем параметрам системы в данный момент времени. Следующий опрос датчиков можно выполнять только после выполнения обработки результатов предыдущего опроса. При сопоставлении результатов двух соседних опросов датчиков можно сделать заключение о причинах возможных резких изменений, например, в случае аварии [10], утечки [11] или не санкционированного отбора ЦП. При этом программный комплекс точно укажет координату на ГС с указанными неполадками, что существенно экономит время и деньги для обнаружения аварий. В случае аварий на ГС, особенно на системах газоснабжения, требуется оперативность при их устранении, так как от этого зависит количество жертв при ликвидации аварии и размер экономического ущерба.

Дополнительно можно отметить, что применение эквивалентирования АП позволяет не

использовать расходомеры при выполнении диагностики ГС, так как при таком подходе для восполнения полной информации о состоянии системы достаточно использовать только датчики давления. Причем разработаны методы для восполнения псевдоизмерений [3] в узлах подключения потребителей, с помощью которых можно уменьшить требуемое количество датчиков давления на реальном объекте, то есть нет необходимости оснащать все такие узлы датчиками. Таким образом достигается существенная экономия средств за счет уменьшения количества дорогостоящих приборов учета на ГС.

При разработке методов решения задачи диагностики утечек (или несанкционированных отборов ЦП) были решены подзадачи: определение местоположения утечки [1]; определение ее размера (объема) [1]; определение факта ее существования или отсутствия в промежуток времени между двумя опросами датчиков давления на системе [3, 12]. На основе имитационного моделирования аварийных ситуаций [13] разработаны методы и алгоритмы резервирования [14] транспортного (определение мест в системе для установки дополнительных перемычек или линий с расчетом всех требуемых параметров) и параметрического (изменение диаметров, параметров насосов и т.д.).

Описание базовой технологии. Для реализации в составе АСУ задач диагностики утечек и резервирования разработаны методы и алгоритмы статического оценивания состояния ГС. Термин «статическое» применяется в силу того, что с помощью датчиков давления выполняется «мгновенный снимок» (опрос) ГС в расчетных узлах. Так как мгновенность предполагает застывшее состояние в пределах очень маленького промежутка времени, то движение ЦП в такой момент не учитывается, а систему рассматривают как статичную. Именно в таком состоянии выполняется полный расчет параметров системы. Для другого такого опроса в другой момент времени они будут уже другими, но тоже статичными. По результатам многократного статического оценивая ГС [3] можно решать задачи диагностики утечек, резервирования функционирующих систем и целый ряд сопутствующих инженерных задач.

При разработке методов и алгоритмов технической диагностики ГС для обеспечения безопасности их функционирования необходимо учесть специфику функционирования различных ГС. Для систем водоснабжения дополнительно можно рассматривать присоединенные системы пажаротушения [15], для которых весьма существенной задачей является обеспечение требуемого расхода воды в случае возникновения пожара. Если заранее предусмотреть места присоединения участков для пажаротушения в ГС, то с помощью разработанных моделей

резервирования можно рассчитать такие участки с возможными повышенными расходами воды, после чего лицо принимающее решение может сформулировать обоснованные рекомендации для реконструкции существующей системы водоснабжения с учетом норм для участков пожаротушения. С помощью же разработанных моделей статического оценивания [3] можно провести расчеты для существующей системы и сделать рекомендации о конкретных предпочтительных местах присоединения участков пожаротушения для случая, если не предполагается реконструкция системы с введением резервных участков. Так же необходимо учесть, что ГС могут быть открытого (например, системы водо-, газо-снабжения) [16], закрытого (например, системы теплоснабжения без отбора ЦП) или смешанного типа (например, системы теплоснабжения с отбором ЦП) [17], в них могут транспортироваться ЦП различной температуры.

Апробация разрабатываемых методов и алгоритмов для инженерных задач выполнена с помощью пакета прикладных программ HYDROGRAPH, позволяющего выполнять расчеты для городских и промышленных распределительных систем газо-, тепло-, водоснабжения.

В качестве объектов исследований, например, рассматривались система газоснабжения низкой степени давления, схема которой

представлена на рис. 1. Схема включает 94 участка, 73 узла и 21 контур. Узлы, в которых необходимо установить датчики давления, заштрихованы: 2 источника питания и 27 узлов подключения потребителей АП.

В качестве другого примера рассмотрим расчетную схему распределительной сети теплоснабжения, представленную на рис. 2. Сеть включает 130 узлов 243 участка 114 контуров. Источниками питания являются две ТЭЦ между узлами 501-1 и 601-101 с действующими напорами 150 м и 130 м соответственно. В объекте функционируют три насосные подстанции на участках 607-504, 704-628 и 607-606 с располагаемыми напорами 40 м каждая. В узле 118 есть приток 535 т/ч, а в узле 619 такой же сток. На участках 704-628, 607-606 и 607-504 установлены три регулятора давления «после себя» для поддержания в узле 704 избыточного напора 30 м и в узле 607 напора 17 м. В качестве узла с фиксированным давлением выбран обратный коллектор одной из ТЭЦ (узел 501), напор в этом узле 22 м. Для узлов 704 и 607 геодезические уровни составляют 15 м и 2 м соответственно.

Проведенные вычислительные эксперименты подтвердили работоспособность разработанных математических моделей. Результаты экспериментов подробно изложены в научных работах [1, 3, 14, 16].

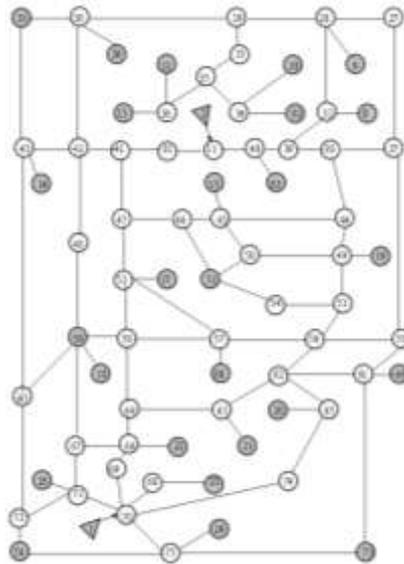


Рис. 1. Расчетная схема системы газоснабжения

сооружения. – 2013. – №1(10). – С. 55-60.

5. Сазонова С.А. Комплекс прикладных задач оперативного управления, обеспечивающих безопасность функционирования гидравлических систем / С.А. Сазонова // Вестник Воронежского института ГПС МЧС России. – 2015. – №2(15). – С. 37-41.

6. Сазонова С.А., Мезенцев А.Б. Математическое моделирование гидравлических систем в области управления функционированием и развитием / С.А. Сазонова, А.Б. Мезенцев // Моделирование систем и процессов. – 2015. – Т. 8. – №1. – С. 60-63.

7. Сазонова С.А. Обеспечение безопасности гидравлических систем при реализации задач управления функционированием и развитием / С.А. Сазонова // Вестник Воронежского института ГПС МЧС России. – 2016. – №1(18). – С. 22-26.

8. Жидко Е.А. Методология формирования системы измерительных шкал и норм информационной безопасности объекта защиты / Е.А. Жидко // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2015. – №2(97). – С.17-22.

9. Жидко Е.А., Попова Л.Г. Логико-вероятностно-информационное моделирование информационной безопасности / Е.А. Жидко, Л.Г. Попова // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. – 2014. – № 4. – С. 136-140.

10. Николенко С.Д., Сазонова С.А. Дистанционное обнаружение утечек в гидравлических системах с целью обеспечения безопасности функционирования при своевременном предупреждении аварий / С.Д. Николенко, С.А. Сазонова // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Информационные технологии в строительных, социальных и экономических системах. – 2016. – №1. – С. 151-153.

11. Сазонова С.А. Решение вспомогательных задач диагностики утечек для обеспечения безопасности функционирующих трубопроводных систем / С.А. Сазонова // Моделирование систем и процессов. – 2015. – Т. 8. – №1. – С. 57-59.

12. Сазонова С.А. Обеспечение безопасности функционирования систем газоснабжения при реализации алгоритма диагностики утечек без учета помех от стохастичности потребления / С.А. Сазонова // Вестник Воронежского института высоких технологий. – 2015. – №14. – С. 60-64.

13. Мезенцев А.Б., Сазонова С.А. Имитационное моделирование аварийных ситуаций в гидравлических системах / А.Б. Мезенцев, С.А. Сазонова // Моделирование систем и процессов. – 2015. – Т. 8. – №2. – С. 23-25.

14. Мезенцев А.Б., Сазонова С.А. Результаты расширенного вычислительного эксперимента по оценке надежности и резервированию распределительных гидравлических систем / А.Б. Мезенцев, С.А. Сазонова // Моделирование систем и процессов. – 2015. – Т. 8. – №2. – С. 26-29.

15. Сазонова С.А. Методы обоснования резервов проектируемых гидравлических систем при подключении устройств пожаротушения / С.А. Сазонова // Вестник Воронежского института ГПС МЧС России. – 2015. – №4 (17). – С. 22-26.

16. Сазонова С.А., Николенко С.Д., Манохин В.Я., Манохин М.В. Численная апробация математических моделей мониторинга безопасного функционирования систем газоснабжения / С.А. Сазонова, С.Д. Николенко, В.Я. Манохин, М.В. Манохин // Известия Казанского

sooruzheniya. – 2013. – № 1 (10). – S. 55-60.

5. Sazonova S.A. Kompleks prikladnyh zadach operativnogo upravleniya, obespechivayushchih bezopasnost' funkcionirovaniya gidravlicheskih sistem / S.A. Sazonova // Vestnik Voronezhskogo instituta GPS MCHS Rossii. – 2015. – № 2 (15). – S. 37-41.

6. Sazonova S.A., Mezencev A.B. Matematicheskoe modelirovanie gidravlicheskih sistem v oblasti upravleniya funkcionirovaniem i razvitiem / S.A. Sazonova, A.B. Mezencev // Modelirovanie sistem i processov. – 2015. – T. 8. – №1. – S. 60-63.

7. Sazonova S.A. Obespechenie bezopasnosti gidravlicheskih sistem pri realizacii zadach upravleniya funkcionirovaniem i razvitiem / S.A. Sazonova // Vestnik Voronezhskogo instituta GPS MCHS Rossii. – 2016. – № 1 (18). – S. 22-26.

8. ZHidko E.A. Metodologiya formirovaniya sistemy izmeritel'nyh shkal i norm informacionnoj bezopasnosti ob'ekta zashchity / E.A. ZHidko // Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. – 2015. – № 2 (97). – S. 17-22.

9. ZHidko E.A., Popova L.G. Logiko-veroyatnostno-informacionnoe modelirovanie informacionnoj bezopasnosti / E.A. ZHidko, L.G. Popova // Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. A.N. Tupoleva. – 2014. – № 4. – S. 136-140.

10. Nikolenko S.D., Sazonova S.A. Distancionnoe obnaruzhenie utechek v gidravlicheskih sistemah s cel'yu obespecheniya bezopasnosti funkcionirovaniya pri svoevremennom preduprezhdenii avarij / S.D. Nikolenko, S.A. Sazonova // Nauchnyj vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Informacionnye tekhnologii v stroitel'nyh, social'nyh i ehkonomicheskikh sistemah. – 2016. – №1. – S. 151-153.

11. Sazonova S.A. Reshenie vspomogatel'nyh zadach diagnostiki utechek dlya obespecheniya bezopasnosti funkcioniruyushchih truboprovodnyh sistem / S.A. Sazonova // Modelirovanie sistem i processov. – 2015. – T. 8. – № 1. – S. 57-59.

12. Sazonova S.A. Obespechenie bezopasnosti funkcionirovaniya sistem gazosnabzheniya pri realizacii algoritma diagnostiki utechek bez ucheta pomekh ot stohastichnosti potrebleniya / S.A. Sazonova // Vestnik Voronezhskogo instituta vysokih tekhnologij. – 2015. – №14. – S. 60-64.

13. Mezencev A.B., Sazonova S.A. Imitacionnoe modelirovanie avarijnyh situacij v gidravlicheskih sistemah / A.B. Mezencev, S.A. Sazonova // Modelirovanie sistem i processov. – 2015. – T. 8. – № 2. – S. 23-25.

14. Mezencev A.B., Sazonova S.A. Rezul'taty rasshirennogo vychislitel'nogo ehksperimenta po ocenke nadezhnosti i rezervirovaniyu raspreditel'nyh gidravlicheskih sistem / A.B. Mezencev, S.A. Sazonova // Modelirovanie sistem i processov. – 2015. – T. 8. – № 2. – S. 26-29.

15. Sazonova S.A. Metody obosnovaniya rezervov proektiruemyh gidravlicheskih sistem pri podklyuchenii ustroystv pozharotusheniya / S.A. Sazonova // Vestnik Voronezhskogo instituta GPS MCHS Rossii. – 2015. – № 4 (17). – S. 22 – 26.

16. Sazonova S.A., Nikolenko S.D., Manohin V.YA., Manohin M.V. CHislennaya aprobaciya matematicheskikh modelej monitoringa bezopasnogo funkcionirovaniya sistem gazosnabzheniya / S.A. Sazonova,

государственного архитектурно-строительного университета. – 2016. – №1 (35). – С. 255-264.

17. Сазонова С.А. Решение прикладных задач управления функционированием системами теплоснабжения / С.А. Сазонова // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2013. – №2 (11). – С. 59-63.

18. Сазонова С.А., Мезенцев А.Б. Методы обоснования резервов при проектировании гидравлических систем / С.А. Сазонова, А.Б. Мезенцев // Моделирование систем и процессов. – 2015. – Т. 8. – №2. – С. 37-40.

19. Сазонова С.А. Комплекс прикладных задач в области проектирования, обеспечивающих безопасность функционирования гидравлических систем / С.А. Сазонова // Вестник Воронежского института ГПС МЧС России. – 2015. – №3 (16). – С. 30-35.

S.D. Nikolenko, V.YA. Manohin, M.V. Manohin // Izvestiya Kazanskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. – 2016. – № 1 (35). – S. 255 – 264.

17. Sazonova S.A. Reshenie prikladnyh zadach upravleniya funkcionirovaniem sistemami teplosnabzheniya / S.A. Sazonova // Nauchnyj zhurnal. Inzhenernye sistemy i sooruzheniya. – 2013. – № 2 (11). – S. 59-63.

18. Sazonova S.A., Mezencev A.B. Metody obosnovaniya rezervov pri proektirovani gidravlicheskih sistem / S.A. Sazonova, A.B. Mezencev / Modelirovanie sistem i processov. – 2015. – T. 8. – № 2. – S. 37-40.

19. Sazonova S.A. Kompleks prikladnyh zadach v oblasti proektirovaniya, obespechivayushchih bezopasnost' funkcionirovaniya gidravlicheskih sistem / S.A. Sazonova // Vestnik Voronezhskogo instituta GPS MCHS Rossii. – 2015. – № 3 (16). – S. 30-35.

DEVELOPMENT OF METHODS AND ALGORITHMS OF TECHNICAL DIAGNOSTICS AND SAFETY OF SAFETY SYSTEMS, HEAT, WATER, GAS SUPPLY AND INDUSTRIAL TECHNOLOGICAL PIPELINES

The article deals with the developed methods and algorithms for the technical diagnostics of hydraulic systems. A method for static estimation of the state of hydraulic systems has been developed, implemented in practice by means of a manometric survey of an object. The indications obtained by means of telemetry for the hydraulic system must be processed using software in automated control systems in order to make full information about the object under examination for the person making the decision. Methods and algorithms for diagnosing leaks and reserving the functioning hydraulic systems have been developed, implemented to ensure the safety of their operation and to ensure the required volume of consumption of the transported medium. At the design stage, the backup task can be considered for rational selection of the configuration and parameters of the system. Approbation of the developed methods and algorithms for engineering tasks is carried out with the help of a package of applied programs.

Keywords: hydraulic systems, operation safety, accidents, fire extinguishing systems, technical diagnostics, mathematical models, static estimation, leak diagnostics, parametric and transport reservation.

Сазонова Светлана Анатольевна,
доцент кафедры пожарной и промышленной безопасности,
доцент, к.т.н.,
Воронежский государственный технический университет
Россия, Воронеж,
e-mail: Sazonovappb@vgasu.vrn.ru

Sazonova S.A.,
associate Professor of the Department of Fire and Industrial Safety,
Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof.,
Voronezh State Technical University,
Russia, Voronezh,
e-mail: Sazonovappb@vgasu.vrn.ru.

Сушко Елена Анатольевна,
заведующая кафедрой пожарной и промышленной безопасности,
доцент, к.т.н.,
Воронежский государственный технический университет,
Россия, Воронеж,
e-mail: u00075@vgasu.vrn.ru,

Sushko E.A.,
Head. of Dept. of Fire and Industrial Safety,
Cand. Tech. Sci.,
Voronezh State Technical University,
Russia, Voronezh,
e-mail: u00075@vgasu.vrn.ru

РАСЧЕТ ПРЕДЕЛА ОГНЕСТОЙКОСТИ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ ТЕПЛООБМЕНА НА ПРОТИВОПОЛОЖНЫХ ПОВЕРХНОСТЯХ

А.М. Зайцев

Приведено аналитическое решение задачи нестационарной теплопроводности для определения прогрева однослойной стенки (ограждающей конструкции) при огневом воздействии. Полученная расчетная формула для удобства расчетов была табулирована и представлена в виде номограммы. Примечательно, что полученная таким образом номограмма позволяет определить предел огнестойкости ограждающих конструкций для четырех вариантов теплообмена стенки на двух поверхностях: со стороны огневого воздействия и противоположной огневому воздействию стороны. Приведена методика расчета, конкретные примеры расчета и анализ полученных результатов. Построены также номограммы для определения предела огнестойкости ограждающих конструкций при температурных режимах пропорциональных стандартному пожару.

Ключевые слова: *ограждающие конструкции, предел огнестойкости, расчетный метод, температурные режимы пропорциональные стандартному пожару.*

Обобщенная постановка математической задачи прогрева ограждающих конструкций при граничных условиях третьего рода.

Ограждающие конструкции при испытании на огнестойкость подвергаются одностороннему огневому воздействию. Если ограждающие конструкции не выполняют несущую функцию, то предел огнестойкости таких конструкций определяется только временем прогрева не обогреваемой поверхности до критической температуры которая, согласно СНиП 21-01-97*, превышает начальную температуру на 140 °С. Как правило, при практических расчетах, эта температура составляет 160 °С. При этом расчет температурного поля необходимо производить с учетом теплообмена не обогреваемой поверхности

ограждающей конструкции с окружающей средой. Для постановки математической задачи примем, что ограждающую конструкцию можно представить в виде неограниченной пластины, одна поверхность которой подвергается огневому воздействию, а с противоположной стороны происходит свободный теплообмен.

Следовательно, для получения аналитического решения, характеризующего прогрев не обогреваемой поверхности ограждающей конструкции, математическая задача сводится к решению дифференциального уравнения нестационарной теплопроводности с начальными и граничными условиями третьего рода, в виде следующей системы уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial t}{\partial x} = a \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} \\ t(x, \tau) |_{\tau=0} = t_0 \\ \lambda \frac{\partial t}{\partial x} |_{x=\delta} = \alpha_{в.п.} (t_{пож}(\tau) - t_{(\delta, \tau)}) \\ \lambda \frac{\partial t}{\partial x} |_{x=0} = \alpha_{н.п.} (t_{(0, \tau)} - t_0) \end{array} \right. \quad (1)$$

где: $t_{пож}$ и $t_{(0, \tau)}$ – температуры пожара и не обогреваемой поверхности; $\alpha_{в.п.}$ и $\alpha_{н.п.}$ – коэффициенты теплообмена со стороны огневого воздействия и не обогреваемой поверхности.

В такой постановке задачи, решение системы уравнений (1) довольно сложно из-за

изменяющихся со временем функций температуры пожара, и коэффициентов теплоотдачи с обеих сторон ограждающей конструкции. Как правило, аналитические формулы при решении подобных систем уравнений получаются громоздкими, из которых получить удобные для расчетной практики расчетные соотношения довольно сложно. К тому

же имеющиеся в литературе, значения коэффициента теплоотдачи со стороны обогреваемой поверхности значительно расходятся, что также сдерживает развитие такого подхода к решению поставленной задачи.

Аналитическое решение задачи с использованием метода перехода от граничных условий третьего рода к граничным условиям первого рода со стороны огневого воздействия.

Такой подход к решению задачи прогрева ограждающих конструкций предложил А.И. Яковлев [1], применительно к температурному режиму стандартного пожара. С этой целью со стороны огневого воздействия на поверхности

конструкции граничные условия третьего рода заменяются граничными условиями первого рода, для чего к фактической толщине конструкции добавляется фиктивный слой. Температура поверхности фиктивного слоя со стороны огневого воздействия принимается постоянной, равной 1250⁰С. При этом, толщина фиктивного слоя принимается равной $k\sqrt{a}$, где k – коэффициент, зависящий от плотности материала, a – коэффициент температуропроводности материала стенки.

Схема перехода к краевой задаче первого рода представлена на рис. 1.

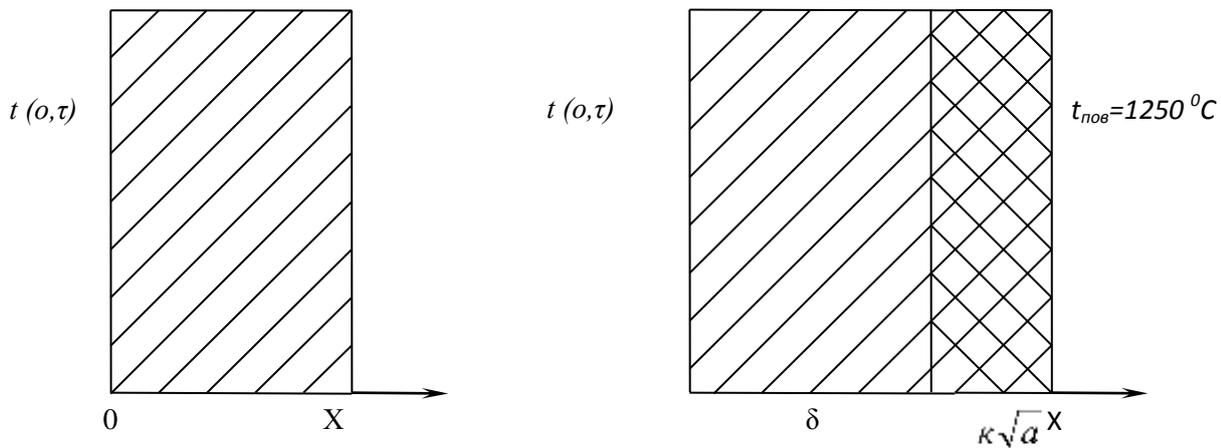


Рис. 1. Схема нагрева ограждающей конструкции (слева) и расчетная схема (справа)

В этом случае математическая задача сводится к решению системы уравнений:

$$\begin{cases} \frac{\partial t}{\partial x} = a \frac{\partial^2 t}{\partial x^2}, \\ t(x, \tau)|_{\tau=0} = t_0, \\ \lambda \frac{\partial t}{\partial x}|_{x=\delta} = t_{const}, \\ \lambda \frac{\partial t}{\partial x}|_{x=0} = \alpha_{н.п.}^{cp.} (t_{(0,\tau)} - t_0), \end{cases} \quad (2)$$

где $t_{const} = 1250$ ⁰С;

На не обогреваемой поверхности коэффициент теплоотдачи принимается

$$\alpha_{н.п.}^{cp.} = 4,83 + 8,875\varepsilon, \quad (3)$$

где ε – степень черноты не обогреваемой поверхности (табл. П. 4.2) [1].

усредненным в исследуемом температурном интервале по формуле:

Решение системы уравнений (2) получено в виде следующей формулы:

$$t(x, \tau) = t_0 + (1250 - t_0) \left[\frac{1 + \alpha_{н.н.}^{cp.} \frac{x}{\lambda_t^{cp.}}}{1 + Bi} + \sum_{n=1}^{\infty} A_n \left(\cos \mu_n \frac{x}{\delta + k\sqrt{a_{np}}} + \frac{Bi}{\mu_n} \sin \mu_n \frac{x}{\delta + k\sqrt{a_{np}}} \right) e^{-\mu_n^2 F_0} \right] \quad (4)$$

где x – расстояние от не обогреваемой поверхности до расчетной точки, м; $\lambda_t^{cp.}$ –

средний коэффициент теплопроводности пластины при $t=250$ °С, Вт/м °С;

$$Bi = \frac{\alpha_{н.н.}^{cp.}}{\lambda_t^{cp.}} (\delta + k\sqrt{a_{np}}), \quad (5)$$

где Bi – критерий Био; δ – толщина пластины, м; a – приведенный коэффициент температуропроводности; μ_n, A_n – корни характеристического уравнения и соответствующие

им тепловые амплитуды, определяемые критерием Bi ; F_0 – число Фурье (безразмерное время), определяется по формуле:

$$F_0 = \frac{a_{np} \tau}{(\delta + k\sqrt{a_{np}})^2}. \quad (6)$$

Ввиду того что члены ряда уравнения (4) быстро сходятся, то для практических расчетов

достаточно использовать только первый член ряда, поэтому формулу (4) можно записать в виде

$$t(x, \tau) = t_0 + (1250 - t_0) \left[\frac{1 + \alpha_{н.н.}^{cp.} \frac{x}{\lambda_t^{cp.}}}{1 + Bi} + A_1 \left(\cos \mu_1 \frac{x}{\delta + k\sqrt{a_{np}}} + \frac{Bi}{\mu_1} \sin \mu_1 \frac{x}{\delta + k\sqrt{a_{np}}} \right) \exp(-\mu_1^2 F_0) \right]. \quad (7)$$

Температура необогреваемой поверхности определяется из уравнения (7) при $x=0$, тогда

вместо (7) получим:

$$t(0, \tau) = t_0 + (1250 - t_0) \left[\frac{1}{1 + Bi} + A_1 \exp(-\mu_1^2 F_0) \right]. \quad (8)$$

Решая это уравнение относительно F_0 , а затем и τ в [1], была получена формула для определения времени прогрева ограждающих конструкций при стандартном пожаре по признаку

прогрева не обогреваемой поверхности до расчетной предельной (нормативной) температуры $t_{н.н.}$, то есть до наступления предела огнестойкости конструкции по признаку I:

$$\tau = 2,3 \frac{(\delta + k\sqrt{a_{np}})}{\mu_1^2 a_{np}} \lg \frac{A_1}{\frac{t_{н.нр.} - t_0}{1250 - t_0} - \frac{1}{1 + Bi}}. \quad (9)$$

Для упрощения практического применения представим формулу (9) в виде:

$$I = \left[\frac{(\delta + k\sqrt{a_{np}})^2}{a_{np}} \right] \cdot \left[\frac{2,3}{\mu_1^2} \lg \frac{A_1}{\left(0,114 - \frac{1}{1 + Bi} \right)} \right]. \quad (10)$$

где I – предел огнестойкости ограждающих конструкций по признаку нагрева не обогреваемой поверхности до нормативной температуры.

Анализ этого уравнения показывает, что предел огнестойкости ограждающих конструкций зависит от параметра $(\delta + k\sqrt{a_{np}})$, который по

сути представляет собой толщину модифицированной стенки, а также условий теплообмена на не обогреваемой поверхности, так как значения μ_1 и A_1 являются функциями критерия Bi и определяются по формулам

$$\mu_1 = -\frac{Bi}{ctg \mu}, \quad (11)$$

$$A_n = \frac{2}{(2 + Bi) \cos \mu_n + \left(\frac{Bi}{\mu_n} - \mu_n \right) \sin \mu_n}. \quad (12)$$

Из уравнения (10) также следует, что сомножитель, стоящий во вторых квадратных скобках, является аргументом искомой функции I , а сомножитель, стоящий в первых квадратных скобках, является обобщенным параметром. На основании этого анализа уравнение (10) табулировано и представлено в виде номограммы на рис. 2.

Полученная номограмма позволяет наглядно проанализировать влияние различных параметров на предел огнестойкости ограждающих конструкций. Из номограммы видно, что основное влияние на время прогрева не обогреваемой поверхности ограждающих конструкций до нормативной температуры оказывают толщина конструкции (δ) и его теплофизические характеристики (a) , что отражено в обобщенном параметре $(\delta + k\sqrt{a_{np}})^2 / a_{np}$. Чем больше его значение, тем выше будет предел огнестойкости ограждающей конструкции. По существу этот параметр включает в себя два аргумента – это толщина конструкции δ и значение коэффициента температуропроводности a , который характеризует

скорость изменения температуры материала стенки. Эмпирический коэффициент k зависит от плотности материала стенки (табл. П. 3.1), которая также входит в коэффициент температуропроводности a . Таким образом, увеличение толщины стенки повышает предел огнестойкости, а увеличение коэффициента температуропроводности приводит к уменьшению предела огнестойкости стенки.

Следует подчеркнуть, что полученное А.И. Яковлевым расчетное уравнение (9) и разработанная на его основе расчетная методика являются единственным примером аналитического решения поставленной задачи. Как показано в [1], практическое применение этой методики не представляет никаких сложностей, а получаемые при этом результаты расчета, соответствуют результатам стандартных испытаний. Однако, для практических целей по определению предела огнестойкости ограждающих конструкций, по признаку прогрева не обогреваемой поверхности, в последнее время, в нормативных документах [1-3] применяются графики для определения предела огнестойкости ограждающих, выполненные из различных материалов и различной толщины, конструкций, полученные численным методом.

Однако следует отметить, что современные методы математического анализа, и средства вычислительной техники позволяют значительно упростить применение полученного уравнения в расчетной практике, и более того, получить новые результаты, которые могут представить интерес как с методической, так и с практической точек зрения.

Построение расчетной номограммы.

Анализируя расчетное уравнение (9), и учитывая необходимость использования при его практическом применении дополнительных табличных значений для коэффициентов μ_1 и A_1 , можно сказать, что это усложняет процесс и время расчета. С целью упрощения практических расчетов фактических пределов огнестойкости ограждающих конструкций, формула (9) представлена в виде расчетной формулы (10).

Анализ этой формулы показывает, что предел огнестойкости ограждающих конструкций

зависит от параметра $(\delta + k\sqrt{a_{np}})$, который по существу представляет собой толщину модифицированной стенки, а также от условий теплообмена на не обогреваемой поверхности, так как значения μ_1 и A_1 являются функциями критерия Bi . Кроме этого сомножитель, стоящий во вторых квадратных скобках, является аргументом (в безразмерном виде) искомой функции (I), а сомножитель, стоящий в первых квадратных скобках, является обобщенным параметром, характеризующим приведенную толщину и условия теплообмена на обогреваемой поверхности. С учетом этих заключений, а также с целью упрощения применения в расчетной практике, уравнение (10) табулировано и представлено в виде номограммы (рис. 2).

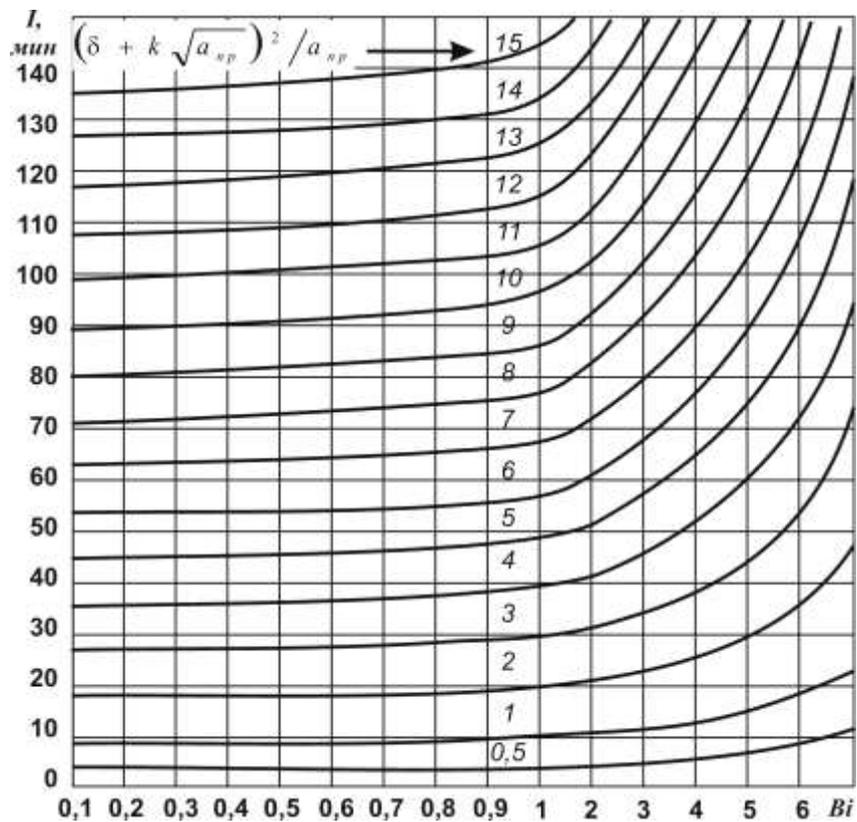


Рис. 2. Номограмма для определения предела огнестойкости ограждающих конструкций по теплоизолирующей способности (I) при температурном режиме стандартного пожара; цифры на кривых обозначают значение величины параметра $(\delta + k\sqrt{a_{np}})^2 / a_{np}$, (см)

Исследуя полученную таким образом номограмму, характеризующую процесс прогрева ограждающих конструкций различной толщины, выполненных из различных материалов (определяется коэффициентом температуропроводности (a)), можно сделать вывод, что влияние критерия Bi на предел огнестойкости до его значения равного 0,1 вообще

ничтожно, поэтому им можно пренебречь. Вследствие этого отмеченный интервал изменения критерия Bi на номограмме не представлен. Такие термически тонкие стенки для ограждающих конструкций не могут применяться в практических целях. В интервале от 0,1 до 1 влияние критерия Bi на предел огнестойкости составляет уже около 8 мин. А при значениях $Bi > 1$ его влияние на

охлаждение не обогреваемой поверхности ограждающих конструкций становится весьма значительным и, следовательно, им нельзя пренебрегать. Из номограммы видно также, что основное влияние на время прогрева не обогреваемой поверхности ограждающих конструкций до нормативной температуры оказывают толщина конструкции (δ) и ее теплофизические характеристики (a).

Методика расчета предела огнестойкости ограждающих конструкций с учетом реальных условий теплообмена на ограждающих поверхностях

С помощью построенной номограммы расчет предела огнестойкости ограждающих конструкций производится в следующей последовательности:

- рассчитываются значения коэффициентов теплопроводности и удельной теплоемкости ограждающей конструкции. при температуре равной среднеарифметическому значению между начальной и конечными значениями температур, на обеих поверхностях ограждающей конструкции за исследуемый интервал времени (для

температурного режима стандартного пожара – при температуре 250 °С);

– рассчитывается значение приведенного коэффициента температуропроводности;

– определяется коэффициент теплоотдачи на не обогреваемой поверхности;

– рассчитывается значения критерия Bi :

– рассчитывается значение параметра

$$(\delta + k\sqrt{a_{пр}})^2 / a_{пр};$$

– для полученных значений Bi и

$$(\delta + k\sqrt{a_{пр}})^2 / a_{пр},$$

по номограмме (рис. 2) определяем предел огнестойкости исследуемой ограждающей конструкции.

При расчетах огнестойкости многослойных панелей и плит перекрытий, у которых площадь пустот A_0 составляет не более 40% полной площади поперечного сечения A допускается [1] принимать предел огнестойкости по теплоизолирующей способности, как для плит сплошного сечения с приведенной толщиной, равной

$$\delta = (A - A_0) / v, \quad (13)$$

где v – ширина плиты. Если для плиты перекрытия известна нагрузка от собственного веса

(кг/м²), то приведенная толщина может быть определена по формуле:

$$\delta_{i\delta} = P / \rho_c. \quad (14)$$

где ρ_c – плотность сухого бетона, кг/м³.

При расчетах необходимо учитывать изменение не только теплофизических характеристик материалов с температурой, а также влияние на прогрев, эксплуатационной влажности материалов конструкций.

Анализ расчетной номограммы и методики расчета

Предложенная методика расчета предела огнестойкости ограждающих конструкций по признаку прогрева противоположной огневому воздействию поверхности до нормативной температуры с помощью разработанной номограммы, удобна в практическом применении, наглядно показывает влияние различных факторов на предел огнестойкости и обладает высокой точностью расчета.

Полученная на основе аналитического решения номограмма позволяет наглядно детально проанализировать влияние различных параметров на предел огнестойкости ограждающих конструкций по признаку прогрева не обогреваемой поверхности до нормативной температуры и сделать следующие выводы:

1) Основное влияние на время прогрева оказывает параметр

$(\delta + k\sqrt{a_{пр}})^2 / a_{пр}$. Чем больше его значение, тем выше будет предел огнестойкости ограждающей конструкции. По существу, этот параметр включает в себя два аргумента – это толщина конструкции δ и значение коэффициента температуропроводности a , который характеризует скорость прогрева материала стенки. Эмпирический коэффициент k зависит от плотности материала стенки, которая также входит в коэффициент температуропроводности a . Таким образом, увеличение толщины стенки повышает предел огнестойкости, а увеличение коэффициента температуропроводности приводит к уменьшению предела огнестойкости стенки.

2) На предел огнестойкости оказывают влияние условия теплообмена на не обогреваемой поверхности. Причем, изменение критерия Bi в интервале от 0,1 до 1 сказывается незначительно на предел огнестойкости (максимум на 8 мин.). Увеличение критерия Bi в интервале от 1 до 7 оказывает значительное влияние на предел огнестойкости конструкции, в основном за счет увеличения коэффициента теплоотдачи. Например, из номограммы видно, что при значении параметра

$(\delta + k\sqrt{a_{пр}})^2 / a_{пр} = 5$ предел огнестойкости повышается от 45 мин при значении критерия $Bi = 0,1$ до 120 мин при значении критерия $Bi = 7$, т.е. увеличивается почти в три раза.

Отметим, что случаи, когда значение критерия $Bi < 0,1$ не представляют интереса для расчета предела огнестойкости ограждающих конструкций. Так как при значениях критерия $Bi < 0,1$ температурное поле в ограждающей конструкции будет равномерным, что характерно для металлических конструкций или конструкций из других материалов, но очень малой толщины.

3) Следует подчеркнуть, что номограмма позволяет определить предел огнестойкости ограждающих конструкций при отсутствии теплообмена на не обогреваемой поверхности. Для этого необходимо значение Bi принять равным нулю (практически равным 0,1). Например, если в рассмотренном примере принять, что теплообмен на не обогреваемой поверхности отсутствует (поверхность теплоизолирована), то из номограммы получим, что предел огнестойкости ограждающей будет равен 113 мин.

$$(\delta + k\sqrt{a_{пр}})^2 / a_{пр} = 12,7; Bi = 0,1.$$

Таким образом, в случае отсутствия теплообмена на не обогреваемой поверхности, предел огнестойкости рассматриваемой конструкции уменьшится на 9 мин.

4) Предложенная номограмма обладает еще одним важным свойством, так как позволяет определять предел огнестойкости ограждающих конструкций в условиях высокоинтенсивного теплового воздействия при пожаре (при горении легковоспламеняющихся жидкостей и газов), когда температуру обогреваемой поверхности конструкции можно принять равной температуре пожара. В этом случае толщина фиктивного слоя будет равна нулю. А последовательность расчета предела огнестойкости остается прежней. Очевидно, что в этом случае предел огнестойкости ограждающей конструкции значительно уменьшится. Так для рассмотренного примера предел огнестойкости уменьшится с 122 мин. до 84 мин., т.е. почти на третью часть времени. Следовательно, этот фактор необходимо учитывать при расчетах фактического предела огнестойкости ограждающих конструкций в случае высокоинтенсивного температурного воздействия вероятных пожаров.

Таким образом, разработанная номограмма позволяет определить предел огнестойкости ограждающих конструкций (по признаку прогрева до нормативной температуры) для различных вариантов теплообмена на поверхностях ограждающей конструкции:

– при свободном теплообмене на не обогреваемой поверхности ограждающей конструкции;

– при отсутствии теплообмена на противоположной огневому воздействию поверхности ограждающей конструкции;

– при изменении температуры реальных пожаров пропорционально стандартно кривой;

– при условии, когда температура обогреваемой поверхности после начала пожара сразу принимает максимальное значение (при $Bi > 50$), а на не обогреваемой поверхности теплообмен может иметь место или отсутствовать.

Построение расчетных номограмм для температурных режимов, пропорциональных стандартному пожару

Представленные выше результаты исследований и методика расчета предела огнестойкости ограждающих конструкций разработаны применительно к температурному режиму стандартного пожара. Однако, как в нашей, так и в зарубежных странах, большое внимание обращается на повышение надежности эксплуатации зданий и сооружений с учетом степени риска возникновения и развития пожара, исходя из загрузки помещений горючими материалами, а также горючими веществами, применяющимися в технологических процессах, ГОСТ Р 12.3047-98 «Пожарная безопасность технологических процессов».

Поэтому нами разработаны номограммы для расчета предела огнестойкости ограждающих конструкций для температурных режимов пропорциональных стандартному пожару с коэффициентами пропорциональности равными 0,7; 0,9; 1,3. Такие температурные режимы характерны для пожаров в подвалах (максимальная температура горения составляет 800 °С), горения углеводородного сырья (максимальная температура составляет 1100 °С), а также легковоспламеняющихся горючих жидкостей и газов (максимальная температура составляет 1600 °С). Для указанных температурных режимов нами построены расчетные номограммы, представленные на рис. 3-5.

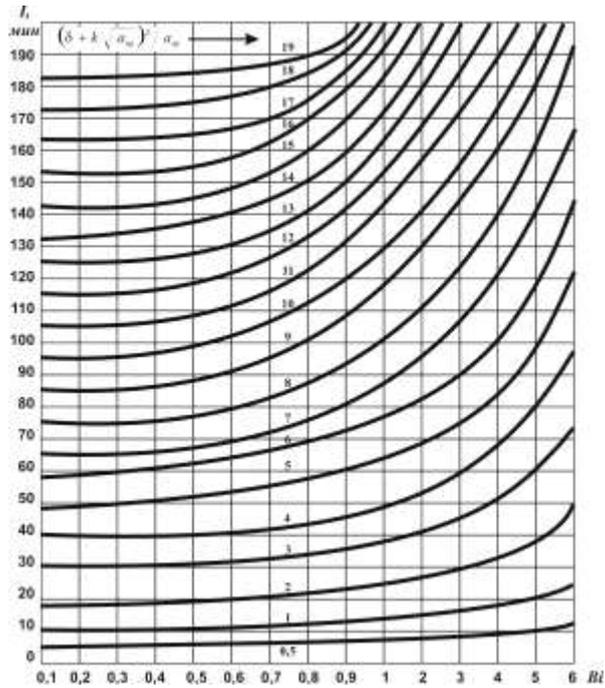


Рис. 3. Номограмма для определения предела огнестойкости ограждающих конструкций по теплоизолирующей способности (I) при температурном режиме подобном стандартному пожару, с коэффициентом пропорциональности равным 0,7; цифры на кривых обозначают значение величины параметра $(\delta + k\sqrt{a_{np}})^2 / a_{np}$, (см)

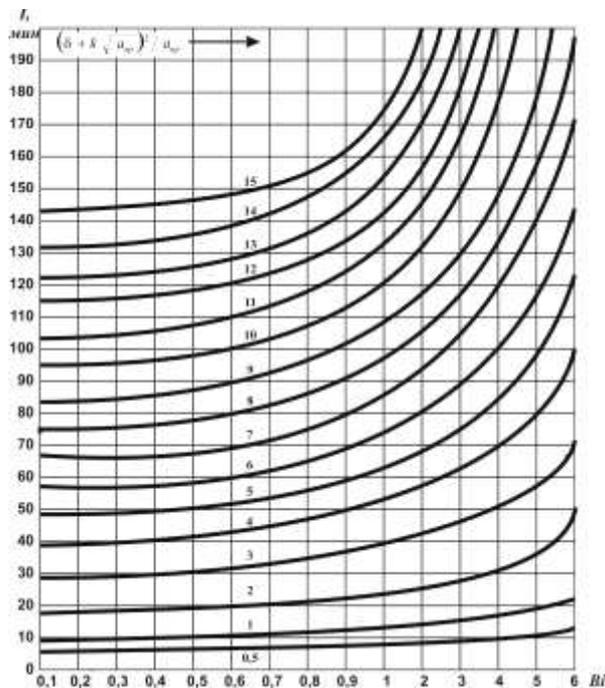


Рис. 4. Номограмма для определения предела огнестойкости ограждающих конструкций по теплоизолирующей способности (I) при температурном режиме подобном стандартному пожару, с коэффициентом пропорциональности равным 0,9; цифры на кривых обозначают значение величины параметра $(\delta + k\sqrt{a_{np}})^2 / a_{np}$, (см)

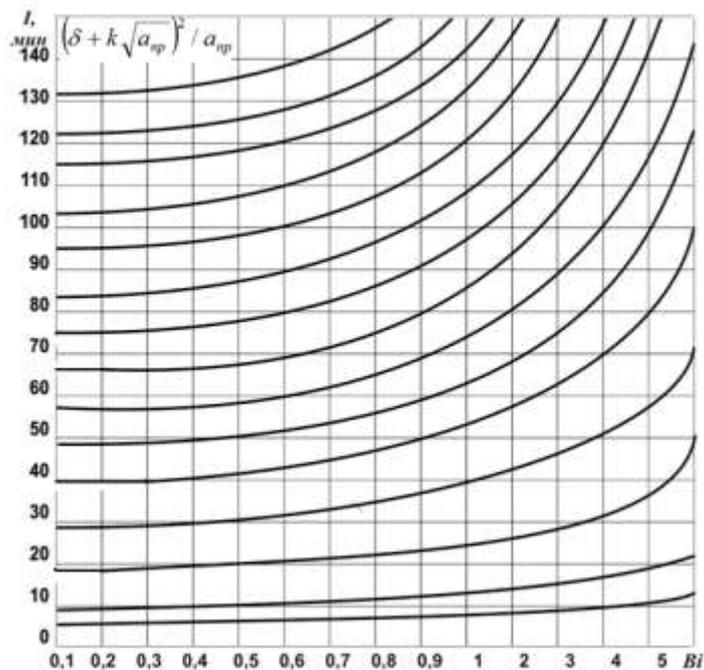


Рис. 5. Номограмма для определения предела огнестойкости ограждающих конструкций по теплоизолирующей способности (I) при температурном режиме подобном стандартному пожару, с коэффициентом пропорциональности равным 1,3; цифры на кривых обозначают значение величины параметра $(\delta + k\sqrt{a_{np}})^2 / a_{np}$, (см)

Полученные номограммы позволяют учесть температурные режимы виртуальных пожаров при расчетах предела огнестойкости ограждающих конструкций. Из полученных данных для рассматриваемых температурных режимов следует, что наибольшее расхождение по времени наступления предела огнестойкости соответствует температурному режиму с коэффициентом пропорциональности 0,7 и составляет около 14%. Следовательно, для повышения пожарной безопасности зданий и сооружений необходимо учитывать температурные режимы вероятных пожаров. Поэтому разработанные номограммы позволят более точно и эффективно определять предел огнестойкости ограждающих конструкций на основе загрузки помещений горючими материалами.

При расчетах необходимо учитывать также изменение теплофизических характеристик материалов с изменением температуры, а также влияние на прогрев эксплуатационной влажности материалов конструкций.

Таким образом, предложенная методика расчета с помощью разработанных номограмм позволяет легко определить предел огнестойкости ограждающих конструкций для различных случаев теплообмена на поверхностях ограждающих конструкций:

- при изменении температуры пожара согласно стандартной кривой;
- при изменении температуры пожара пропорционально стандартной кривой, с

коэффициентом пропорциональности равным 0,7; 0,9; и 1,3;

- при мгновенном достижении максимальной температуры обогреваемой поверхности в начале пожара ($Bi > 50$);

- при свободном теплообмене на не обогреваемой поверхности ограждающей конструкции;

- при отсутствии теплообмена на не обогреваемой поверхности.

Примеры расчета.

Требуется определить предел огнестойкости ограждающей конструкции для температурного режима стандартного пожара, в виде сплошной железобетонной стены толщиной $\delta = 0,12$ м по признаку прогрева обратной огневому воздействию поверхности до температуры, превышающей начальную температуру на 140°C . Характеристика бетона: заполнитель крупный гранитный щебень; объемная масса в сухом состоянии $\rho = 2330 \text{ кг/м}^3$; начальная весовая влажность $w=2$ %; степень черноты не обогреваемой поверхности $\varepsilon=0,625$. Расчет произвести для четырех случаев теплообмена на обеих поверхностях ограждающей конструкции (при наличии и отсутствии теплообмена на необогреваемой поверхности; при изменении температуры пожара по стандартной кривой и случая, когда конструкция подвергается высокоинтенсивному огневому воздействию – температура поверхности ограждающей

конструкции с начала пожара принимает максимальное значение).

Решение:

1. Определяем исходные данные: теплофизические характеристики бетона при температуре 250 °С:

$$\lambda_t^{cp} = 1,2 - 0,00035t = 1,2 - 0,00035 \cdot 250 = 1,11 \text{ Вт/м}^0\text{С};$$

$$c_t^{cp} = 0,71 - 0,00084t = 0,71 + 0,00084 \cdot 250 = 0,92 \text{ кДж/кг} \cdot ^0\text{С};$$

$$K = 0,63 \text{ (по табл. П. 3.1);}$$

конечное значение температуры на не обогреваемой поверхности:

$$t_{н.пр.} = 140 + t_0 = 160 \text{ }^0\text{С}.$$

2. Определяем приведенный коэффициент температуропроводности:

$$a_{np} = \frac{4,67\lambda_t^{cp}}{(c_t^{cp} + 0,05w)\rho_c} = \frac{4,67 \cdot 1,11}{(0,92 + 0,05 \cdot 2)2330} = 0,00168 \text{ м}^2/\text{ч}.$$

3. Вычисляем коэффициент теплоотдачи на не обогреваемой поверхности:

$$\alpha_{н.п}^{cp} = 4,83 + 8,875 \cdot 0,625 = 10,425 \text{ Вт/м}^2\text{.}^0\text{С}.$$

4. Определяем критерий Bi :

$$Bi = \frac{10,425}{1,11} (0,12 + 0,63\sqrt{0,00168}) = 1,37$$

5. Определяем значение параметра

$$(\delta + k\sqrt{a_{np}})^2 / a_{np}:$$

$$(\delta + k\sqrt{a_{np}})^2 / a_{np} = (0,12 + 0,63\sqrt{0,00168})^2 / 0,00168 = 12,7.$$

Библиографический список

1. Яковлев А.И. Расчет огнестойкости строительных конструкций. – М.: Стройиздат, 1988. – 143 с.
2. Мосалков И.Л., Плюснина Г.Ф., Фролов А.Ю. Огнестойкость строительных конструкций. – М.: ЗАО «СПЕЦТЕХНИКА», 2001. – 496 с.
3. Огнестойкость конструкций с применением металла, асбоцемента, пластмасс, клееной древесины и других эффективных материалов: Сб. науч. тр. (ЦНИИ строит. конструкций им. В.А. Кучеренко) – М.: Стройиздат, 1985, – 112 с.
4. Работа железобетонных конструкций при высоких температурах. – М.: Стройиздат, 1972, – 160 с.
5. Зайцев А.М., Крикунов Г.Н., Яковлев А.И. Расчет огнестойкости элементов строительных конструкций. Воронеж: Изд-во ВГУ, 1982. – 118 с.
6. Зайцев А.М., Черных Д.С. О системной погрешности аппроксимации

6. Определяем значение предела огнестойкости ограждающей конструкции:

а) при изменении температуры пожара по стандартному температурному режиму и свободному теплообмену на не обогреваемой поверхности: по найденному значению Bi и $(\delta + k\sqrt{a_{np}})^2 / a_{np}$ по номограмме (см. рис.2)

определяем предел огнестойкости исследуемой ограждающей конструкции из железобетона по признаку прогрева до нормативной температуры на не обогреваемой поверхности 122 мин.;

б) как и в случае а), но теплообмен на не обогреваемой поверхности отсутствует: по номограмме (см. рис. 2) при $Bi=0$, получим, что предел огнестойкости будет равен 115 мин.;

в) если обогреваемая поверхность подвергается высокоинтенсивному огневому воздействию, тогда значение параметра $(\delta + k\sqrt{a_{np}})^2 / a_{np}$ будет равно 8,57,

следовательно, предел огнестойкости ограждающей конструкции при свободном теплообмене не обогреваемой поверхности будет равен 85 мин.;

г) как и в случае в) при отсутствии теплообмена не обогреваемой поверхности: предел огнестойкости будет равен 77 мин.

Аналогичные расчеты производятся и для других температурных режимов пожаров, при этом для расчетов применяются соответствующие номограммы (рис. 3-5). Полученные результаты расчетов предела огнестойкости ограждающих конструкций по предложенной методике хорошо согласуются с экспериментальными данными.

В работе также использовались материалы следующих исследований [4-25].

References

1. YAKovlev A.I. Raschet ognestojkosti stroitel'nyh konstrukcij. – М.: Strojizdat, 1988. – 143 s.
2. Mosalkov I.L., Plyusnina G.F., Frolov A.YU. Ognestojkost' stroitel'nyh konstrukcij. – М.: ЗАО «СПЕЦТЕХНИКА», 2001. – 496 s.
3. Ognestojkosti' konstrukcij s primeneniem metalla, asbocementa, plastmass, kleenoi drevesiny i drugih ehffektivnyh materialov: Sb. nauch. tr. (CNIИ stroit. konstrukcij im. V.A. Kucherenko). – М.: Strojizdat, 1985, – 112 s.
4. Rabota zhelezobetonnyh konstrukcij pri vysokih temperaturah. – М.: Strojizdat, 1972, – 160 s.
5. Zajcev A.M., Krikuнов G.N., YAKovlev A.I. Raschet ognestojkosti ehlementov stroitel'nyh konstrukcij. Voronezh: Izd-vo VGU, 1982. – 118 s.
6. Zajcev A.M., CHernyh D.S. O sistemnoj pogreshnosti approksimacii temperaturnogo rezhima standartnogo požara matematicheskimi formulami. Pozharovzryvobezopasnost'. 2011. – Т. 20. – № 7. – S. 14-17.
7. Zajcev A.M., Zaryayev A.V. Progrev zhelezobetonnyh konstrukcij pri požare. Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Stroitel'stvo. 1996. – № 6. – S. 9-12.

температурного режима стандартного пожара математическими формулами. *Пожаровзрывобезопасность*. 2011. – Т. 20. – №7. – С. 14-17.

7. Зайцев А.М., Заряев А.В. Прогрев железобетонных конструкций при пожаре. *Известия высших учебных заведений. Строительство*. 1996. – №6. – С. 9-12.

8. Мозговой Н.В., Зайцев А.М. Анализ функциональных зависимостей температурной кривой стандартного пожара. *Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура*. 2008. – №3. – С. 196-199.

9. Зайцев А.М. Метод расчета прогрева многослойных конструкций путем приведения их к однослойной пластине на основе модифицированного уравнения нестационарной теплопроводности фурье. *Пожаровзрывобезопасность*. 2006. – Т. 15. – №3. – С. 55-61.

10. Зайцев А.М. Аналитическое решение задачи прогрева теплоизолированных стальных конструкций при пожарах. *Пожаровзрывобезопасность*. 2004. – Т. 13. – №3. – С. 22-29.

11. Зайцев А.М., Крикунов Г.Н., Яковлев А.И. Метод расчета огнестойкости теплоизолированных металлических конструкций. *Известия высших учебных заведений. Строительство*. 1980. – №2. – С. 20-23.

12. Грошев М.Д., Зайцев А.М. Огнестойкость и огнезащита строительных конструкций. учебное пособие для студентов, обучающихся по направлению 270100 «Строительство», а также по специальности 280104 «Пожарная безопасность» / М. Д. Грошев, А. М. Зайцев; Федеральное агентство по образованию, Воронежский государственный архитектурно-строительный университет. Воронеж, 2008. – 139 с.

13. Зайцев А.М., Заряев А.В., Лукин А.Н., Рудаков О.Б. Выход токсичных летучих веществ из отделочных строительных материалов на ранней стадии пожара. *Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Физико-химические проблемы и высокие технологии строительного материаловедения*. 2011. – №3-4. – С. 127-133.

14. Зайцев А.М., Болгов В.А., Черных Д.С. Определение коэффициента теплоотдачи в строительные конструкции при стандартном пожаре. *Гелиогеофизические исследования*. 2014. – №9(9). – С. 49-53.

15. Зайцев А.М., Крикунов Г.Н. Исследование температурного режима в многослойных стенках при переменном значении теплового потока. *Известия высших учебных заведений. Строительство*. 1976. – №11. – С. 114-117.

16. Заряев А.В., Лукин А.Н., Зайцев А.М. Исследование прогрева строительных и отделочных материалов при пожаре для оценки выхода токсичных летучих веществ. *Пожаровзрывобезопасность*. 2004. – Т. 13. – №6. – С. 53-56.

17. Зайцев А.М., Болгов В.А. Особенности учета начальной стадии пожара при

8. Mозговой N.V., Zajcev A.M. Analiz funkcional'nyh zavisimostej temperaturnoj krivoj standartnogo požhara. *Nauchnyj vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Stroitel'stvo i arhitektura*. 2008. – № 3. – S. 196-199.

9. Zajcev A.M. Metod rascheta progrena mnogoslujnyh konstrukcij putem privedeniya ih k odnoslujnoj plastine na osnove modifitsirovannogo uravneniya nestacionarnoj teploprovodnosti fur'e. *Pozharovzryvobezopasnost'*. 2006. – T. 15. – № 3. – S. 55-61.

10. Zajcev A.M. Analiticheskoe reshenie zadachi progrena teploizolirovannyh stal'nyh konstrukcij pri požarah. *Pozharovzryvobezopasnost'*. 2004. – T. 13. – № 3. – S. 22-29.

11. Zajcev A.M., Krikunov G.N., Yakovlev A.I. Metod rascheta ognestojkosti teploizolirovannyh metallicheskih konstrukcij. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Stroitel'stvo*. 1980. – № 2. – S. 20-23.

12. Groshev M.D., Zajcev A.M. Ognestojkost' i ognезashchita stroitel'nyh konstrukcij. *uchebnoe posobie dlya studentov, obuchayushchihsya po napravleniyu 270100 «Stroitel'stvo», a takzhe po special'nosti 280104 «Pozharnaya bezopasnost'» / M.D. Groshev, A.M. Zajcev; Federal'noe agentstvo po obrazovaniyu, Voronezhskij gosudarstvennyj arhitekturno-stroitel'nyj universitet. Voronezh, 2008. – 139 s.*

13. Zajcev A.M., Zaryayev A.V., Lukin A.N., Rudakov O.B. Vyhod toksichnyh letuchih veshchestv iz otdelochnykh stroitel'nyh materialov na rannej stadii požhara. *Nauchnyj vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Fiziko-himicheskie problemy i vysokie tekhnologii stroitel'nogo materialovedeniya*. 2011. – № 3-4. – S. 127-133.

14. Zajcev A.M., Bolgov V.A., Chernykh D.S. Opredelenie koehfficienta teplootdachi v stroitel'nye konstrukcii pri standartnom požhare. *Geliogeofizicheskie issledovaniya*. 2014. – № 9 (9). – S. 49-53.

15. Zajcev A.M., Krikunov G.N. Issledovanie temperaturnogo rezhima v mnogoslujnyh stenkah pri peremennom znachenii teplovogo potoka. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Stroitel'stvo*. 1976. – № 11. – S. 114-117.

16. Zaryayev A.V., Lukin A.N., Zajcev A.M. Issledovanie progrena stroitel'nyh i otdelochnykh materialov pri požhare dlya ocenki vyhoda toksichnyh letuchih veshchestv. *Pozharovzryvobezopasnost'*. 2004. – T. 13. – № 6. – S. 53-56.

17. Zajcev A.M., Bolgov V.A. Osobennosti ucheta nachal'noj stadii požhara pri raschete progrena stroitel'nyh konstrukcij. *Vestnik Voronezhskogo instituta GPS MCHS Rossii*. 2015. – № 2 (15). – S. 7-14.

18. Zajcev A.M., Groshev M.D. Ognestojkost' i ognезashchita stroitel'nyh konstrukcij. *Voronezh, 2016. – (2-e izdanie, pererabotannoe i dopolnennoe) – 149 s.*

19. Zajcev A.M., Bolgov V.A. K raschetu vremeni podogreva stal'nyh konstrukcij pri požharah do kriticheskij temperatur. *V sbornike: KOMPLEKSNYE PROBLEMY TEKHNOFERNOM BEZOPASNOSTI Materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii*. 2016. – S. 195-201.

20. Zajcev A.M. Odnа zadacha nestacionarnoj teploprovodnosti dlya trekhslujnoj stenki. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Stroitel'stvo*. 1975. – № 9. – S. 132-135.

21. Zajcev A.M. Graficheskij metod rascheta predela ognestojkosti ograzhdayushchih konstrukcij po priznaku progrena neobogrevaemoj poverhnosti do normativnoj temperatury. *Pozharovzryvobezopasnost'*. 2005. – T. 14. – № 1. – S. 29-32.

22. Zajcev A.M. Progreв zhelezobetonnyh konstrukcij pri real'nyh požharah. *Pozharovzryvobezopasnost'*. 2004. T. 13. № 6. S. 26-32.

23. Khudikovskiy V.L., Zaytsev A.M. Method of

расчете прогрева строительных конструкций. Вестник Воронежского института ГПС МЧС России. 2015. – №2(15). – С. 7-14.

18. Зайцев А.М., Грошев М.Д. Огнестойкость и огнезащита строительных конструкций. Воронеж, 2016. – (2-е издание, переработанное и дополненное) – 149 с.

19. Зайцев А.М., Болгов В.А. К расчету времени поджога стальных конструкций при пожарах до критических температур. В сборнике: КОМПЛЕКСНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ТЕХНОСФЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ Материалы Международной научно-практической конференции. 2016. С. 195-201.

20. Зайцев А.М. Одна задача нестационарной теплопроводности для трехслойной стенки. Известия высших учебных заведений. Строительство. 1975. – №9. – С. 132-135.

21. Зайцев А.М. Графический метод расчета предела огнестойкости ограждающих конструкций по признаку прогрева необогреваемой поверхности до нормативной температуры. Пожаровзрывобезопасность. 2005. – Т. 14. – №1. – С. 29-32.

22. Зайцев А.М. Прогрев железобетонных конструкций при реальных пожарах. Пожаровзрывобезопасность. 2004. Т. 13. №6. С. 26-32.

23. Khudikovskiy V.L., Zaitsev A.M. Method of calculation of fire resistance of heat-insulated metal constructions. Scientific Herald of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. Construction and Architecture. 2009. – №2. – С. 63-68.

24. Zaitsev A.M., Khudikovskiy V.L., Aksenov S.P. Modification of dimensionalities of coefficients of heat conduction, temperature conduction and derivation of fourier's equation of unsteady heat conduction. Scientific Herald of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. Construction and Architecture. 2011. – №4. – С. 84-97.

25. Zaitsev A.M. The analytical solution of the problem of warming up of the sandwich constructions at fires. Scientific Israel - Technological Advantages. 2016. – Т. 18. – №2. – С. 124-135.

calculation of fire resistance of heat-insulated metal constructions. Scientific Herald of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. Construction and Architecture. 2009. – № 2. – S. 63-68.

24. Zaitsev A.M., Khudikovskiy V.L., Aksenov S.P. Modification of dimensionalities of coefficients of heat conduction, temperature conduction and derivation of fourier's equation of unsteady heat conduction. Scientific Herald of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. Construction and Architecture. 2011. – № 4. – S. 84-97.

25. Zaitsev A.M. The analytical solution of the problem of warming up of the sandwich constructions at fires. Scientific Israel - Technological Advantages. 2016. – Т. 18. – № 2. – S. 124-135.

CONCLUSION OF THE CALCULATED FORMULA AND CONSTRUCTION OF NOMOGRAM FOR CALCULATION OF FIRE RESISTANT FIRE RESISTANCE CONSTRUCTIONS UNDER DIFFERENT CONDITIONS OF HEAT EXCHANGE ON PROPOSED SURFACES

An analytical solution of the nonstationary heat conduction problem for determining the heating of a single-walled wall (enclosing structure) under fire action is given. The calculated formula for calculation convenience was tabulated and presented as a nomogram. It is noteworthy that the nomogram thus obtained makes it possible to determine the limit of fire resistance of enclosing structures for four variants of heat exchange of a wall on two surfaces: from the side of fire action and opposite to the fire action of the side. The method of calculation, concrete examples of calculation and analysis of the results obtained are presented. Nomograms were also constructed to determine the fire resistance limit of enclosing structures under temperature conditions proportional to the standard fire.

Keywords: *enclosing structures, fire resistance limit, calculation method, temperature regimes proportional to standard fire.*

Зайцев Александр Михайлович,

проф., к.т.н.,

Воронежский государственный технический университет,

Россия, Воронеж,

e-mail: zaitsev856@yandex.ru,

Zaytsev A.M.,

Prof., Cand. Tech. Sci.,

Voronezh State Technical University,

Russia, Voronezh.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ В РЕЗЕРВУАРНЫХ ПАРКАХ С ПОМОЩЬЮ СТАЦИОНАРНЫХ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

У.А. Керимов, В.А. Смирнов, Д.Ю. Захаров, О.Г. Волков, А.Н. Бочкарев

В статье рассматриваются вопросы совершенствования системы тушения пожаров в резервуарах с хранением нефтепродуктов с помощью робототехнических комплексов. Произведен количественный анализ тушения пожаров с применением существующих способов тушения пожаров и с комплексным использованием стационарных роботизированных лафетных стволов и средств обнаружения пожара, для охлаждения, горящего и соседнего резервуаров в автономном режиме, на основе этого анализа выявлено, что применение робототехнических средств позволит не только сократить время тушения пожара, но и сократить количество личного состава оперативных подразделений привлекаемого на проведение мероприятий по охлаждению резервуаров.

Ключевые слова: *Тушение пожара, аварийно-спасательные работы, нефтепродукты, резервуарные парки, пожарно-техническое вооружение.*

Пожароопасные свойства веществ, обращающихся в производстве, создают особую сложность при возникновении аварий, пожаров на предприятиях, что приводит к частичной остановке технологического производства и останавливает не одно, а несколько предприятий. Их простой, прямые убытки от данных пожаров увеличивает косвенный ущерб, наносимый государству. Особую опасность представляют собой резервуарные парки, так как в них сосредоточено большое количество горючей жидкости. Резервуары для нефти и нефтепродуктов относятся к промышленным сооружениям повышенной пожарной опасности. Пожары, возникшие на подобных объектах, принимают во многих случаях большие размеры и характеризуются сложностью их локализации и тушения. В процессе тушения пожаров в резервуарах личный состав пожарных подразделений оказываются в зоне риска получения ожогов от теплового излучения, исходящего от пламени горения, на расстояние которое может достигать 20-30 метров.

Чем меньше время свободного развития пожара, тем меньше тепла накапливается в стенках резервуара и меньше толщина слоя прогреваемых жидкостей (влажная нефть, мазут) и тем легче потушить пожар. В идеальном случае было бы целесообразно потушить пожар в течение первых 5-10 минут после воспламенения. Эти требования должны выполняться при защите резервуаров автоматическими системами пожаротушения. Однако применявшиеся до последнего времени стационарные установки пожаротушения на основе пены средней кратности по многим причинам обладают крайне низкой эффективностью. Поэтому даже и при наличии стационарных установок для тушения развившихся пожаров в резервуарах

применялись мобильные средства пожаротушения. В этом случае время свободного развития пожара увеличивается до одного, а то и нескольких часов [3].

Как показывает практика тушения пожаров в резервуарных парках, сил и средств оперативных подразделений значительно не хватает, для ведения действий в нескольких направлениях. Личному составу при работе по охлаждению резервуаров, согласно нормативных документов по охране труда, необходимо работать в теплоотражательных комплектах и в СИЗОД, что делает их менее маневренными и повышает степень тяжести при выполнении поставленных задач. При этом создаются резервные группы, для смены личного состава, выполняющего задачи на участке по охлаждению резервуаров.

Для охлаждения резервуаров необходимо использовать пожарные стволы с большим расходом, что приводит к увеличению численности личного состава, задействованного только на охлаждение. Учитывая все вышеуказанные факторы, для выполнения основной задачи, необходимо сосредоточить силы и средства для проведения пенной атаки [9]. Возникает проблема нехватки личного состава для проведения работ по тушению пожара в полном объеме, что увеличивает время тушения пожара в резервуарном парке. В данной статье для решения вышеуказанных проблем предлагается комплексное использование стационарных роботизированных лафетных стволов и средств обнаружения пожара, для охлаждения, горящего и соседнего резервуаров в автономном режиме. Путем объединения стационарных роботизированных лафетных стволов и средств обнаружения пожара формируются стационарные робототехнические противопожарные средства –

СРБК. СРБК включают в себя не только средства обнаружения пожара внутри резервуара, но также устройства, позволяющие обнаружить возгорание в обваловании резервуарного парка (инфракрасные камеры, извещателями пламени и ТВ камерами для видеоконтроля).

Стационарный робототехнический комплекс – совокупность нескольких пожарных роботов, объединенных общей системой управления и обнаружения пожара. Пожарный робот – стационарное автоматическое средство, смонтированное на неподвижном основании, состоящее из пожарного ствола, имеющего несколько степеней подвижности, оснащенного системой приводов, а также из устройства программного управления

СРБК срабатывают по объективным показателям, поступающих от средств обнаружения пожара на главный узел управления, и обеспечивают оперативную подачу огнетушащих веществ без участия человека. Использование таких организационно – технических решений позволит сократить сосредоточение личного состава подразделений на охлаждение резервуаров и задействовать на подготовку технических средств пожарной охраны для подготовки и проведения пенной атаки. Кроме того, количество личного состава, работающего в зоне теплового воздействия будет минимален, что сократит количество возможных потерь.

В нормативно-технических источниках указывается, что моделирование процессов пожаротушения, выполненное по реальным исходным данным резервуарных парков, подтверждается возможность возникновения и развития масштабных аварийных ситуаций, когда применение только существующих в настоящее время технических средств будет недостаточно для

ликвидации пожара в приемлемые сроки [10]. Эффективным решением в данной ситуации может стать комплексное использование специализированных стационарных робототехнических комплексов, способных в зависимости от складывающейся обстановки обеспечить проведение необходимого объема действий по предотвращению развития аварийной ситуации или сдерживанию и предотвращению каскадного развития пожара. Ниже в таблице 1 приведено расчетное количество технических средств, необходимых для тушения и охлаждения резервуаров, а также количество личного состава, который будет задействован на тушение пожара в резервуарном парке в зависимости от характеристик резервуаров (в расчетах принимался сценарий одного горящего и трех соседних резервуаров). Исходя из данных, полученных в ходе расчетов (табл. 1), можно провести количественный анализ необходимого количества технических средств для тушения пожара в резервуарном парке (рис. 1) и личного состава, задействованного на тушение пожара (рис. 2), на основе этих показателей можно сделать вывод, что при использовании СРБК при тушении пожара в резервуарном парке, личному составу оперативных подразделений нет необходимости работать на участке по охлаждению резервуаров, при этом не уменьшая тактические возможности гарнизона. За счет работы СРБК на пожаре в резервуарном парке уменьшается вероятность работы личного состава в зоне теплового воздействия и как следствие уменьшается возможность гибели личного состава. При всем этом, личный состав незадействованный на охлаждение резервуаров может быть направлен в помощь на подготовку пожарной техники к пенной атаке или же в тыл для создания резерва сил и средств.

Таблица

Количество личного состава и технических средств, необходимых для тушения пожара, в зависимости от типа РВС

Тип РВС	Кол-во РС – 70 на тушение и охлаждение РВС	Кол-во л/с при тушении пожара с РС-70	Кол-во ПЛС - 20 на тушение и охлаждение РВС	Кол-во л/с на тушение с ПЛС -20	Кол-во СРБК - 20 на тушение и охлаждение РВС	Кол-во СРБК- 40 на тушение и охлаждение РВС	Кол-во СРБК- 60 на тушение и охлаждение РВС	Кол-во СРБК- 100 на тушение и охлаждение РВС	Общее кол-во л/с при тушении с СРБК
РВС - 100	8	16	5	10	5	4	4	4	8
РВС - 2000	12	24	5	10	5	4	4	4	8
РВС - 3000	13	26	6	12	6	5	4	4	8
РВС - 5000	15	30	6	12	6	5	4	4	8
РВС - 10000	22	44	8	16	8	6	5	4	8
РВС - 15000	24	48	9	18	9	6	5	5	8
РВС - 20000	29	58	12	24	12	6	5	5	8
РВС - 30000	30	60	12	24	12	6	5	5	8
РВС - 50000	37	74	14	28	14	7	6	5	8
РВС - 100000	49	98	20	40	20	12	7	6	8
РВС - 120000	55	110	21	42	21	12	7	6	8

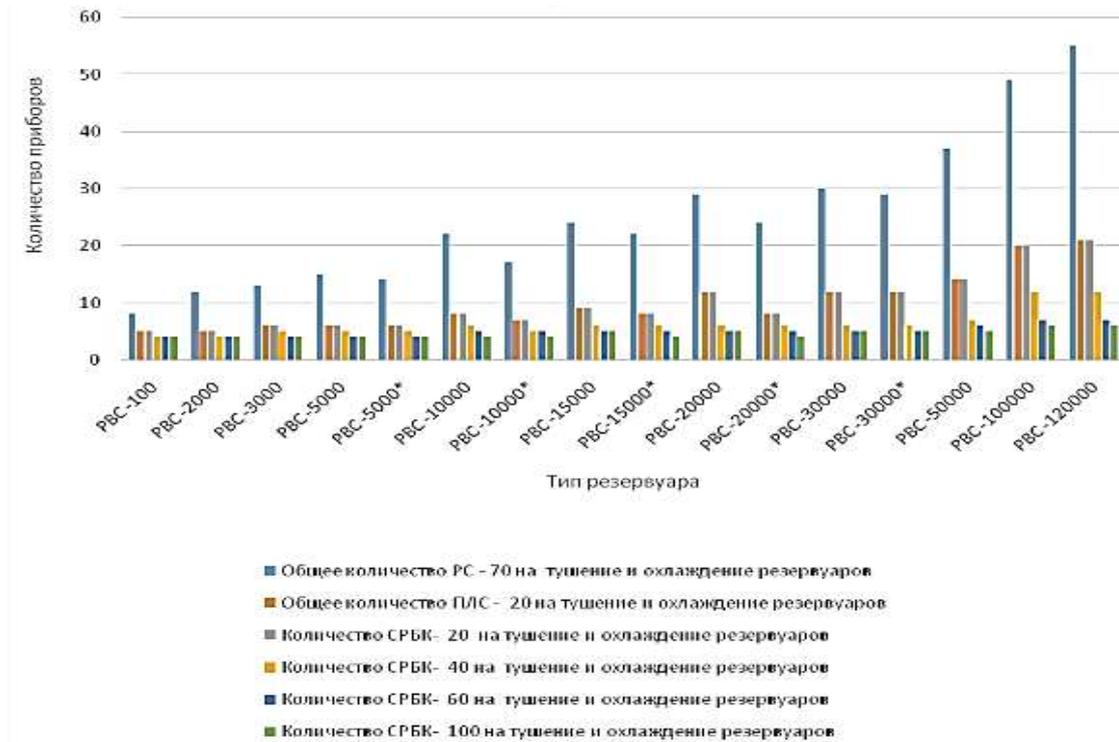


Рис. 1. Необходимое количество приборов для тушения пожара в резервуарном парке в зависимости от характеристик резервуаров



Рис. 2. Количество личного состава оперативных подразделений необходимого для тушения пожара в резервуарном парке, в зависимости от типа PBC

Библиографический список

1. Федеральный закон № 69-ФЗ от 21.12.1994 г. «О пожарной безопасности».
2. Федеральный закон № 123-ФЗ от 22.07.2008 г. «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».
3. Руководство по тушению пожаров нефти

References

1. Federal'nyj zakon № 69-FZ ot 21.12.1994 g. «O požarnoj bezopasnosti».
2. Federal'nyj zakon № 123-FZ ot 22.07.2008 g. «Tekhnicheskij reglament o trebovaniyah požarnoj bezopasnosti».
3. Rukovodstvo po tusheniyu požarov nefi

и нефтепродуктов в резервуарах и резервуарных парках. – М.: ГУГПС, ВНИИПО МВД России, 1999. – 86 с.

4. Изменения и дополнения в Руководство по тушению пожаров нефти и нефтепродуктов в резервуарах и резервуарных парках (информационное письмо ГУГПС от 19.05.2000 № 20/2.3/1863).

5. Свод правил 155.13130.2014 Склады нефти и нефтепродуктов требования пожарной безопасности.

6. Приказ МЧС России от 31.03.2011г. №156 «Об утверждении порядка тушения пожаров подразделениями пожарной охраны», 2011.

7. Приказ Минтруда России от 23.12.2014г. №1100н «Об утверждении Правил по охране труда в подразделениях федеральной противопожарной службы Государственной противопожарной службы».

8. Теребнев В.В., Подгрушный А.В. Пожарная тактика. – Екатеринбург: Изд. «Дом Калан» 2007. – 538с.

9. Теребнев В.В., Теребнев А.В. Управление силами и средствами на пожаре. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2003. – 260 с.

10. В.В. Теребнев Справочник руководителя тушения пожара. Тактические возможности пожарных подразделений – М.: Изд. «Пож. Книга», 2004. – 248 с.

i nefteproduktov v rezervuarah i rezervuarnyh parkah. – М.: GUGPS, VNIIPPO MVD Rossii, 1999. – 86 s.

4. Izmeneniya i dopolneniya v Rukovodstvo po tusheniyu pozharov nefiti i nefteproduktov v rezervuarah i rezervuarnyh parkah (informacionnoe pis'mo GUGPS ot 19.05.2000 № 20/2.3/1863).

5. Svod pravil 155.13130.2014 Sklady nefiti i nefteproduktov trebovaniya požarnoj bezopasnosti.

6. Prikaz MCHS Rossii ot 31.03.2011g. №156 «Ob utverzhdenii poryadka tusheniya požarov podrazdeleniyami požarnoj ohrany», 2011.

7. Prikaz Mintruda Rossii ot 23.12.2014g. №1100n «Ob utverzhdenii Pravil po ohrane truda v podrazdeleniyah federal'noj protivopozharnoj sluzhby Gosudarstvennoj protivopozharnoj sluzhby».

8. Terebnyov V.V., Podgrushnyj A.V. Pozharnaya taktika. – Ekaterinburg: Izd. «Dom Kalan» 2007. – 538s.

9. Terebnev V.V., Terebnev A.V. Upravlenie silami i sredstvami na požare. – М.: Akademiya GPS MCHS Rossii, 2003. – 260 s.

10. V.V. Terebnev Spravochnik rukovoditelya tusheniya požara. Takticheskie vozmozhnosti požarnyh podrazdelenij – М.: Izd. «Pozh. Kniga», 2004. – 248 s.

EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF FIRE FIGHTING IN TANK FARMS USING STATIONARY ROBOTIC SYSTEMS

The article deals with the improvement of the fire extinguishing system in the storage tanks of petroleum products with the help of robotic systems. Produced by quantitative analysis of extinguishing fires using existing methods of fire extinguishing and complex use of stationary robotic fire monitors and fire detection means for cooling, burning and neighboring tanks offline, on the basis of this analysis revealed that the use of robotic tools will not only reduce the time fire suppression, but also reduce the number of personnel operating units attracted to the event by cooling tanks.

Keywords: Firefighting, emergency rescue, petroleum tank farms, fire-technical equipment.

Керимов Умар Абакарович,

магистр,

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Россия, Иваново,

e-mail: www.dag-92@mail.ru,

Kerimov U.A.,

magister,

Academy of the State Fire Service of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»

Russia, Ivanovo,

e-mail: www.dag-92@mail.ru

Смирнов Владимир Александрович,

заместитель начальника кафедры,

к.п.н.,

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Россия, Иваново,

e-mail: smirnov210470@mail.ru

Smirnov V.A.,

Deputy head of the Department,

Candidate of Pedagogic Sciences

Federal State Educational Institution of Higher Education «Ivanovo Fire and Rescue

Academy of the State Fire Service of the Ministry of the Russian Federation for Civil

Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»

Russia, Ivanovo,

e-mail: smirnov210470@mail.ru

Захаров Дмитрий Юрьевич,

Преподаватель кафедры,

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Россия, Иваново,

e-mail: Mr.dmitriyzakharov@mail.ru

Zakharov D.Y.,

Lecturer,

Ivanovo Fire And Rescue Academy of The State Fire Service of EMERCOM of Russia,

Russia, Ivanovo.

Волков Олег Геннадьевич,

преподаватель кафедры,

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Россия, г. Иваново,

e-mail: Oleg_volkov-90@bk.ru

Volkov O.G.,

lecturer,

Ivanovo Fire And Rescue Academy of The State Fire Service of EMERCOM of Russia,

Russia, Ivanovo.

Бочкарев Артем Николаевич,

преподаватель кафедры,

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Россия, Иваново,

e-mail: artem_bochkarev_82@bk.ru

Bochkarev A. N.,

lecturer,

Ivanovo Fire And Rescue Academy of The State Fire Service of EMERCOM of Russia,

Russia, Ivanovo.

РИСК-ОРИЕНТИРОВАННЫЙ ПОДХОД К ОБЕСПЕЧЕНИЮ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ГАЗОЗАПРАВОЧНЫХ СТАНЦИЙ

С.А. Шевцов, А.А. Макрушин

В статье описаны особенности сжиженного углеводородного газа в качестве моторного топлива. Проанализирована возможность обеспечения пожарной безопасности АГЗС. Для определения перечня возможных сценариев возникновения и развития пожароопасных ситуаций использован метод логических деревьев событий.

Ключевые слова: *риск-ориентированный подход, пожарная безопасность, автомобильные газозаправочные станции, опасные факторы пожара, сжиженный углеводородный газ, индивидуальный пожарный риск.*

Автомобилизация в мире сегодня идет высочайшими темпами. Среди проблем, сопровождающих расширение использования автомобильного транспорта, ключевой можно считать топливную. Истощение нефтяных месторождений, ежегодное увеличение потребления моторного топлива, экономические и политические проблемы в мире приводят к дефициту и, как следствие, повышению стоимости бензина и дизельного топлива.

С другой стороны, автомобильный транспорт является одним из крупнейших загрязнителей окружающей среды во всем мире. Естественно, что ограниченная доступность традиционного топлива, особенно в перспективе, и экологические проблемы заставляют искать альтернативные источники топлива для автотранспорта. Сжиженный углеводородный газ (СУГ), который уже занимает определенное место среди активно используемых топлив, имеет все шансы занять лидирующие позиции в России.

Очевидные преимущества СУГ не остались незамеченными в высших органах государственной власти. Государственная программа по внедрению газомоторной техники, разработанная Правительством Российской Федерации в 2013 году, в соответствии с поручениями Президента Российской Федерации, предусматривает реализацию мер, которые позволят расширить использование сжиженного углеводородного газа в качестве моторного топлива и расширение сети автомобильных газозаправочных станций (АГЗС).

По мере распространения и востребованности АГЗС строгое соблюдение норм

пожарной безопасности подобных объектов выходит на новый профессиональный уровень. Обеспечить пожарную безопасность АГЗС можно только при решении комплекса задач по оценке пожарной опасности объекта защиты и способов ее снижения с учетом всех связанных с пожаром основных процессов, начиная со стадии нормальной эксплуатации до конечных результатов развивающегося или подавляемого пожара.

Риск-ориентированный подход позволит провести всеобъемлющий анализ пожарной опасности АГЗС и исключить те требования пожарной безопасности, которые являются избыточными, т.е. требующими излишних материальных затрат и сделать акцент на требования пожарной безопасности, недооценка которых грозит реальной опасностью.

Проанализировав генеральные планы функционирующих АГЗС, в соответствии с методикой [1] проведен расчет величины индивидуального пожарного риска для посетителей АГЗС, на территории которой находится наземный одностенный резервуар для хранения СУГ объемом 20 м³, работающий под избыточным давлением 1,6 МПа, из которого происходит выдача топлива потребителю через топливораздаточную колонку.

Для определения перечня возможных сценариев возникновения и развития пожароопасных ситуаций использован метод логических деревьев событий [2, 3]. Логические деревья событий с указанием номеров сценариев возникновения и развития пожароопасных ситуаций представлены на рис.

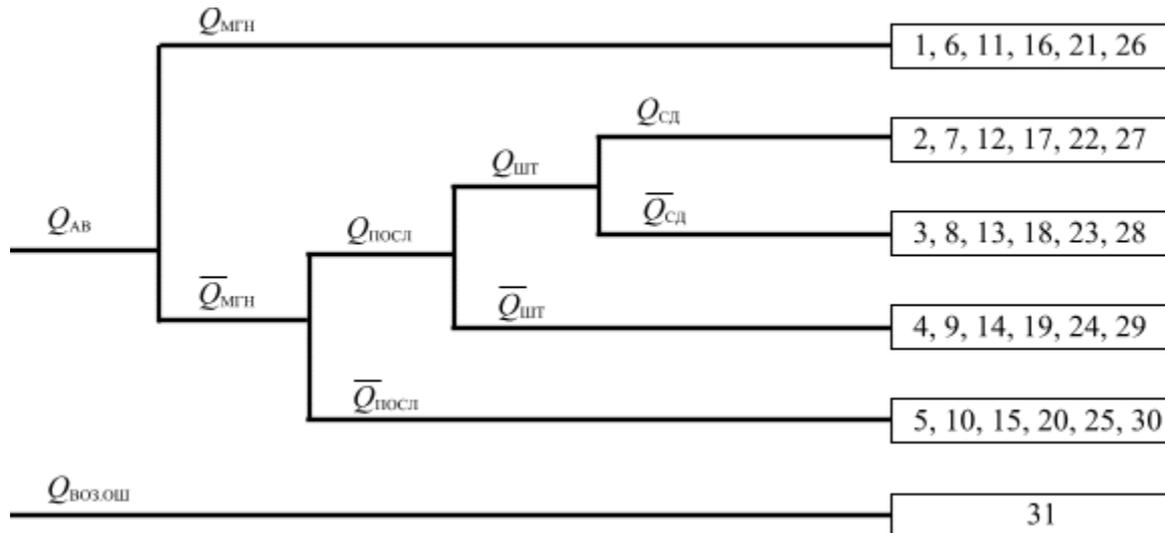


Рис. Логические деревья событий с указанием номеров сценариев возникновения и развития пожароопасных ситуаций, связанных с разгерметизацией резервуара СУГ: Q_{AB} - частота разгерметизации резервуара с последующим проливом СУГ; $Q_{MГH}$ - условная вероятность мгновенного воспламенения СУГ; $Q_{ПОСЛ}$ - условная вероятность последующего воспламенения СУГ при отсутствии мгновенного воспламенения; $Q_{ШТ}$ - максимальная повторяемость штиля на территории расположения объекта; $Q_{СД}$ - условная вероятность сгорания облака с образованием избыточного давления при образовании взрывоопасной зоны и ее последующего воспламенения; $Q_{ВОЗ.ОШ}$ - частота внешнего воздействия опасных факторов пожара, приводящего к реализации огненного шара; \bar{Q} – условная вероятность обратного события

Сценарии 1, 6, 11, 16, 21, 26 – локальная (полная) разгерметизация резервуара; мгновенное воспламенение СУГ, выходящего из образовавшегося отверстия; факельное горение или огненный шар при полном разрушении.

Сценарии 2, 7, 12, 17, 22, 27 – локальная (полная) разгерметизация резервуара; мгновенное воспламенение СУГ, выходящего из образовавшегося отверстия, не произошло; пролив СУГ; образование взрывоопасной зоны и ее сгорание с образованием волны избыточного давления.

Сценарии 3, 8, 13, 18, 23, 28 – локальная (полная) разгерметизация резервуара; мгновенное воспламенение СУГ, выходящего из образовавшегося отверстия, не произошло; пролив СУГ; образование взрывоопасной зоны и ее сгорание с образованием пожара-вспышки.

Сценарии 4, 9, 14, 19, 24, 29 – локальная (полная) разгерметизация резервуара; мгновенное воспламенение СУГ, выходящего из образовавшегося отверстия, не произошло; пролив СУГ; образования взрывоопасной зоны не произошло; пожар пролива.

Сценарии 5, 10, 15, 20, 25, 30 – локальная (полная) разгерметизация резервуара; мгновенное воспламенение СУГ, выходящего из образовавшегося отверстия, не произошло; пролив СУГ; последующего воспламенения СУГ не произошло; без последствий.

Сценарий 31 – воздействие внешних ОФП; образование огненного шара.

Значение частоты реализации каждого сценария определяем как произведение частоты

инициирующего аварии события и условных вероятностей развития аварийной ситуации по конкретному сценарию [2, 3].

Условная вероятность поражения человека, находящегося на территории АГЗС, от воздействия опасных факторов пожара по одному из сценариев развития аварии, использовались детерминированные и вероятностные критерии оценки поражающего действия волны давления и теплового излучения.

Полученные расчетные данные использовались для нахождения величин индивидуального пожарного риск для людей, находящихся на территории АГЗС, которые составили: в здании $R_{m\text{зд}} = 26,46 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}$ и на открытой площадке $R_{m\text{он}} = 26,28 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}$, что в обоих случаях превышает нормативное значение [4]. Следовательно, должны быть предусмотрены инженерно-технические решения, позволяющие хранить СУГ в более пожаробезопасных условиях.

Анализируя расчет индивидуального пожарного риска АГЗС, можно сделать вывод, что уменьшение частоты реализации инициирующих пожароопасную ситуацию событий позволит снизить значение индивидуального пожарного риска до значения менее чем одна миллионная в год.

Для решения данной задачи предлагается использовать двустенные наземные резервуары для хранения СУГ на территории АГЗС, что и прописано в требованиях пожарной безопасности, предъявляемых к АГЗС.

Тогда индивидуальный пожарный риск для людей, находящихся на территории АГЗС, составит в здании $R_{m\text{зд}} = 2,65 \cdot 10^{-8}$ и на открытой площадке

$R_{m\text{ on}} = 2,62 \cdot 10^{-8}$, что в соответствии со ст. 93 п. 4¹ [4] позволяет говорить о соответствии расчетного значения нормативному значению

индивидуального пожарного риска, а значит о соответствии АГЗС требованиям пожарной безопасности.

Библиографический список

1. Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах [Электронный ресурс]: утв. Приказом МЧС России от 10 июля 2009 № 404: зарегистрировано в Минюсте России 17 авг. 2009 г. № 14541 (в ред. приказа МЧС России от 14.12.2010 N 649). Доступ из справ.-правовой системы «Консультант Плюс».
2. Шевцов С.А., Каргашилов Д.В., Хабیبов М.У. Особенности проектирования резервуарных установок сжиженных углеводородных газов в системах автономного газоснабжения с учетом оценки пожарного риска // Пожарная безопасность. – 2016. – № 3. – С. 150-155.
3. Шевцов С.А., Каргашилов Д.В., Быков И.А. Анализ пожарной опасности автономной системы газоснабжения по расчетной величине индивидуального пожарного риска [Текст] // Сборник по материалам VII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Пожарная безопасность: проблемы и перспективы». – 2016. – Воронеж. – С. 219-221.
4. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности [Электронный ресурс]: Федер. закон Рос. Федерации от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ: принят Гос. Думой Федер. Собр. Рос. Федерации 4 июля 2008 г.: одобр. Советом Федерации Собр. Рос. Федерации 11 июля 2008 г. (в ред. Федер. законов от 10.07.2012 N 117-ФЗ, от 02.07.2013 N 185-ФЗ, от 23.06.2014 N 160-ФЗ, от 13.07.2015 N 234-ФЗ. Доступ из справ.-правовой системы «Консультант Плюс».

References

1. Metodika opredeleniya raschetnyh velichin pozharnogo riska na proizvodstvennyh ob"ektah [Elektronnyj resurs]: utv. Prikazom MCHS Rossii ot 10 iyulya 2009 № 404: zaregistrirvano v Minyuste Rossii ot 17 avg. 2009 g. № 14541 (v red. prikaza MCHS Rossii ot 14.12.2010 N 649). Dostup iz sprav.-pravovoj sistemy «Konsul'tant Plyus».
2. Shevcov S.A., Kargashilov D.V., Habibov M.U. Osobennosti proektirovaniya rezervuarnyh ustanovok szhizhennyh uglevodorodnyh gazov v sistemah avtonomnogo gazoehnergosnabzheniya s uchedom oenki pozharnogo riska [Tekst] // Pozharnaya bezopasnost'. – 2016. № 3 – S. 150-155.
3. Shevcov S.A., Kargashilov D.V., Bykov I.A. Analiz pozharnoj opasnosti avtonomnoj sistemy gazoehnergosnabzheniya po raschetnoj velichine individual'nogo pozharnogo riska [Tekst] // Sbornik po materialam VII Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem «Pozharnaya bezopasnost': problemy i perspektivy». 2016 g. - Voronezh. Voronezhskij institut GPS MCHS Rossii S. 219-221.
4. Tekhnicheskij reglament o trebovaniyah pozharnoj bezopasnosti [Elektronnyj resurs]: Feder. zakon Ros. Federacii ot 22 iyulya 2008 g. № 123-FZ: prinyat Gos. Dumoj Feder. Sobr. Ros. Federacii 4 iyulya 2008 g.: odobr. Sovetom Federacii Sobr. Ros. Federacii 11 iyulya 2008 g. (v red. Feder. zakonov ot 10.07.2012 N 117-FZ, ot 02.07.2013 N 185-FZ, ot 23.06.2014 N 160-FZ, ot 13.07.2015 N 234-FZ. Dostup iz sprav.-pravovoj sistemy «Konsul'tant Plyus».

RISK-ORIENTED APPROACH TO SECURITY FIRE SAFETY AUTOMOBILE GAS FILLING STATIONS

The article describes the features of liquefied hydrocarbon gas as a motor fuel. The possibility of ensuring the fire safety of the gas filling station is analyzed. To determine the list of possible scenarios for the emergence and development of fire-dangerous situations, the method of logical event trees

Keywords: risk-oriented approach, fire safety, automobile gas stations, dangerous fire factors, liquefied hydrocarbon gas, individual fire risk

Шевцов Сергей Александрович,

профессор факультета природообустройства и систем управления техносферной безопасностью,

д.т.н.,

Воронежский институт ГПС МЧС России,

Россия, Воронеж,

e-mail: shevtsov_sa@vigps.ru

Shevcov S.A.,

professor of Faculty of Environmental Engineering and Technosphere Safety Management Systems,

doc.of Tech. Sci.,

Voronezh Institute of State Firefighting Service of EMERCOM of Russia,

Russia, Voronezh.

Макрушин Алексей Анатольевич,

курсант 5 курса,

Воронежский институт ГПС МЧС России,

Россия, Воронеж,

e-mail: pbip.mchs@yandex.ru

Makrushin A.A.,

Cadet 5 course,

Voronezh Institute of State Firefighting Service of EMERCOM of Russia,

Russia, Voronezh.

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ КАК ЭТАП РИСК-ОРИЕНТИРОВАННОГО ПОДХОДА ПРИ ОБЕСПЕЧЕНИИ ТЕХНОГЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Н.Д. Разиньков

Методология анализа риска перешла из области отдельных научных исследований в нормативные документы и нормативные правовые акты по обеспечению и повышению защищённости человека, общества, государства, окружающей среды от негативных процессов и явлений.

Ключевые слова: потенциально опасный объект, риск-ориентированный подход, техногенная безопасность, техногенный риск.

С выходом в свет в 2003 г. Требований по предупреждению чрезвычайных ситуаций на потенциально опасных объектах [2] в Воронежской области была впервые проведена работа по идентификации потенциально опасных объектов (далее – ПОО). В самих Требованиях дефиниции ПОО не было представлено. Комиссией, созданной Указом губернатора Воронежской области в соответствии с Требованиями [3], была проведена довольно серьёзная кропотливая работа по идентификации ПОО.

Силами Центра мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций были изучены все имеющиеся на то время декларации безопасности, имеющиеся в Главном управлении иные документы, содержащие характеристики опасных объектов и оценки потенциальных техногенных чрезвычайных ситуаций (далее – ЧС). При отсутствии либо противоречивости сведений и оценок проводилось знакомство с предприятием, его технологическим процессом, размещением персонала, режимом работы и др. Большая часть предприятий, предварительно идентифицированных как потенциально опасные, подверглась дополнительному обследованию.

Большинство руководителей положительно откликнулось на соответствующие предложения со стороны Главного управления МЧС России по Воронежской области, хотя ряд предприятий старалось максимально «закрыться» от такого обследования. Тем не менее, перечень ПОО был составлен и впервые утверждён 14.02.2007 (Протокол №1); в перечне содержалось 169 ПОО и 65 гидротехнических сооружений (далее – ГТС). В настоящее время действует перечень ПОО от 11.05.2016, в который включено 108 (в том числе Воронежский гидроузел, дамба пруда-охладителя НВАЭС) ПОО и 37 ГТС (в перечне объектов жилищно-коммунального хозяйства).

Секретариат комиссии впервые поднял вопрос об изменении концептуального подхода в формировании перечня ПОО с выходом в свет новой дефиниции потенциально опасного объекта в

очередной редакции (ред. от 08.03.2015) Федерального закона «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера» [4].

Ранее идентификация ПОО производилась согласно ГОСТ Р 22.0.02-94. «БЧС. Термины и определения основных понятий»:

Потенциально опасный объект – объект, на котором используют, производят, перерабатывают, хранят или транспортируют радиоактивные, пожаровзрывоопасные, опасные химические и биологические вещества, создающие реальную угрозу возникновения источника чрезвычайной ситуации.

Федеральный закон «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера» дефиницию ПОО:

Потенциально опасный объект – это объект, на котором расположены здания и сооружения повышенного уровня ответственности, либо объект, на котором возможно одновременное пребывание более пяти тысяч человек.

Это же понятие далее транслировано в ГОСТ Р 22.0.02-2016. «БЧС. Термины и определения», вышедшего взамен ГОСТ Р 22.0.02-94. Таким образом юридическая сторона вопроса чётко оказалась выстроеной. В настоящее время секретариат инициировал первое совещание участников Межведомственной комиссии при губернаторе области по классификации потенциально опасных объектов и объектов жизнеобеспечения, расположенных на территории Воронежской области и заинтересованных организаций для обсуждения и решения этой, прямо сказать, ответственной задачи.

Ответственность задачи вытекает из самого института ПОО:

- ПОО подвергаются надзору по вопросам предупреждения чрезвычайных ситуаций;
- ПОО выстраивают локальную сеть оповещения (химически опасные);
- ПОО должны выстраивать структурированную систему мониторинга, стыкуя

её с единой дежурно-диспетчерской службой;
 – разрабатывают паспорта безопасности, потенциальные риски которых заносятся в паспорта безопасности территорий Воронежской области и муниципальных образований;

– по перечню ПОО организуется антитеррористическая работа и др.

Далее вернёмся к дефиниции «потенциально опасный объект». Имеется разработка ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ) [5], которая является достаточно обоснованной для решения задачи идентификации ПОО.

В соответствии с п. 8 ст. 4 Федерального закона от 30.12.2009 № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» к зданиям и сооружениям повышенного уровня ответственности относятся здания и сооружения, отнесенные в соответствии со ст. 48.1

Градостроительного кодекса Российской Федерации от 29.12.2004 № 190-ФЗ к особо опасным, технически сложным или уникальным объектам.

Исходя из этого и следуя нормативно-правовым актам, ВНИИ ГОЧС разбивает все объекты на три группы:

– объекты группы «А» – особо опасные и технически сложные объекты;

– объекты группы «Б» – уникальные объекты – объекты капитального строительства;

– объекты группы «В» – объекты, на которых возможно одновременное пребывание более 5 тыс. человек, за исключением многоквартирных жилых зданий, зданий гостиниц.

Внутри групп также производится разбиение на подгруппы (табл. 1).

Таблица

Группировки потенциально опасных объектов

Подгруппа ПОО	Наименование подгруппы
<i>Объекты группы «А» – особо опасные и технически сложные</i>	
A.1	Объекты использования атомной энергии
A.2	Гидротехнические сооружения I и II класса
A.3	Сооружения связи, являющиеся особо опасными, технически сложными
A.4	ЛЭП и объекты электросети напряжением 330 кВ и более
A.5	Объекты космической инфраструктуры
A.6	Объекты авиационной инфраструктуры
A.7	Объекты инфраструктуры железнодорожного транспорта общего пользования
A.8	Метрополитены
A.9	Морские порты
A.10	Тепловые электростанции мощностью 150 МВт и выше
A.11	A.11.1 – Опасные производственные объекты I и II класса опасности
	A.11.2 – Опасные производственные объекты, где обращаются расплавы металлов 500 кг и более
	A.11.3 – Опасные производственные объекты, на которых ведутся горные работы, работы по обогащению полезных ископаемых
<i>Объекты группы «Б» – уникальные объекты</i>	
B.1	Высота более 100 м
B.2	Пролёты более 100 м
B.3	Наличие консоли более чем 20 м
B.4	Заглубление подземной части (полностью или частично) ниже планировочной отметки земли более чем на 15 м
<i>Объекты группы «В»</i>	

Идентификация объектов внутри подгрупп должна производиться согласно соответствующим статусным законам, определяющим признаки особо опасных, технически сложных или уникальных объектов. Приведём их:

• для подгруппы A.1 – Федеральный закон от 21.11.1995 №170-ФЗ «Об использовании атомной энергии»;

• для подгруппы A.2 – Федеральный закон от 21.07.1997 №117-ФЗ «О безопасности гидротехнических сооружений» и постановление Правительства РФ от 02.11.2013 №986 «О

классификации гидротехнических сооружений»;

• для подгруппы A.3 – Федеральный закон от 07.07.2003 №126-ФЗ «О связи»;

• для подгруппы A.4 – Федеральный закон от 26.03.2003 №35-ФЗ «Об электроэнергетике»;

• для подгруппы A.5 – Закон РФ от 20.08.1993 №5663-1 «О космической деятельности»;

• для подгруппы A.6 – Федеральный закон от 08.01.1998 №10-ФЗ «О государственном регулировании развития авиации»;

• для подгруппы A.7 – Федеральный закон

от 10.01.2003 №17-ФЗ «О железнодорожном транспорте в Российской Федерации» и Технический регламент Таможенного союза (ТР ТС 003/2011) «О безопасности инфраструктуры железнодорожного транспорта»;

- для подгруппы А.8 – по факту наличия метрополитена;

- для подгруппы А.9 – Федеральный закон от 08.11.2007 №261-ФЗ «О морских портах в Российской Федерации и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации», Кодекс торгового мореплавания РФ от 30.04.1999 №81-ФЗ и Приказ Минтранса России от 01.04.2009 №51 «Об утверждении Порядка ведения реестра морских портов Российской Федерации»;

- для подгрупп Б – по факту наличия в регионе уникальных объектов с установленными размерами;

- для подгруппы В – по факту наличия объектов с возможным пребыванием одновременно 5 тыс. человек; устанавливается на основе проектной документации, сведений, полученных от соответствующих надзорных органов.

Так как данная работа (идентификация ПОО) ведётся в целях предупреждения чрезвычайных ситуаций, то предварительно

идентифицированные объекты согласно приведённым группам (подгруппам) идентификации (табл. 1) должны подходить ещё под одно условие: быть источником техногенной чрезвычайной ситуации, например, сход подвижного состава на железной дороге, перевозящего опасный груз, по причине отказа путевого хозяйства.

Критерии чрезвычайных ситуаций установлены постановлением Правительства РФ от 21.05.2007 №304 «О классификации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера».

Таким образом, должно совпасть два условия: подходить под одну из групп согласно ГОСТ Р 22.0.02-2016 и быть потенциальным источником ЧС. Условно это можно отобразить в виде логической формулы:

$$\text{ПОО} = \text{А (либо Б либо В)} \& \text{ЧС.}$$

В настоящее время концептуально принято правительством РФ о внедрении риск-ориентированных технологий в управлении, в том числе техногенным риском. Идентификация потенциально опасных объектов является отправной точкой данного подхода при управлении (менеджменте) риском.

Библиографический список

1. Управление рисками техногенных катастроф и стихийных бедствий (пособие для руководителей организаций): Монография / под общей редакцией Фалеева М.И. – РНОАР. М.: ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2016. – 270 с.
2. Приказ МЧС России от 28.02.2003 №105 «Об утверждении требований по предупреждению чрезвычайных ситуаций на потенциально опасных объектах и объектах жизнеобеспечения» (зарег. в Минюсте РФ 20.03.2003 №4291).
3. Указ губернатора Воронежской области от 02.08.2006 №4 (полн. ред. от 27.12.2016 №495-у) «О межведомственной комиссии при губернаторе области по классификации потенциально опасных объектов и объектов жизнеобеспечения».
4. Федеральный закон от 21.12.1994 №68-ФЗ (ред. от 08.03.2015) «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера».
5. Проект Методических рекомендаций по идентификации и формированию перечней потенциально опасных объектов. – М.: ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2016. – 44 с.

References

1. Upravlenie riskami tekhnogennykh katastrof i stihijnykh bedstvij (posobie dlya rukovoditelej organizacij). Monografiya. Pod obshchej redakciej Faleeva M.I./ RNOAR. M.: FGBU VNII GOCHS (FC), 2016. – 270 s.
2. Prikaz MCHS Rossii ot 28.02.2003 №105 «Ob utverzhdenii trebovanij po preduprezhdeniyu chrezvychajnykh situacij na potencial'no opasnykh ob"ektah i ob"ektah zhizneobespecheniya» (zareg. v Minyuste RF 20.03.2003 №4291).
3. Ukaz gubernatora Voronezhskoj oblasti ot 02.08.2006 №4 (posl. red. ot 27.12.2016 №495-u) «O mezovedomstvennoj komissii pri gubernatore oblasti po klassifikacii potencial'no opasnykh ob"ektov i ob"ektov zhizneobespecheniya».
4. Federal'nyj zakon ot 21.12.1994 №68-FZ (red. ot 08.03.2015) «O zashchite naseleniya i territorij ot chrezvychajnykh situacij prirodnogo i tekhnogennogo haraktera».
5. Proekt Metodicheskikh rekomendacij po identifikacii i formirovaniyu perechnoj potencial'no opasnykh ob"ektov. – M.: FGBU VNII GOCHS (FC), 2016. – 44 s.

**IDENTIFICATION OF POTENTIALLY HAZARDOUS OBJECTS
HOW THE STAGE OF A RISK-ORIENTED APPROACH IN
PROVIDING AN ENVIRONMENTAL SAFETY**

The methodology of risk analysis has moved from the field of individual scientific research into normative documents and normative legal acts to ensure and improve the security of a person, society, state, environment from negative processes and phenomena.

Keywords: *potentially dangerous object, risk-oriented approach, technogenic safety, technogenic risk.*

Разиньков Николай Дмитриевич,

к.г.н.,

*КУ ВО «Гражданская оборона, защита населения и пожарная безопасность
Воронежской области»,*

Россия, г. Воронеж,

e-mail: vrn_mchs@mail.ru

Razinkov N.D.,

Ph.D.,

*KU VO «Civil Defense, Population Protection and Fire Safety of the Voronezh Region»,
Russia, Voronezh.*

ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОЖАРНО-ТЕХНИЧЕСКИМИ СПЕЦИАЛИСТАМИ СОВРЕМЕННЫХ СПОСОБОВ ОБНАРУЖЕНИЯ И ИССЛЕДОВАНИЯ СРЕДСТВ ДЛЯ ПОДЖОГА

А.А. Воронцова, Д.В. Калашиников, А.А. Липский, О.А. Эсатов

Ввиду неукоснительного роста количества произведенных пожарно-технических экспертиз по поджогам, совершенных с помощью специальных средств, обнаружение и исследование остатков инициаторов горения (средств поджога) на объектах-носителях, изъятых с места пожара, по настоящее время остается весьма актуальной задачей.

Ключевые слова: *средства для поджога, легковоспламеняющиеся жидкости, горючие жидкости, испытательная пожарная лаборатория.*

Первоначально следует пояснить, что относят к средствам поджога. В общем случае средством поджога может быть любой источник тепла, способный инициировать горение тех или иных веществ и материалов. Условно эти средства разделяются на три основные группы:

- легковоспламеняющиеся и горючие жидкости (так называемые «традиционные интенсификаторы горения»);
- нетрадиционные инициаторы горения, называемые зажигательными составами или спецсоставами;
- специальные технические средства поджога.

Какие легковоспламеняющиеся и горючие жидкости чаще всего применяются для совершения поджогов? Специалисты в данной области считают, что главным фактором, который определяет частоту применения тех или иных легковоспламеняющихся и горючих жидкостей (ЛВЖ и ГЖ) в качестве инициаторов горения, является их распространенность и доступность для поджигателей, основная масса которых берет первое, что попадает под руку. Именно поэтому чаще всего применяются так называемые светлые нефтепродукты – бензины, керосин, дизельные топлива. Действительно, если обратиться к статистике ФГБУ СЭУ ФПС ИПЛ по Ивановской области, то оказывается, что за последние три-четыре года поджигатели используют для совершения преступления дизельные топлива, автомобильные бензины, но наиболее часто применяют смеси ЛВЖ и ГЖ (смесь автомобильного бензина с дизельным топливом, моторным маслом; смесь моторного масла с дизельным топливом и смесевым растворителем). Из наиболее экзотических средств поджога можно назвать, например, скипидар.

Поджигателями также могут быть использованы в качестве средств поджога клеи, различные мастики и их растворители, шампуни, жидкие полиэфирные смолы, краски, жидкости для очистки кистей и т.д. Лаки и краски, клеи, мастики,

косметические средства, изготовленные на органических растворителях, прекрасно горят и могут использоваться поджигателями для дополнительной интенсификации процесса горения. ЛВЖ и ГЖ могут применяться не только сами по себе, но и в качестве горючего в специальных устройствах, технических средствах, а также в зажигательных составах (спецсоставах).

Итак, работа эксперта по обнаружению следов любых инициаторов горения, в частности и ЛВЖ, ГЖ, начинается на месте пожара, и она должна быть выполнена эффективно, в соответствии со специальной методологией.

Остатки ЛВЖ и ГЖ на пожаре следует искать, по крайней мере, в двух местах:

- в зоне характерных подпалин, трейлеров и других визуальных признаков горения горючей жидкости;
- там, куда жидкость могла затечь при поджоге и сохраниться в ходе пожара.

Пожарно-технические специалисты выделяют следующие наиболее подходящие места отбора проб: наиболее низкие и изолированные от прямого теплового воздействия места; объекты-носители из натуральных и искусственных волокон, ткани, бумага, картона, находящиеся в прямом контакте с акселерантом; внутренние швы, разрывы, трещины в конструкциях и предметах; края обгоревших предметов; вентиляционные отверстия в полу, места вокруг основания несущих колонн или стен.

Для обнаружения остатков ЛВЖ и ГЖ используются следующие методы:

- биологические методы (органолептические методы): использование собственного обоняния: использование собак (за рубежом, США, Германия);
- химические детекторы (газоанализаторы с индикаторными трубками) и электронные детекторы (электронные газоанализаторы фотоионизационного типа, АНТ-3, Колион и др.);
- поиски тары из-под горючей жидкости.

В ходе обнаружения остатков ЛВЖ, ГЖ непосредственно на месте пожара применяются так называемые полевые методы, которые позволяют обнаружить места наибольших концентраций в воздухе паров ЛВЖ и ГЖ, выявить зоны, где целесообразен отбор газообразных или твердых проб для лабораторных исследований.

К полевым приборам и методам относят:

- газоанализаторы с электронными детекторами. Из отечественных приборов с газовыми фотоионизационными детекторами наиболее известны и апробированы в работе на местах пожаров два прибора: «Колион» и «Анализатор-течейскагель АНТ» (АНТ-2, АНТ-3). Газоанализатор с ФИД позволяет обнаружить в воздухе на месте пожара наличие паров органических веществ (ЛВЖ и ГЖ). Используется для выявления зон, где целесообразен отбор газообразных или твердых проб для лабораторных исследований.

- газоанализатор с индикаторными трубками. Санкт-Петербургским ЗАО НПФ «Сервэк» совместно со специалистами Исследовательского центра экспертизы пожаров был разработан специальный многоканальный газоанализатор ГХМ-ЭП. В настоящее время он входит в состав оборудования, которым комплектуются автомобили-лаборатории, находящиеся в эксплуатации в СЭУ ФПС. Газоанализатор позволяет уже на месте пожара предварительно классифицировать пары неизвестной жидкости. Многоканальный газоанализатор состоит из насоса сильфонного типа и многоканальной насадки, позволяющей устанавливать и прокачивать одновременно 6 трубок. В комплект входят 4 специально подобранные индикаторные трубки для определения алифатических углеводородов, ароматических углеводородов, кетонов и спиртов, а также 2 трубки с сорбентом. Принцип действия многоканального газоанализатора основан на том, что различные по природе и компонентному составу горючие жидкости дают различное сочетание окрасок индикаторных трубок.

- портативные флуориметры. В 2011 году в Исследовательском центре экспертизы пожаров И.В. Клаптюк с соавторами разработана методика обнаружения на месте пожара остатков нефтепродуктов и прочих ЛВЖ (ГЖ), содержащих ароматические углеводороды и другие люминесцирующие компоненты. Методика заключается в твердофазной экстракции остатков интенсификаторов горения специальным сорбентом и последующем измерении интенсивности люминесценции с поверхности данного сорбента.

В качестве сорбента используются пластины специально подобранного полимерного материала. Для того чтобы обеспечить возможность измерения интенсивности люминесценции непосредственно на месте пожара,

белорусской фирмой ЗАО «СОЛАР» по заданию ИЦЭП разработан портативный флуориметр (флуориметрический индикатор нефтепродуктов ИНПФ-01 ЭП). Это единственный прибор такого типа, он достаточно компактный (размером 105x180x60 мм, массой 0.5 кг), работает от встроенных аккумуляторов. Методика особо эффективна в случае необходимости обнаружения остатков интенсификаторов горения на влажных после тушения поверхностях конструкций и предметов, в лужицах скопившейся после тушения воды, зимой после расчистки снежного покрова и в других подобных ситуациях. Использование твердофазных сорбентов и портативного флуориметра позволяет осуществлять скрининг места пожара, т.е. быстрое проведение исследований (измерений) во множестве точек с целью выявления места наибольшей концентрации остатков интенсификаторов горения, наиболее подходящего для отбора проб с целью более детальных лабораторных исследований.

Остатки ЛВЖ и ГЖ, примененных в качестве средства поджога, могут быть обнаружены в паровой фазе, в жидкой фазе и в сорбированном твердыми материалами виде. Если надо отобрать пробу паровой фазы для лабораторных исследований, то лучший способ – концентрирование на сорбенте. Воздух просасывается через трубку с сорбентом, после чего трубка герметически закрывается и отправляется в лабораторию. Это могут быть трубки с обычным силикагелем. Еще вариант – использование трубок с сорбентом «тенакс», которые выпускаются в качестве комплектующих к газовым хроматографам «Кристалл-5000». В лаборатории такая трубка вставляется непосредственно в термодесорбер хроматографа, и сорбированное вещество анализируется, минуя стадию экстракции жидким растворителем.

Жидкий инициатор горения может быть собран новым шприцем, пипеткой, сифонным устройством. Для поглощения жидкости могут быть использованы стерильные шарики ваты или слой марли, а также пористые бумажные материалы, в частности, бумажные салфетки, полотенца, туалетная бумага. Очень хорошим средством сбора жидких остатков инициаторов горения, в том числе с поверхности воды, влажных твердых объектов и др., могут быть пластины из специальных гидрофобных сорбентов.

С мест пожаров могут быть отобраны твердые пробы отдельных материалов: древесины, бумаги, картона, ткани и изделия из них, ковры, глазированная керамическая плитка, поверхности цементного камня; бетонные и железобетонные поверхности (наиболее экзотичен способ с помощью специальных твердофазных сорбентов в виде пластин из полимерных материалов); штукатурка, акустические плитки (гипрок); плиточное половое покрытие; листовое покрытие из линолеума; грунт, песчаные (земляные полы).

Далее отобранные пробы с места пожара либо объекты-носители исследуются лабораторными методами, проходя через стадию пробоподготовки. На данной стадии исследования применяются различные методы экстракции (периодическая, метод фронтального элюирования, твердофазная и ультразвуковая).

Подробнее остановимся на последней разработке ИЦЭП - специальной установке для экспертного анализа газовой фазы над «крупногабаритными» объектами-носителями остатков ЛВЖ, ГЖ. Основными элементами установки экспертного анализа газовой фазы над объектами-носителями остатков ЛВЖ и ГЖ в ходе проведенной работы являются: сушильный шкаф объемом 100 литров производства BINDER GmbH (Германия) во взрывобезопасном исполнении; система циркуляции газовой фазы, газовый пробоотборник, система пробоотбора и анализа газовой смеси, термохимический газоанализатор. Шкаф имеет блокировки при перегреве и сброс в системе воздухообмена. Габариты камеры позволяют исследовать объекты размерами до 600x435x435 мм. Газовый пробоотборник (аспиратор) предназначен для отбора проб воздуха и (или) газа с регулируемым расходом. Система пробоотбора газовой фазы над объектами-носителями остатков ЛВЖ и ГЖ состоит из трубок с сорбентом («тенакс», силикагель). Для химического анализа газовой смеси используются 4 индикаторные трубки для определения алифатических углеводородов, ароматических углеводородов, кетонов, спиртов.

Для исследования остатков ЛВЖ и ГЖ, использованных в качестве средств поджога, в лабораторных условиях применяют различные инструментальные методы: молекулярную спектроскопию в инфракрасной и ультрафиолетовой области спектра, хромато-масс-спектрометрию, жидкостную и тонкослойную хроматографию. Но основным, базовым методом исследования во всем мире является газожидкостная хроматография (ГЖХ). Для проведения газожидкостного анализа жидких и газообразных проб на базе СЭУ ФПС ИПЛ в настоящее время используются газовые хроматографы «Кристалл 5000».

В России, в качестве дополнительного метода активно применяют флуоресцентную спектроскопию (ФС). Газожидкостная хроматография позволяет определять компонентный состав неизвестного вещества, флуоресцентная спектроскопия – обнаруживать компоненты, содержащие моно- и полиароматические углеводороды. Последний метод обладает чрезвычайно высокой чувствительностью и позволяет обнаруживать следовые количества сильно выгоревших нефтепродуктов и всевозможных растворителей, содержащих ароматические углеводороды.

Флуоресцентная спектроскопия является одним из наиболее эффективных методов обнаружения и исследования после пожара выгоревших остатков легковоспламеняющихся и горючих жидкостей, содержащих ароматические углеводороды. Эти углеводороды присутствуют в нефтепродуктах и некоторых смесевых растворителях нефтяной природы и обладают способностью флуоресцировать под действием ультрафиолетовых лучей. Достоинствами метода ФС являются высокая чувствительность, позволяющая определять вещества с низкой концентрацией раствора; экспрессность (съемка спектров занимает не более 5 мин.); простота в использовании. Спектры флуоресценции снимают на приборах, называемых спектрофлуориметрами. В настоящее время во многие экспертные подразделения ФПС МЧС России поставлены современные спектрофлуориметры «Флюорат-02-Панорама», выпускаемые НПФ «ЛЮМЕКС». Прибор позволяет снимать спектры пропускания, спектры возбуждения флуоресценции, спектры флуоресценции, а также двумерные спектры возбуждения флуоресценции. Методика, применяемая в настоящее время в экспертной практике судебно-экспертных учреждений Федеральной противопожарной службы, разработана в ИЦЭП ФГУ ВНИИПО М.Ю. Принцевой.

Молекулярная спектроскопия в инфракрасной области спектра позволяет установить функциональный состав вещества, содержащегося в исследуемой пробе. Достоверность решения идентификационной задачи повышается, если совместно с ИК-спектроскопией используются другие инструментальные методы – ГЖХ, ВЭЖХ, ФС, термический анализ и др. При этом также может не проводиться расшифровка спектров и хроматограмм, а сравнение проводится «методом отпечатки пальцев». По чувствительности метод ИК-спектроскопии существенно уступает методам ГЖХ и ФС. Поэтому метод ИКС обычно используют, когда жидкость обнаружена, хотя бы в капельных количествах, например, в брошенных на месте пожара емкостях и может быть оттуда слита или хотя бы смыта со стенок небольшим количеством растворителя.

Далее кратко рассмотрим остальные две группы инициаторов горения и методы их обнаружения и исследования в лабораторных условиях.

Специальные составы для поджогов обычно состоят из компонентов, которые при смешении друг с другом или с водой, воздухом дают сильно экзотермичную реакцию, способную привести к возникновению горения. Для приготовления таких составов нужны определенные знания в области химии и пиротехники. Делается это обычно в случаях, когда поджигателю необходимо не мгновенное

загорание, а задержка по времени. К таким составам могут быть отнесены: составы на основе металлических калия, натрия, магния, белого фосфора; на основе солей - сильных окислителей; на основе пероксидов; на основе сильных минеральных кислот – окислителей. В качестве горючих веществ в состав зажигательных смесей (ЗС) могут входить органические углеродсодержащие материалы, такие как древесный уголь, сахар, глицерин, спирт, ацетон, уксусная кислота, скипидар и др. В роли горючего могут выступать также неорганические вещества, включающие такие неметаллические элементы, как сера, красный фосфор, углерод, а также химически активные металлы (алюминий, магний, титан и т.п.). Для исследования таких компонентов зажигательных составов используют рН-метры. Для целей пожарно-технической экспертизы, в частности, рекомендован к использованию портативный рН-метр HI 8314 фирмы «Hanna Instruments», преимущества которого заключаются в возможности проводить определение рН непосредственно на любых влажных поверхностях. Экспрессным методом обнаружения остатков зажигательных смесей на месте пожара является также использование реактивных индикаторных средств (РИС), и в частности, реактивных индикаторных бумаг (РИБ), селективных по отношению к определенным компонентам ЗС. Обнаружение остатков зажигательных средств при помощи РИБ основано на химическом взаимодействии индикатора с остатками зажигательного состава – как прореагировавшими, так и не прореагировавшими при поджоге. Содержание компонентов определяют по цвету или интенсивности окраски индикаторной бумаги, возникающей после контакта индикатора с исследуемым веществом или его раствором. Для установления наличия и природы остатков ЗС в объектах, привезенных с пожара, могут применяться современные физико-химические методы, такие как элементный анализ (в частности, рентгенофлуоресцентный), рентгенофазовый анализ, ИК-спектроскопия, УФ-спектроскопия, ионная хроматография. Ряд этих инструментальных методов исследования находится на вооружении СЭУ ФПС ИПЛ и экспертно-криминалистических лабораторий МВД России.

Специальные технические средства поджога изготавливаются, как и спецсоставы, в основном, тогда, когда поджигателю важно, чтобы зажигание произошло не сразу. Они могут быть самыми различными – от радиоуправляемых электронных устройств до простейших сооружений, включающих спички, свечи и др. Используются они довольно редко как в России, так и за рубежом. К компонентам специальных устройств для поджогов относят: остатки емкостей, содержащих ЛВЖ, ГЖ, огнепроводные шнуры (фитили), свечи, тлеющие табачные изделия,

проволочные нагревательные элементы, устройства, изготовленные из ламп накаливания и остатки радиоуправляемых и программируемых игрушек. Подход к таким техническим средствам поджога индивидуален [1-7].

При этом хотелось бы отметить, что в настоящее время внедрение новых методов в области исследования средств поджога замедлилось. Это связано с недостаточным финансированием для приобретения в СЭУ ФПС ИПЛ дополнительного оборудования для использования в экспертной практике. На данный момент на базе ИПЛ второго разряда отсутствуют, например, ионный хроматограф для исследования зажигательных составов, ультразвуковые установки, элементные анализаторы, портативные спектрофлуориметры.

В будущем хотелось бы, чтобы у СЭУ ФПС ИПЛ появилась возможность освоения новых методов исследования и, следовательно, возможность освоения новейшего оборудования. Так в настоящее время для химического и структурного анализа веществ и сложных органических смесей в криминалистике широко используется метод масс-спектрометрии, и исследования проводятся на базе комплекса, состоящего из газового хроматографа и масс-спектрометрического детектора. Использование данного метода позволило бы пожарно-техническим специалистам и экспертам, повысить экспертную значимость проводимых исследований.

В заключении можно отметить, что решение данных проблем поставит инструментальные специализации в области СПТЭ на один уровень с основной первой пожарно-технической специализацией. Ведь большой прогресс аналитического приборостроения и внедрение в эту область современных компьютерных технологий дают возможность решать задачи по установлению причин пожаров на качественно новом уровне.

Поэтому хотелось бы особенно заострить внимание на том моменте, что в 2016 году с целью повышения качества расследования дел по пожарам, связанным с поджогами, в практическую деятельность российских пожарно-технических экспертов была внедрена электронная база хроматографических и спектральных данных по средствам поджога. Электронная база сформирована на основе данных, собранных судебно-экспертными учреждениями Федеральной противопожарной службы МЧС России и головным экспертным подразделением в период 2010 – 2014 гг. В настоящее время база данных содержит около 250 хроматограмм горючих жидкостей, доступных потенциальному поджигателю, с разной степенью выгорания, из 19 регионов Российской Федерации [8]. Можно отметить ряд достоинств создания данной базы: простота в эксплуатации, удобный интерфейс, быстрая обработка спектров и хроматограмм, позволяющая пожарно-

техническому специалисту за короткий промежуток времени выполнить техническое заключение или судебную пожарно-техническую экспертизу.

Таким образом, на сегодняшний момент техническое обеспечение для целей расследования поджогов развивается достаточно интенсивно, ежегодно выпускается ряд методических пособий, разрабатываются новые методики и приборы, которые позволяют проводить сложные

инструментальные исследования. Также совершенствуется и программное обеспечение, помогающее пожарно-техническим экспертам более точно устанавливать тип легковоспламеняющейся и горючей жидкости. В настоящее время, например, на базе ФГБУ СЭУ ФПС ИПЛ по Ивановской области апробирована и внедрена электронная база хроматографических и спектральных данных по средствам поджога.

Библиографический список

1. Андреева Е. Д., Чешко И. Д. Применение ИК-спектроскопии при исследовании объектов, изъятых с мест пожаров. М. ВНИИПО, 2010 – 81 с.
2. Клаптюк И. В., Принцева М. Ю., Чешко И. Д. Применение твердофазной и ультразвуковой экстракции в экспертных исследованиях по делам о поджогах. Методическое пособие – М. ВНИИПО, 2013 г. – 50 с.
3. Обнаружение и исследование зажигательных составов, применяемых при поджогах. Методическое пособие / И.Д. Чешко, М.А. Охотников, М.Ю. Принцева, Е.Д. Андреева, А.Ю. Мокряк. – М.: ВНИИПО, 2012. – 90 с.
4. Принцева М.Ю., Клаптюк И.В., Чешко И.Д. Применение метода флуоресцентной спектроскопии для обнаружения и установления состава легковоспламеняющихся и горючих жидкостей, используемых при поджогах / М.Ю. Принцева, И.В. Клаптюк, И.Д. Чешко // Пожарная безопасность, №2, – 2010 – с. 94-99.
5. Принцева М.Ю., Чешко И.Д. Установка экспертного анализа газовой фазы над крупногабаритными объектами-носителями остатков ЛВЖ и ГЖ // «Расследование пожаров», Сб. ст. вып. 4. – СПб.: СПбУ ГПС, 2014. – 116 с.
6. Чешко И.Д., Принцева М.Ю., Яценко Л.А. Обнаружение и установление состава легковоспламеняющихся и горючих жидкостей при поджогах. Метод. пособие. – М.: ВНИИПО, 2010. – 115 с.
7. Воронцова А.А., Дворов С.И., Мочкаев С.И. Физико-химическое исследование и мониторинг средств поджога, анализ методов поджога в рамках судебной пожарно-технической экспертизы / А.А. Воронцова, С.И. Дворов, С.И. Мочкаев // Пожарная и аварийная безопасность: сб. материалов IX Международной научно-практической конференции, 20-21 ноября 2014 г. / Ивановский институт ГПС МЧС России. – Иваново, 2014. – 412 с. – С. 23-30.
8. Чешко И.Д., Принцева М.Ю., Яценко Л.А. Электронная база хроматографических и спектральных данных по горючим жидкостям (средствам поджога) / И.Д. Чешко, М.Ю. Принцева, Л.А. Яценко // Надзорная деятельность и судебная экспертиза в системе безопасности. – 2015. – № 2. – С. 12-19.

References

1. Andreeva E. D., Cheshko I. D. *Primenenie IK-spektroskopii pri issledovanii ob"ektov, iz"yatyh s mest pozharov*. M. VNIPO, 2010 – 81 s.
2. Klapyuk I. V., Princeva M. YU., Cheshko I. D. *Primenenie tverdogaznoj i ul'trazvukovoj ehkstrakcii v ehkspertnyh issledovaniyah po delam o podzhogah*. Metodicheskoe posobie – M. VNIPO, 2013 g. – 50 s.
3. *Obnaruzhenie i issledovanie zazhigatel'nyh sostavov, primenyaemyh pri podzhogah*. Metodicheskoe posobie / I.D. Cheshko, M.A. Ohotnikov, M.YU. Princeva, E.D. Andreeva, A.YU. Mokryak – M.: VNIPO, 2012. – 90 s.
4. Princeva M. YU., Klapyuk I.V., Cheshko I.D. *Primenenie metoda fluorescentnoj spektroskopii dlya obnaruzheniya i ustanovleniya sostava legkovosplamenyayushchihysya i goryuchih zhidkostej, ispol'zuemyh pri podzhogah* / M.YU. Princeva, I.V. Klapyuk, I.D. Cheshko // *Pozharnaya bezopasnost'*, №2, – 2010 – s. 94-99.
5. Princeva M.YU., Cheshko I.D. *Ustanovka ehkspertnogo analiza gazovoj fazy nad krupnogabaritnymi ob"ektami-nositelyami ostatkov LVZH i GZH* // «*Rassledovanie pozharov*», Sb. st. vyp. 4. – SPb.: SPbU GPS, 2014. – 116 s.
6. Cheshko I.D., Princeva M.YU., YAcenko L.A. *Obnaruzhenie i ustanovlenie sostava legkovosplamenyayushchihysya i goryuchih zhidkostej pri podzhogah*. Metod. posobie. – M.: VNIPO, 2010. – 115 s.
7. Voroncova A.A., Dvorov S.I., Mochkaev S.I. *Fiziko-himicheskoe issledovanie i monitoring sredstv podzhoga, analiz metodov podzhoga v ramkah sudebnoj pozharno-tehnicheskoy ehkspertizy* / A.A. Voroncova, S.I. Dvorov, S.I. Mochkaev // *Pozharnaya i avarijnaya bezopasnost'*: sb. materialov IX *Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, 20-21 noyabrya 2014 g.* / *Ivanovskij institut GPS MCHS Rossii.* – Ivanovo, 2014. – 412 s. – S. 23-30.
8. Cheshko I.D., Princeva M.YU., YAcenko L.A. *EHlektronnaya baza hromatograficheskikh i spektral'nyh dannyh po goryuchim zhidkostyam (sredstvam podzhoga)* / I.D. Cheshko, M.YU. Princeva, L.A. YAcenko // *Nadzornaya deyatel'nost' i sudebnaya ehkspertiza v sisteme bezopasnosti.* – 2015. – № 2. – S. 12-19.

PROBLEMS AND PROSPECTS FOR THE USE OF FIRE-TECHNICAL EXPERTS, MODERN METHODS OF DETECTION AND STUDY TOOLS FOR ARSON

Due to the rigorous growth of the amount of fire-technical expertise is arson committed with the help of special tools, the discovery and study of the residues of the initiators of combustion (money burning) on the object carrier, seized from the fire scene at the present time remains a very important task.

Key words: *the means of ignition, flammable liquids, combustible liquids, test fire laboratory*

Воронцова Анна Анатольевна,

*старший эксперт сектора судебных экспертиз,
СЭУ ФПС «Испытательная пожарная лаборатория» по Ивановской области,
Россия, г. Иваново,
e-mail: vorontsova_a_a@mail.ru,*

Vorontsova A.A.,

*Senior expert of the sector of judicial expertises,
Judicial-expert institution of The State Fire Service «Test Fire Laboratory of The Ivanovo Region»,
Russia, Ivanovo.*

Калашиников Дмитрий Владимирович,

*начальник сектора судебных экспертиз,
СЭУ ФПС «Испытательная пожарная лаборатория» по Ивановской области,
Россия, г. Иваново,
e-mail: ipl37@mail.ru.*

Kalashnikov D.V.,

*head of the sector of judicial expertises,
Judicial-expert institution of The State Fire Service «Test Fire Laboratory of The Ivanovo Region»,
Russia, Ivanovo.*

Липский Алексей Александрович,

*начальник сектора исследовательских и испытательных работ в области пожарной безопасности,
СЭУ ФПС «Испытательная пожарная лаборатория» по Ивановской области,
Россия, г. Иваново,
e-mail: ipl37@mail.ru,*

Lipsky A.A.,

*head of sector research and experimental works in the field of fire safety,
Judicial-expert institution of The State Fire Service «Test Fire Laboratory of The Ivanovo Region»,
Russia, Ivanovo.*

Эсатов Олег Алиевич,

*заместитель начальника управления надзорной деятельности и профилактической работы,
ГУ МЧС России по Ивановской области,
e-mail: asat.037@mail.ru,*

Asadov O.A.,

*the Deputy head of the Supervisory activities and preventive work
Ministry of emergency situations of Russia in the Ivanovo region,
Russia, Ivanovo.*

ПОЖАРНЫЙ РИСК ПРИМЕНЕНИЯ РАСТВОРОВ НА ОСНОВЕ ЧЕТЫРЕХХЛОРИСТОГО УГЛЕРОДА В ЗАКРЫТЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ

А.В. Калач, М.А. Преображенский, А.М. Черепухин, О.Б. Рудаков

Сформулированы виды пожарных рисков, возникающих при использовании ЧХУ и растворов на его основе в закрытых помещениях, и определены относительные их веса в целевой функции. Определены физико-химические процессы, приводящие к реализации пожарных рисков. Определена зависимость пожарного риска от молярных концентраций компонентов бинарного раствора «четырёххлористый углерод – органический растворитель». Сформулированы технические методы и пространственно-планировочные решения уменьшения пожарного риска применения растворов, содержащих четырёххлористый углерод.

Результаты эксперимента и математического моделирования свидетельствуют о том, что механизмом, запускающим цепь развития пожарной ситуации, является повышение концентрации ЧХУ в газовой фазе, а основным пожарным риском является его термическое разложение с выделением токсичных хлорсодержащих газов. Установлено, что физико-химические свойства ЧХУ приводят к наличию трех интервалов критических температур быстрого роста пожарного риска, адекватно описываемые сигмоидной функцией. Предложенные технические решения позволяют значительно снизить пожарный риск применения ЧХУ.

Ключевые слова: *пожарный риск, четырёххлористый углерод, кипение, целевая функция, поле опасных факторов пожара, термический распад.*

Введение. Практическое применение Федерального закона от 22 июля 2008 г. N 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности», устанавливающего нормативные значения пожарных рисков в соответствии с методикой определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах (в ред. Приказа МЧС РФ от 14.12.2010 N 649), требует определения расчетных величин пожарного риска и ее последствий для людей и сопоставления их с нормативными значениями. При этом в соответствии с п. 3.3.2. данных методических указаний для определения возможных сценариев возникновения и развития пожаров необходимо использовать метод логических деревьев событий, являющийся практическим применением теории ациклических неориентированных графов [1]. Исходными вершинами логических деревьев являются пожароопасные ситуации для каждого технологического процесса, которые могут вызвать возникновение аварии с пожаром с дальнейшим его развитием. Определение набора пожароопасных ситуаций требует формулирования полного перечня причин, возникновение которых позволяет характеризовать ситуацию как пожароопасную.

В качестве наиболее вероятных причин возникновения таких ситуаций в нормативных документах (в частности Приказ МЧС РФ от 30 июня 2009 г. № 382 «Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности») рекомендуется принимать следующие события:

1. выход параметров технологических процессов за критические значения;

2. разгерметизация технологического оборудования;

3. механическое повреждение оборудования.

В соответствии с методикой оценка величин пожарных рисков проводится на основе анализа физических явлений, протекающих при пожароопасных ситуациях, пожарах, взрывах. При этом должны быть учтены следующие процессы, возникающие при реализации пожароопасных ситуаций и пожаров или являющиеся их последствиями:

1. истечение газа из отверстия;
2. двухфазное истечение из отверстия;
3. растекание жидкости при разрушении оборудования;
4. выброс газа при разрушении оборудования;
5. формирование зон загазованности;
6. сгорание газопаровоздушной смеси в открытом пространстве;
7. сгорание газопаровоздушной смеси в технологическом оборудовании или помещении;
8. вскипание и выброс горячей жидкости при пожаре в резервуаре.

Развитие пожароопасной ситуации и пожара должно рассматриваться поэтапно с учетом места ее возникновения на объекте оценки риска, уровня потенциальной опасности каждой стадии и возможности ее локализации и ликвидации.

В случае применения на оцениваемом объекте растворителей одним из основных факторов пожарного риска, определяющим явления 1-8, является кипение жидкостей,

находящихся в зоне горения, сопровождающееся интенсивным выделением паров и, следовательно, повышением концентраций компонентов растворителей в зоне дыхания людей, находящихся на объекте в момент пожара [15]. Кроме того, кипение растворителей при температурах более низких, чем температура горения, повышает и риск возникновения открытого пламени на объекте. Поэтому локализация полей опасных факторов пожара в значительной мере определяется расположением емкостей, содержащих растворители.

Задача анализа методов оценки и уменьшения индивидуальных и коллективных пожарных рисков в зданиях и сооружениях привлекает значительный интерес российских и зарубежных ученых, ему посвящена обширная литература [20]. В работе [9] оптимизирована методика расчета индивидуального пожарного риска, в работе [10] проанализирована эффективность ряда объемно-планировочных решений, а в работе [12] – применение технических средств, обеспечивающих ограничение распространения пожара. Показано, что степень влияния данных мероприятий на величину индивидуального пожарного риска определяется его влиянием на динамику распространения пожара.

Особое внимание в отечественной и зарубежной литературе уделено анализу полей опасных факторов, определяемых газовой фазой продуктов термического распада [13,17], анализу влияния этих полей на процессы эвакуации персонала [22, 23]. В связи с этим, большое внимание уделяется техническим методам оптимизации этого процесса [11]. В то же время показана ограниченность такого подхода [18] и продемонстрирована необходимость использования широкого спектра средств повышения пожарной безопасности [16], основанных на анализе физико-химических процессов, происходящих в инженерных системах в условиях пожара [21]. Именно такой подход позволяет, в частности, выделить зоны особой опасности и на этой основе оптимизировать методы конструирования путей эвакуации людей при пожаре [19].

1. Анализ полей опасности, возникающих при использовании ЧХУ. При использовании в технологических процессах (жидкостно-жидкостная экстракция, дистилляция, перегонка, ректификация и др.) или для тушения возгорания с применением четыреххлористого углерода (тетрахлорметан, фреон 10, хладон 10, ЧХУ) и бинарных растворителей на его основе особую опасность представляет истечение и растекание газа и жидкости, приводящее к формированию зон загазованности. Определяется это физико-химическими свойствами ЧХУ. Во-

первых, поскольку ЧХУ имеет молярную массу ($M=153.82$ дальтон) и плотность газовой фазы, значительно превышающие соответствующие характеристики кислорода, зона загазованности ЧХУ совпадает с зоной дыхания людей. При этом он ядовит и при вдыхании паров, попадании внутрь через желудочно-кишечный тракт или всасывании через кожные покровы и слизистые оболочки. При ингаляционном отравлении вызывает токсический отек легких и острую эмфизему. Даже кратковременное воздействие ЧХУ в высоких концентрациях способно вызвать нарушения центральной нервной системы. При этом наблюдаются все признаки интоксикации: головная боль, головокружение, сонливость, часто сопровождаемые тошнотой и рвотой. В тяжелых случаях могут развиваться ступор, кома и даже наступить летальный исход [5]. Поэтому даже вне зоны пламени при повышении температуры (в частности, на путях эвакуации) увеличение концентрации ЧХУ, связанное с интенсивным парообразованием, при кипении приводит к образованию поля опасных факторов. Именно поэтому ЧХУ не используется как средство тушения в гражданской технике и авиации. Еще большую опасность представляет ЧХУ при повышении температуры: при нагревании с водой до 250 C^0 происходит гидролиз с образованием боевого отравляющего вещества фосгена. При повышении температуры до 500 C^0 ЧХУ превращается в смесь тетрахлорэтилена и гексахлорэтана с выделением свободного хлора [5].

Все эти свойства ЧХУ и бинарных растворителей на его основе должны быть описаны в функции пожарного риска для каждой вершины графа развития пожара. При этом должен быть определен уровень опасности, количественной мерой которого является целевая функция риска. Поскольку механизм, запускающим цепь развития негативных воздействий, является повышение концентрации ЧХУ в газовой фазе, особенно интенсивное при кипении, целевая функция риска должна описывать этот эффект. При использовании на объекте сложных жидких систем необходим также расчет зависимости температуры кипения от относительной концентрации компонентов растворителя. Решению этих задач и посвящена данная работа.

2. Целевая функция пожарного риска бинарных растворов на основе ЧХУ. Наиболее часто используемые на практике, линейные [2] и кусочно-линейные по оцениваемым параметрам (в частности – по температуре) функции пожарного риска [4] имеют ограниченную область практического применения. Как показано в работах [6,8] адекватными реальной ситуации являются двухпараметрические сигмоидные функции i -го риска вида.

$$R_i = \frac{\arctan[a_i \cdot (T - T_i)]}{\pi} + \frac{1}{2} \quad (1)$$

Область допустимых значений $[0;1]$ функции (1) разбивается на две подобласти насыщения $[0; T_i - \sqrt{3}/a_i]$ и $[T_i + \sqrt{3}/a_i; 0]$, область максимальной скорости изменения оценки – $[T_i - \sqrt{3}/a_i; T_i + \sqrt{3}/a_i]$. Параметр T_i определяет положение этих подобластей, а параметр эластичности оценки риска a_i – их ширины. При этом в середине отрезка $[T_i - \sqrt{3}/a_i; T_i + \sqrt{3}/a_i]$ зависимость оценки риска от температуры является линейной. Таким образом, сигмоидная функция (1) описывает все характерные особенности поведения техногенных

рисков [4]. График зависимости оценки риска R_i от аргумента T и параметра эластичности a при фиксированном значении температуры реализации T_i приведен на рис. 1. Уровни постоянного значения функции расположены на расстоянии $\Delta \ln R_i = 0.07$. На графике наглядно виден переход от гладкого (при малых значениях коэффициента эластичности) до резкого, практически ступенчатого (при $a_i \geq 0.3$) поведения оценки пожарного риска.

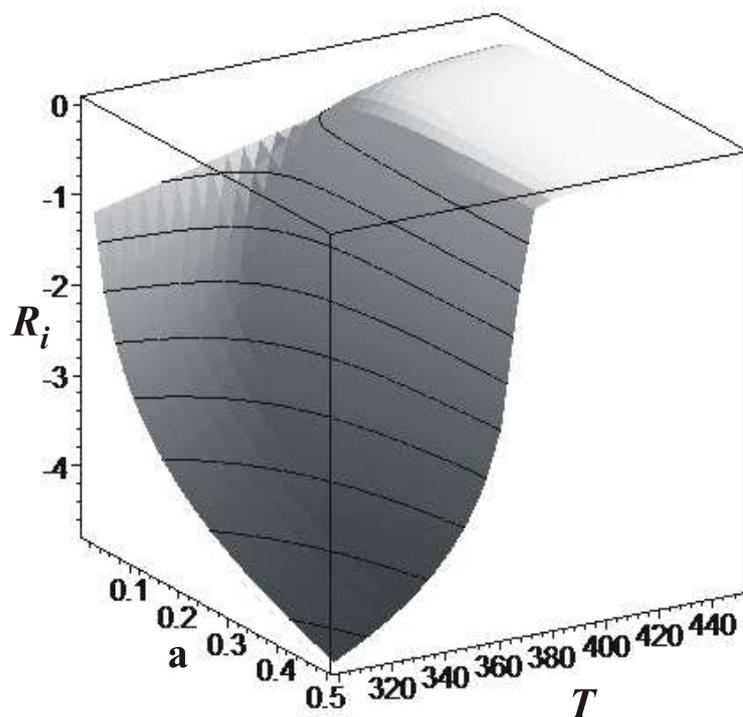


Рис. 1. Зависимость логарифма сигмоидного представления пожарного риска R_i (ось аппликата) от абсолютной температуры помещения T (ось абсцисс) и коэффициента эластичности a (ось ординат) при характерной температуре реализации пожароопасной ситуации $T_i = 300$ К

Физико-химические свойства ЧХУ определяют наличие трех видов пожарных рисков, каждый из которых характеризуется собственно температурой реализации:

1. Кипение, сопровождающееся интенсивным переходом ЧХУ в газовую фазу, область локализации которой совпадает с зоной дыхания людей.
2. Гидролиз ЧХУ с образованием фосгена.

3. Образование смеси тетрахлорэтилена и гексахлорэтана с выделением свободного хлора.

Описывая каждый из этих рисков сигмоидной функцией (1) и суммируя полученные выражения с весами C_i , определяющими их относительный вклад, получим интегральный пожарный риск использования ЧХУ и растворов на его основе в виде:

$$R = \sum_{i=1}^3 C_i R_i \quad (2)$$

В выражении (2) вес пожарного риска кипения принимает максимальное значение, поскольку это явление, помимо того что представляет самостоятельную значительную опасность, является исходным пунктом дальнейшего развития пожарной ситуации. Особую опасность представляет кипение бинарных растворов на основе ЧХУ, что определяется нелинейными отклонениями от закона Рауля [3]. Этот эффект приводит к понижению температуры кипения гомогенных растворителей в область температур, характерных не только для зон открытого пламени, но и для смежных помещений, в частности – для путей эвакуации [6].

Вес парциального риска 2 сравним с риском кипения, что определяется соотношением зон реализации этих явлений и степеней тяжести их последствий. С одной стороны, образование фосгена, происходящее при 250 С⁰, в зонах нахождения людей возможно только локально на нагретых поверхностях. Однако, с другой стороны, возможен перенос образовавшегося боевого отравляющего вещества за счет конвекции и диффузии в зоны эвакуации людей, приводящий к тяжелым токсическим поражениям.

Вклад парциального риска 3 минимален, поскольку для его реализации необходима высокая температура, характерная для зон горения, где нахождение людей невозможно. Перенос свободного хлора в зону дыхания людей увеличивает степень токсического поражения. Однако на более ранней стадии развития пожарной ситуации уже возникла зона локализации боевого отравляющего вещества, вследствие чего включение нового локального механизма выделения отравляющего газа незначительно меняет суммарный токсический риск. Параметры эластичности для рисков токсического 2, 3 загрязнения принимает значения, обеспечивающие ступенчатое поведение целевой функции, что определяется малой допустимой концентрацией фосгена и свободного хлора (Закон РСФСР «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» № 52-ФЗ от 30 марта 1999 г., Приложение «Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны»). С другой стороны оценка риска повышения концентрации ЧХУ в газовой фазе характеризуется высокой эластичностью вследствие сравнительно высоких значений допустимой концентрации ЧХУ в газовой фазе.

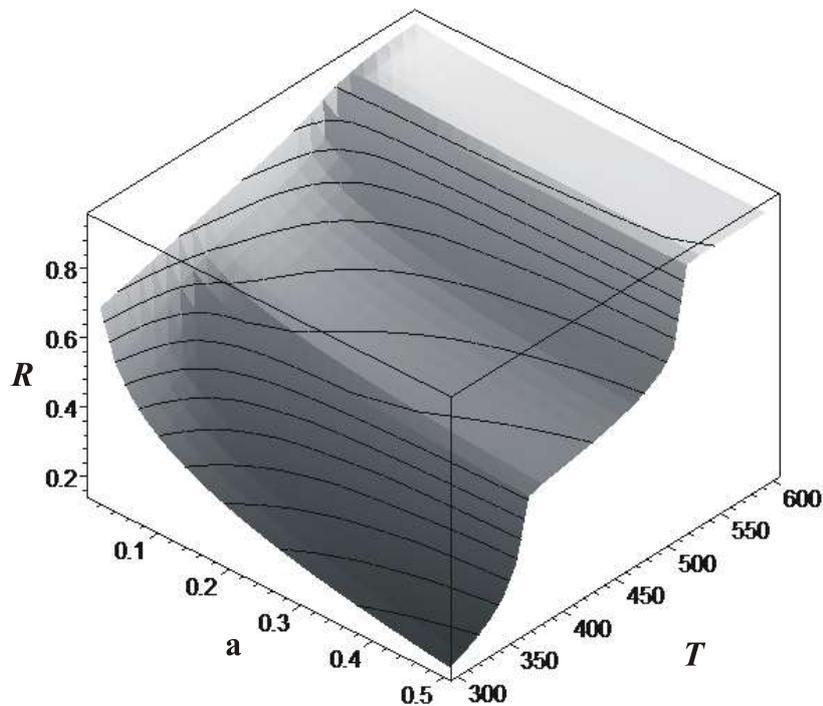


Рис. 2. Зависимость нормированного на единицу логарифма интегрального пожарного риска R (ось аппликата) от абсолютной температуры T (ось абсцисс) и коэффициента эластичности a (ось ординат)

График зависимости оценки интегрального риска R от аргумента T и параметра эластичности a риска повышения концентрации ЧХУ в газовой фазе при фиксированных значениях температур реализации парциальных рисков T_i приведен на рис. 2. На графике наглядно виден переход от гладкого (при малых значениях коэффициента эластичности) до резкого, практически ступенчатого (при увеличении значений a), поведения оценки пожарного риска. Положение скачков оценки рисков определяется температурами реализации процессов кипения, гидролиза и выделения свободного хлора соответственно. Соотношение весов парциальных рисков равно 5:4:1.

Помимо непосредственного использования растворов, содержащих ЧХУ в технологических процессах, возможно их образование и в результате применения фреона для пожаротушения на особо опасных объектах (кораблях, электростанциях и т.д.) при его взаимодействии с органическими растворителями. Как показано в работе [7], для таких растворов отклонение от закона Рауля приводит к понижению температуры кипения, что увеличивает оценку пожарного риска по сравнению с чистыми растворителями. Метод учета этого эффекта основывается на выделении аддитивной по компонентам части зависимости температуры кипения от концентрации компонентов.

$$T = T_1 n_1 + T_2 n_2 + \Delta T. \tag{3}$$

Здесь T, T_1, T_2 – температуры кипения раствора, первого и второго компонента соответственно; n_1, n_2 – молярные концентрации компонентов; ΔT – неаддитивная поправка,

описываемая гармоническим трехпараметрическим представлением вида [7].

$$\Delta T = \Delta T_e \cdot \sin \left[\frac{\pi}{2} \frac{1 - \exp(-\alpha n)}{1 - \exp(-\alpha)} + \sigma(n - n_e) \frac{\pi}{2} \frac{N}{N_1} \right], \tag{4}$$

где ΔT_e – величина экстремума функции $\Delta T(n)$. Здесь (4) введены обозначения $N = n - n_e$ и $N_1 = 1 - n_e$ и $\sigma(n_e)$ – ступенчатая сигмоидная функция концентраций (1). Коэффициенты

регрессии для гомогенных растворов «ЧХУ – органический растворитель» приведены в табл. В последней колонке таблицы приведено значение относительной ошибки регрессии (3).

Таблица

Результаты расчетов параметров гармонической трехпараметрической аппроксимации неаддитивной поправки для гомогенных растворов ЧХУ – органический растворитель

Растворитель	$-\Delta T_e$	α	n_e	σ_n
Ацетон	9,37	7,93	0,16	0,011
Метанол	18,26	33,85	0,11	0,019
Аллиловый спирт	15,15	4,77	0,20	0,027
Метилхлорид	9,88	4,47	0,06	0,044
Хлороформ	1,90	1,10	0,5	0,011
Бензол	0,76	3,99	0,22	0,029
1,1-Дихлорэтан	4,37	2,31	0,10	0,011
1-Бутанол	10,62	3,16	0,07	0,022
Этанол	12,92	1,31	0,31	0,021
Этилацетат	2,69	1,77	0,47	0,085
Трихлорэтилен	0,64	3,47	0,31	0,29
Тетрахлорэтилен	14,63	4,95	0,10	0,18
1-Пропанол	12,76	6,67	0,19	0,063
Циклогексан	0,089	2,85	0,31	0,41
Трихлорэтан	9,61	6,36	0,11	0,011
Изопропанол	12,25	7,71	0,85	0,082

Подставляя выражения (3) и (4) в интегральный пожарный риск использования растворов на основе ЧХУ (2), получим зависимость оценки пожарного риска от абсолютной температуры помещения и состава бинарной гомогенной смеси «ЧХУ - органический растворитель». Пример результатов

расчета риска кипения для раствора «ЧХУ – метанол» приведен на рис. 3. На рис. 3 наглядно виден сдвиг области увеличения пожарного риска в область меньших температур с ростом концентрации метанола в растворе.

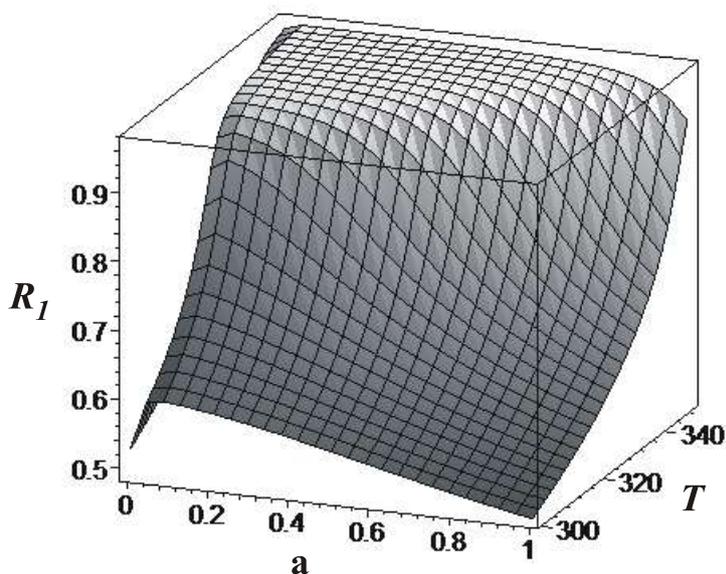


Рис. 3. Зависимость нормированного на единицу логарифма сигмоидного представления пожарного риска кипения раствора «ЧХУ – метанол» R_1 (ось аппликат) от абсолютной температуры T (ось абсцисс) и концентрации разбавителя f (ось ординат) при значении коэффициента эластичности $a=0.25$

Выводы. В результате экспериментальных исследований и математического моделирования впервые установлено, что физико-химические свойства четыреххлористого углерода приводят к наличию трех интервалов критических температур быстрого роста пожарного риска адекватно описываемые сигмоидной функцией. Первый интервал определяется интенсивным переходом четыреххлористого углерода в газовую фазу при его кипении, область локализации которой совпадает с зоной дыхания людей, как в зонах его технологического использования, так и на путях эвакуации. Особенно сильно этот механизм формирования полей опасных факторов пожара действует при взаимодействии четыреххлористого углерода с органическими растворителями. Этот эффект обусловлен понижением температуры кипения бинарного растворителя на основе четыреххлористого углерода по сравнению с величиной, определяемой законом Рауля. Вследствие этого зоны совместного использования четыреххлористого углерода и органических растворителей представляют особую пожарную опасность. Также нежелательно и тушение пожара в местах использования или хранения органических растворителей средствами, в состав которых входит данный хладон (фреон). Кроме кипения и интенсивного испарения четыреххлористого

углерода и растворов на его основе, охватывающего все помещение, в котором произошло возгорание, возможно и локальное выделение фосгена и свободного хлора в зонах повышения температуры свыше критических для соответствующих химических реакций.

Рекомендации. Таким образом, анализ сценариев развития пожара и пожарной ситуации в зданиях и сооружениях, предназначенных для хранения и технологического использования ЧХУ и органических растворителей позволяет сформулировать архитектурно-планировочные и технические решения, позволяющие на начальном этапе развития пожарной ситуации уменьшить риск ее катастрофического развития, а при невозможности избежать такого развития, уменьшить степень тяжести последствий для персонала и окружающей среды. Исследования свидетельствуют, что по соотношению цена/отдача наиболее эффективными являются следующие меры:

1. Разделение мест хранения четыреххлористого углерода и органических растворителей герметическими взрывопожаростойкими перегородками.
2. Обязательный учет в проектах помещений, предназначенных для использования четыреххлористого углерода, автономных запасов

воды и систем ее дисперсной подачи в зоны возможного повышения температуры свыше 250 С⁰.

3. Отказ от использования в помещениях хранения и использования четыреххлористого углерода металлических дверей и перегородок, являющихся местами локального повышения температуры выше значений его термического разложения.

4. Проектирование помещений для эвакуации персонала выше мест хранения и технологического использования четыреххлористого углерода и его смесей с органическими растворителями.

5. Отказ от использования систем пожаротушения с использованием

четырёххлористого углерода в помещениях, предназначенных для хранения, транспортировки и технологического применения органических растворителей.

6. Проектирование в помещениях, предназначенных для хранения и технологического использования четыреххлористого углерода и его смесей, систем газоудаления ниже зоны дыхания людей.

7. Проектирование путей эвакуации персонала выше зон концентрирования четыреххлористого углерода и вне зон возможной его диффузии.

Библиографический список

1. Белов Н.В. Теория графов / Н.В. Белов. – М.: Наука, 1968. – 377 с.
2. Вишняков Я.Д., Радаев, Н.Н. Общая теория рисков / Я.Д. Вишняков, Н.Н. Радаев. – М.: Академия, 2011. – 368 с.
3. Даниэльс Ф., Олберти Р. Физическая химия / Ф. Даниэльс, Р. Олберти. – М.: Мир, 1978. – 648 с.
4. Кошмаров Ю.А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении / Ю.А. Кошмаров. – М.: Академия ГПС МВД РФ, 2012. – 118 с.
5. Куценко С.А. Военная токсикология, радиобиология и медицинская защита: Учебник для слушателей и курсантов военно-медицинских вузов / С.А. Куценко, Н.В. Бутомо, А.Н. Гребенюк и др. – СПб.: Изд-во Военно-медицинской академии, 2013. – 524 с.
6. Преображенский М.А., Рудаков О.Б., Черепяхин А.М. Применение сигмоидных функций для оценки пожарной опасности водно-органических смесей / М.А. Преображенский, О.Б. Рудаков, А.М. Черепяхин // Научный вестник ВГАСУ. Серия: Физико-химические проблемы и высокие технологии строительного материаловедения. – 2014. – №8. – С. 135-141.
7. Преображенский М.А., Рудаков, О. Б. Регрессионная модель для расчета изобар температур кипения бинарных растворов на основе тетрахлолорметана / М.А. Преображенский, О. Б. Рудаков // Журнал физической химии. – 2016. – Т. 90, – № 1. – С. 74-77.
8. Рудаков О.Б. Информационно-аналитическая система в оценке технико-эксплуатационных свойств жидких сред / О.Б. Рудаков, М.А. Преображенский, А.В. Калач, Ю.В. Спичкин // Пожаровзрывобезопасность. – 2013. – №4. – С. 22-27.
9. Седов, Д. В. Уточнение методики расчета индивидуального пожарного риска / Д. В. Седов // Пожарная безопасность. – 2010. – № 2. – С. 116–122.
10. Седов Д.В. Эффективные мероприятия,

References

1. Belov N.V. Teorija grafov / N.V. Belov. – M.: Nauka, 1968. – 377 s.
2. Vishnjakov Ja.D., Radaev, N.N. Obshhaja teorija riskov / Ja.D. Vishnjakov, N.N. Radaev. – M.: Akademiya, 2011. – 368 s.
3. Danijel's F., Olberti R. Fizicheskaja himija / F. Danijel's, R. Olberti. – M.: Mir, 1978. – 648 s.
4. Koshmarov Ju.A. Prognozirovanie opasnyh faktorov požara v pomeshhenii / Ju.A. Koshmarov. – M.: Akademiya GPS MVD RF, 2012. – 118 s.
5. Kucenko S.A., Butomo N.V., Grebenjuk A.N. i dr. Voennaja toksikologija, radio-biologija i medicinskaja zashhita: Uchebnik dlja slushatelej i kursantov voenno-meditsinskih vuzov / S.A. Kucenko, N.V. Butomo, A.N. Grebenjuk i dr. – SPb.: Izd-vo Voенno-meditsinskoj akademii, 2013. – 524 s.
6. Preobrazhenskij M.A., Rudakov O.B., Cherepahin A.M. Primenenie sigmoidnyh funkcij dlja ocenki požarnoj opasnosti vodno-organicheskih smesej / M.A. Preobrazhenskij, O.B. Rudakov, A.M. Cherepahin // Nauchnyj vestnik VGASU. Serija: Fiziko-himicheskie problemy i vysokie tehnologii stroitel'nogo materialovedenija. – 2014. – №8. – S. 135-141.
7. Preobrazhenskij M.A., Rudakov O. B. Regressionnaja model' dlja rascheta izobar temperatur kipenija binarnykh rastvorov na osnove tetrahlorometana / M. A. Pre-obrazhenskij, O. B. Rudakov // Zhurnal fizicheskoj himii. – 2016. – T. 90, – № 1. – S. 74-77.
8. Rudakov, O.B. Preobrazhenskij M.A., Kalach A.V., Spichkin Ju.V. Informacionno-analiticheskaja sistema v ocenke tehniko-jekspluatacionnyh svojstv zhidkih sred / O.B. Rudakov, M.A. Preobrazhenskij, A.V. Kalach, Ju.V. Spichkin // Pozharovzryvobezopasnost'. – 2013. – №4. – S. 22-27.
9. Sedov, D.V. Utochnenie metodiki rascheta individual'nogo požarnogo riska / D. V. Sedov // Pozharnaja bezopasnost'. – 2010. – № 2. – S. 116–122.
10. Sedov D.V. Jeffektivnye meroprijatija, napravlennye na snizhenie urovnja individual'nogo požarnogo riska v obshhestvennyh zdanijah / D. V. Sedov // Pozharnaja bezopasnost'. – 2011. – №2. – S. 66–69.
11. Holshhevnikov V.V. Problema besprepjatstvennoj jevakuacii ljudej iz zdanij, puti reshenija i ocenki / V.V. Holshhevnikov // Algoritm bezopasnosti. – 2006. – №4. –

- направленные на снижение уровня индивидуального пожарного риска в общественных зданиях / Д.В. Седов // *Пожарная безопасность*. – 2011. – №2. – С. 66–69.
11. Холицевников В.В. Проблема беспрепятственной эвакуации людей из зданий, пути решения и оценки / В. В. Холицевников // *Алгоритм безопасности*. – 2006. – №4. – С. 12-15.
12. Шебеко А.Ю. Моделирование влияния водяных завес на распространение облаков горючих газов и паров в атмосфере / А.Ю. Шебеко, Ю.Н. Шебеко, В.А. Сулименко // *Пожарная безопасность*. – 2016. – № 3. – С. 311–317.
13. Chyży T. Simplified function of indoor gas explosion in residential buildings / T. Chyży, M. Mackiewicz // *Fire Safety Journal*. – 2017. – Vol. 87, – No. 1. – P. 1-9.
14. Groner N.E. Can the cognitive engineering approach prevent «normal accidents»? How design might improve societal resiliency to critical incidents / N.E. Groner // *Journal Crit. Incid. Anal.* – 2011. – Vol. 1. – No. 2. – P. 96–104.
15. Kuligowski E., A Review of Building Evacuation Models, 2nd edition / E. Kuligowski, R. Peacock, B. Hoskins. Gaithersburg: National Institute of Standards and Technology, MD, (NIST TN-1680), 2010. – 471 p.
16. Law A. The role of modelling in structural fire engineering design / A. Law // *Fire Safety Journal*. – 2016. – Vol. 80. – No. 2. – P. 89–94.
17. Lundström F.V. Study of ignition and extinction of small-scale fires in experiments with an emulating gas burner / Lundström F.V., Sunderland P. B., Quintiere J. G., Van Hees P., De Ris J. L. // *Fire Safety Journal*. – 2017. – Vol. 87. – No 1. – P. 18-24.
18. Maluk. C., Woodrow M., Torero J. L. The potential of integrating fire safety in modern building design / C. Maluk, M. Woodrow, J. L. Torero // *Fire Safety Journal*. – 2017. – Vol. 88. – No. 3. – P. 104-112
19. O'Conner D. Considerations and Challenges n Refuge Areas in Tall Buildings / D. O'Conner, K. Clawson, E. Cui, in: *Proceedings of the 9-th International Conference on CTBUH, Shanghai*. – 2012. – P. 77 – 81.
20. Perrow C. *Normal Accidents: Living with High Risk Technologies*/ C. Perrow. Princeton: Princeton University Press, NJ. – 1999. – 531 p.
21. Vách J. Beams with corrugated web at elevated temperature, analytical and numerical models for heat transfer / J. Vácha, P. Kyzlik, Both I., Wald F. // *Fire Safety Journal*. – 2016. – Vol. 86. – No. 2. – P. 83-94.
22. Xing Z. Simulation of Fire and Evacuation in High-Rise Building / Xing Z., Tang Y. // *Procedia Engineering*. – 2012. – Vol. 45. – P. 705-709.
23. Yang J. Numerical Simulation of Smoke Movement Influence to Evacuation in a High-Rise Residential Building Fire / J. Yang, Y. Yang, Y. Chen // *Procedia Engineering*. – 2012. – Vol. 45. – P. 727-734.
- С. 12-15.
12. Shebeko A.Ju. Modelirovanie vlijaniya vodjanyh zavес na rasprostranenie oblakov gorjuchih gazov i parov v atmosfere / A.Ju. Shebeko, Ju.N. Shebeko, V.A. Sulimenko // *Pozharnaja bezopasnost'*. – 2016. – № 3. – S. 311–317.
13. Chyży, T. Simplified function of indoor gas explosion in residential buildings / T. Chyży, M. Mackiewicz // *Fire Safety Journal*. – 2017. – Vol. 87, – No. 1. –P. 1-9.
14. Groner, N.E. Can the cognitive engineering approach prevent «normal accidents»? How design might improve societal resiliency to critical incidents / N.E. Groner // *Journal Crit. Incid. Anal.* – 2011. – Vol. 1. – No. 2. – P. 96–104.
15. Kuligowski E., A Review of Building Evacuation Models, 2nd edition / E. Kuligowski, R. Peacock, B. Hoskins. Gaithersburg: National Institute of Standards and Technology, MD, (NIST TN-1680), 2010. – 471 p.
16. Law A. The role of modelling in structural fire engineering design / A. Law // *Fire Safety Journal*. – 2016. – Vol. 80. – No. 2. – P. 89–94.
17. Lundström, F.V. Study of ignition and extinction of small-scale fires in experiments with an emulating gas burner / Lundström F.V., Sunderland P. B., Quintiere J.G., Van Hees P., De Ris J.L. // *Fire Safety Journal*. – 2017. – Vol. 87. – No 1. P. 18-24.
18. Maluk. C., Woodrow M., Torero J. L. The potential of integrating fire safety in modern building design / C. Maluk, M. Woodrow, J. L. Torero // *Fire Safety Journal*. – 2017. – Vol. 88. – No. 3. – P. 104-112
19. O'Conner D. Considerations and Challenges n Refuge Areas in Tall Buildings / D. O'Conner, K. Clawson, E. Cui, in: *Proceedings of the 9-th International Conference on CTBUH, Shanghai*. – 2012. – P. 77 – 81.
20. Perrow C. *Normal Accidents: Living with High Risk Technologies*/ C. Perrow. Princeton: Princeton University Press, NJ. – 1999. – 531 p.
21. Vách. J. Beams with corrugated web at elevated temperature, analytical and numerical models for heat transfer / J. Vácha, P. Kyzlik, Both I., Wald F. // *Fire Safety Journal*. – 2016. – Vol. 86. – No. 2. – P. 83-94.
22. Xing. Z. Simulation of Fire and Evacuation in High-Rise Building / Xing Z., Tang Y. // *Procedia Engineering*. – 2012. – Vol. 45. – P. 705-709.
23. Yang. J. Numerical Simulation of Smoke Movement Influence to Evacuation in a High-Rise Residential Building Fire / J. Yang, Y. Yang, Y. Chen // *Procedia Engineering*. – 2012. – Vol. 45. – P. 727-734.

THE FIRE RISK APPLICATION OF SOLUTIONS BASED ON CARBON TETRACHLORIDE IN CONFINED AREAS

In accordance with the regulations, the description of the dynamics of the fire situation requires the formulation of a complete list of the causes of its emergence and development. Selection from the complete list of phenomena, the most dangerous and defining the key stages of the development of the situation allows us to formulate methods to reduce the risk of transfer of the situation in a critical phase. Carbon tetrachloride has a large number of practical applications. This makes demands the development of methods of fire danger evaluation processes; struggle with their occurrence and development and to minimize negative consequences.

The types of fire risks arising from the use of the CCl₄ and solutions based on it in confined areas, and identifies their relative weight in the objective function are formulated. The physico-chemical processes leading to the implementation of fire risk are defined. The dependence of the fire risk from the molar concentration of the components of a binary solution «CCl₄ – organic solvent». Some technical methods and spatial-planning decisions, reduce fire risk, using of solutions containing the CCl₄ are formulated.

Experimental results and mathematical modeling indicate that the mechanism triggers the chain fire situation is increasing the concentration of the CCl₄ in the gas phase, and the primary fire risk is its thermal decomposition with release of toxic chlorine gases. It is established that the physico-chemical properties of the CCl₄ lead to the presence of three intervals, the critical temperature for rapid growth in risk adequately described by sigmoidal function. The proposed technical solution can significantly reduce the fire risk of the CCl₄.

Keywords: *fire risk, carbon tetrachloride, boiling, the objective function, the field of dangerous factors of a fire, thermal decomposition.*

Калач Андрей Владимирович,

*заместитель начальника института по научной работе,
профессор, д.х.н.,
Воронежский институт ГПС МЧС России,
Россия, Воронеж,
e-mail: AVKalach@gmail.com*

Kalach A.V.,

*the deputy chief on scientific work of Institute,
prof., Sc. In Chemistry,
Voronezh Institute of State Firefighting Service of EMERCOM of Russia,
Russia, Voronezh.*

Преображенский М.А.,

*доц. кафедры физики,
к. ф.-м. н.,
Воронежский государственный технический университет,
Россия, г. Воронеж*

Preobrazhensky M.A.,

*Assoc. Prof. of Department of physics,
PhD. p.-m. s.,
Voronezh State Technical University,
Russia, Voronezh.*

Рудаков О.В.,

*зав. кафедрой химии и химической технологии материалов,
д.х.н., профессор,
Воронежский государственный технический университет,
Россия, г. Воронеж
e-mail: rudakov@vgasu.vrn.ru*

Rudakov O B.,

*Head OF Department of chemistry,
Dr. Chem. Sciences, Professor,
Voronezh State Technical University,*

Russia, Voronezh.

Черепихин М.А.,

младший научный сотрудник кафедры химии,

Воронежский государственный технический университет,

Россия, г. Воронеж

Cherepakhin M.A.,

Junior researcher of Department of chemistry,

Voronezh State Technical University,

Russia, Voronezh.

ПРИМЕНЕНИЕ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИЕЙ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ДИНАМИКИ ГАЗОВОЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ ЭКСТРАКЦИИ В ПОЖАРНО-ТЕХНИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

А.Л. Павлова, М.А. Галишев

В работе предложено для оценки качества огнезащиты древесных материалов использовать метод газовой термической экстракции. Для изучения динамики извлечения термоэкстрактов из образцов древесины применен метод молекулярной люминесценции. Показано, что суммарная интенсивность люминесценции у неантипирированной древесины при температурах от 100 до 500 °С превышает такую у антипирированной древесины 4÷9 раз. Методом термолюминесценции удается довольно уверенно различать образцы неантипирированной и антипирированной древесины. Для проведения анализа требуется не более 0,1 г образца, что практически не влияет на внешний вид изучаемых изделий.

Ключевые слов: газовой термической экстракция, молекулярная люминесценция, огнезащита древесины.

Антипирирование древесины с целью повышения ее сопротивляемости воздействию огня, обычно проводят глубокой или поверхностной пропиткой раствором солей. Контроль качества антипирирования способом поверхностной пропитки производят путем проверки внешнего вида покрытия, его толщины и адгезии [1]. Контрольной проверке внешнего вида покрытия подвергают выборочно не менее 10 % площади каждой конструкции. Покрытие должно быть сплошным и не иметь трещин, отслоений, вздутий. Внешний вид покрытия определяют визуально. Контрольной проверке толщины покрытия подвергают каждые 100 м² поверхности штангенциркулем не менее чем в трех точках с интервалом 1 м. Адгезию определяют методом решетчатых надрезов [2]. Сущность метода заключается в нанесении на готовое лакокрасочное покрытие решетчатых надрезов и визуальной оценке состояния покрытия по четырехбалльной системе. Таким образом, стандартная оценка качества антипирирования осуществляется оценочными методами, основанными на визуальных наблюдениях.

Контроль качества антипирирования древесины, защищенной способом глубокой пропитки, производят контрольным методом определения огнезащитной эффективности по количеству поглощенного антипиригена в единице объема древесины [3]. Контрольный метод основан на огневых испытаниях в установке «Керамическая труба» и измерении потери массы образца. Для испытаний используются образцы древесины в виде прямоугольных брусков с поперечным сечением 30 на 60 мм и длиной вдоль волокон 150 мм.

В настоящем исследовании предлагается для оценки качества антипирирования древесных материалов использовать метод термической

экстракции (ТЭ) органических компонентов из матрицы объектов носителей с анализом экстрактов методом молекулярной люминесценции. В работе изучена динамика извлечения термоэкстрактивных компонентов из образцов неантипирированной и антипирированной осиновой древесины. Термоэкстракты получены при температурах от 100 до 600 °С с шагом нагрева 100 градусов. Состав выделяющихся люминесцирующих компонентов определяется отдельно для газовой и конденсированной фаз компонентов термоэкстрактов. Различия в методике получения газовой и конденсированной фаз термоэкстрактов заключались в том, что газовая фаза была получена путем продувки выделяющихся при термолитизе газов через склянку с гексаном. Более тяжелые продукты конденсированной фазы осаждались непосредственно на холодном конце кварцевой трубки пиролитической установки и затем смывались гексаном.

На рисунке 1 показаны спектры люминесценции газовой фазы термоэкстракта неантипирированной древесины. Обработка спектров велась с применением функции Лоренца, позволяющей выделять отдельные спектральные максимумы в сложных спектрах [4]. В точке спектрального максимума, его интегральная интенсивность, соответствующая площади спектрального максимума равна:

$$A = \frac{H \cdot \pi \cdot \omega}{2}, \quad (1)$$

где A – интегральная интенсивность спектрального максимума (площадь, ограниченная спектрально кривой);

ω – полуширина спектрального максимума, нм;

H – высота спектрального максимума, соответствующая величине тока фотоумножителя спектрофлуориметра, ма.

Соответственно интегральная интенсивность спектрального максимума имеет размерность ма·нм. Пример обработки спектров люминесценции, показан на рисунке 2. Обработка

проведена в программе Origin (программный продукт фирмы Origin Lab Corporation, <http://originlab.com>).

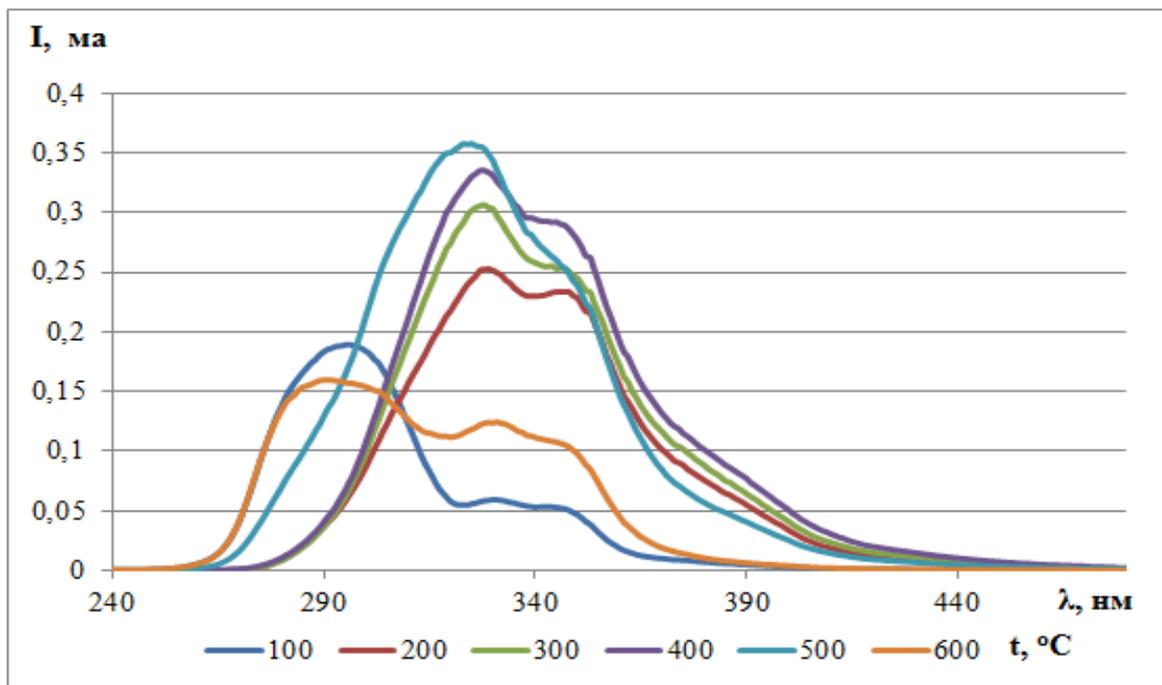


Рис. 1. Спектры люминесценции газовой фазы экстрактов неантипированной древесины осины

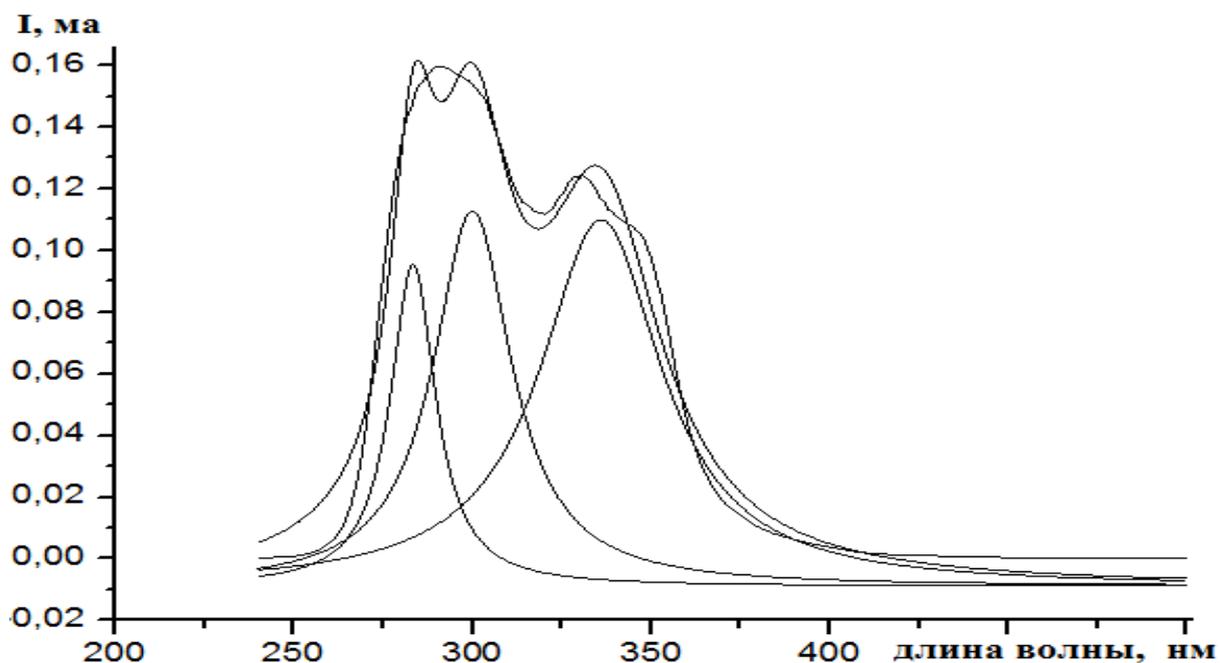


Рис. 2 Обработка спектра люминесценции газовой фазы термоэкстракта неантипированной древесины осины при 600 °С

Сводные результаты изучения люминесценции газовой фазы термоэкстрактов

неантипированной древесины показаны на столбчатой диаграмме (рисунок 3).

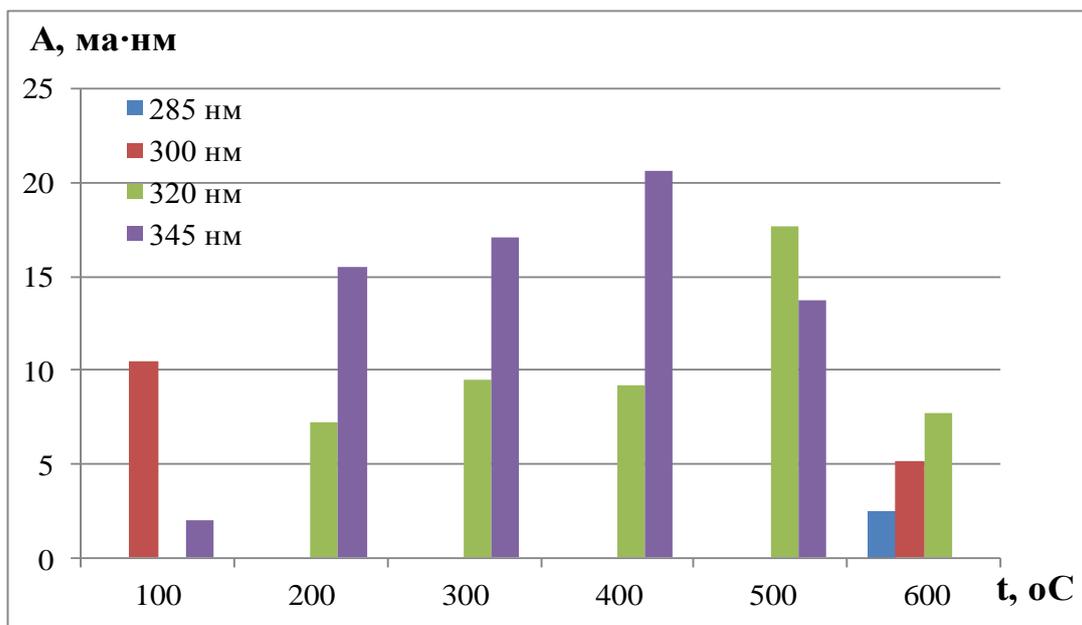


Рис. 3. Сводные результаты изучения люминесценции газовой фазы термоэкстрактов неантипирированной древесины при разных температурах термоэкстракции

На рисунке 4 приводятся спектры люминесценции конденсированной фазы экстрактов неантипирированной древесины. Спектры люминесценции неантипирированной древесины (рисунки 1, 4), полученные методом термического люминесцентного анализа, имеют сложный характер, с несколькими максимумами.

Основные максимумы люминесценции смещены в длинноволновую область. При увеличении температур термоэкстракции наблюдается увеличение интенсивностей люминесценции газовой фазы и изменение характера люминесценции конденсированной фазы.

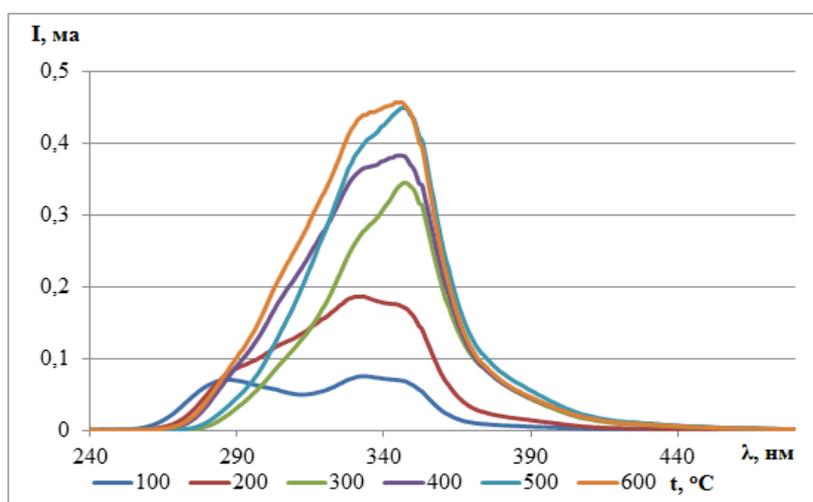


Рис. 4. Спектры люминесценции конденсированной фазы экстрактов древесины осины неантипирированной

Столбчатая диаграмма, отображающая сводные результаты изучения люминесценции конденсированной фазы термоэкстрактов неантипирированной древесины приведена на рисунке 5. В термоэкстрактах неантипирированной древесины осины основные

максимумы люминесценции в газовой и в конденсированной фазах приходятся на диапазон длин волн 320÷350 нм. При этом в газовой фазе до 400 °С преобладает длинноволновый максимум 345 нм. При повышении температуры до 500 и 600 °С начинают преобладать коротковолновые

максимумы люминесценции при 320 нм. В конденсированной фазе закономерного преобладания одного из двух основных

максимумов люминесценции с ростом температуры не наблюдается.

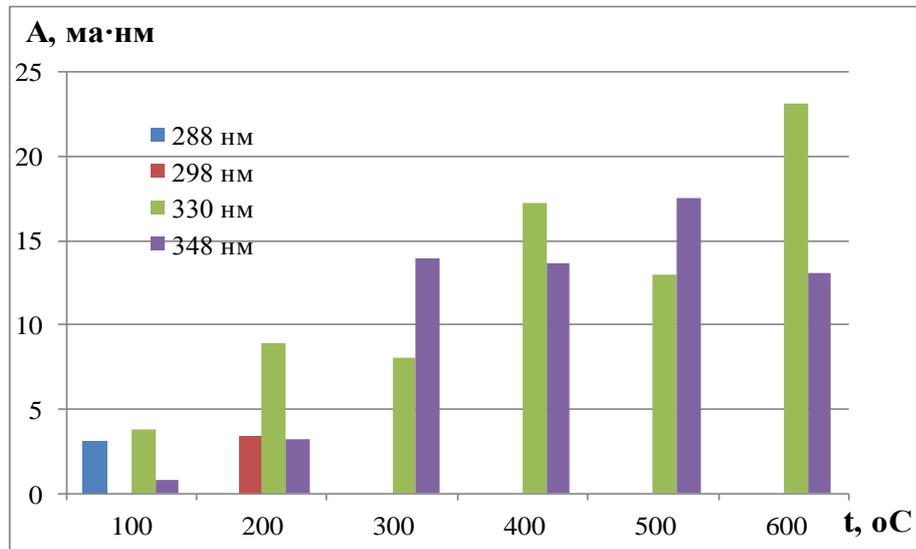


Рис. 5. Сводные результаты изучения люминесценции конденсированной фазы термоэкстрактов неантипированной древесины при разных температурах термоэкстракции

Аналогичным образом были изучены спектры люминесценции газовой и конденсированной фаз термоэкстрактов антипированной древесины. Сводные результаты изучения люминесценции газовой

фазы термоэкстрактов неантипированной древесины показаны на столбчатой диаграмме (рисунок 6), а аналогичные результаты для конденсированной фазы – на рисунке 7.

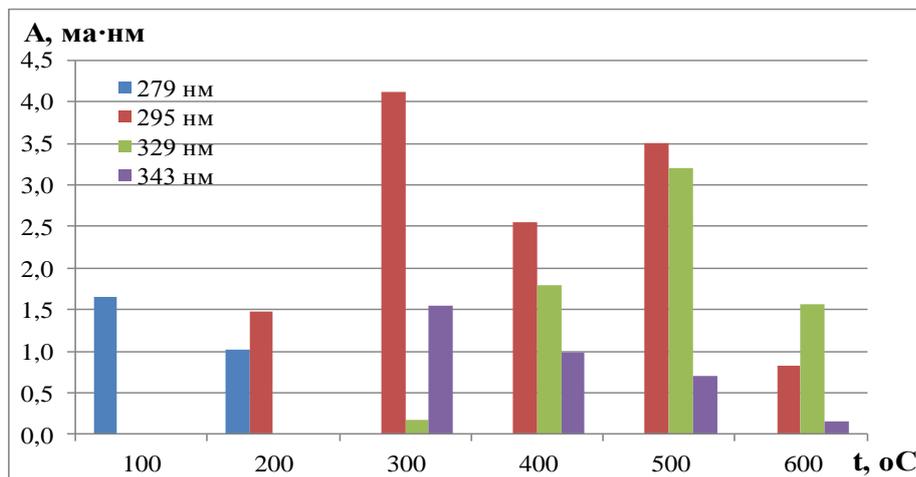


Рис. 6. Сводные результаты изучения люминесценции газовой фазы термоэкстрактов неантипированной древесины при разных температурах термоэкстракции

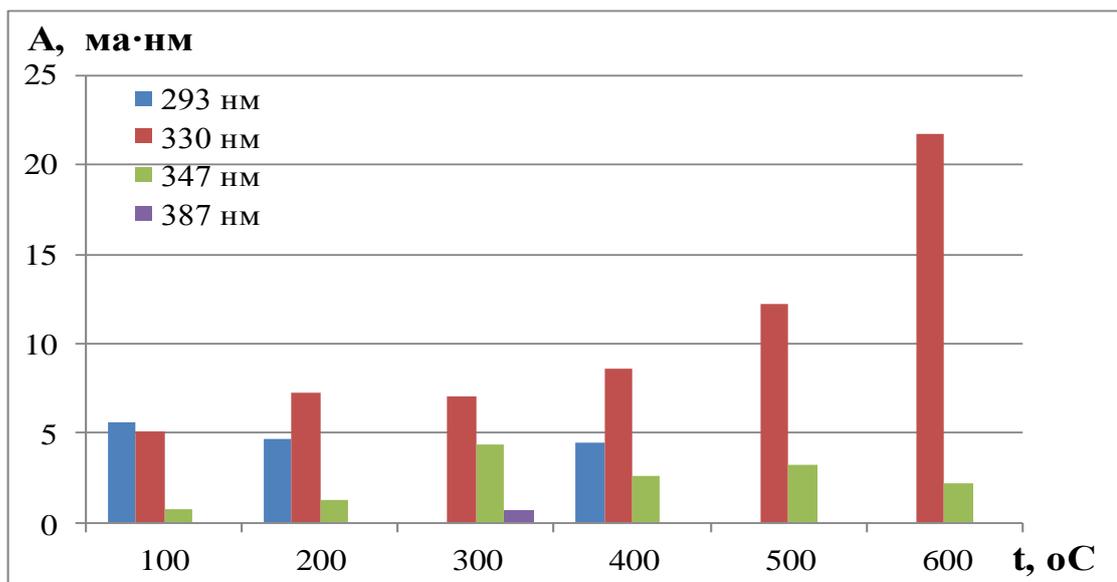


Рис. 7. Сводные результаты изучения люминесценции конденсированной фазы термоэкстрактов антипирированной древесины при разных температурах термоэкстракции

Сравнение спектров люминесценции термоэкстрактов неантипирированной осиновой древесины с антипирированными образцами показывает некоторое сходство между ними по диапазонам длин волн люминесценции. В то же время заметны отличия по интенсивностям люминесценции и положениям отдельных максимумов люминесценции.

В газовой фазе суммарная интенсивность люминесценции у неантипирированной древесины при температурах от 100 до 500 °С превышает такую у антипирированной древесины 4÷9 раз (рисунок 8, таблица). Наблюдается линейный рост интенсивности люминесценции с повышением температуры термической экстракции до 500 °С.

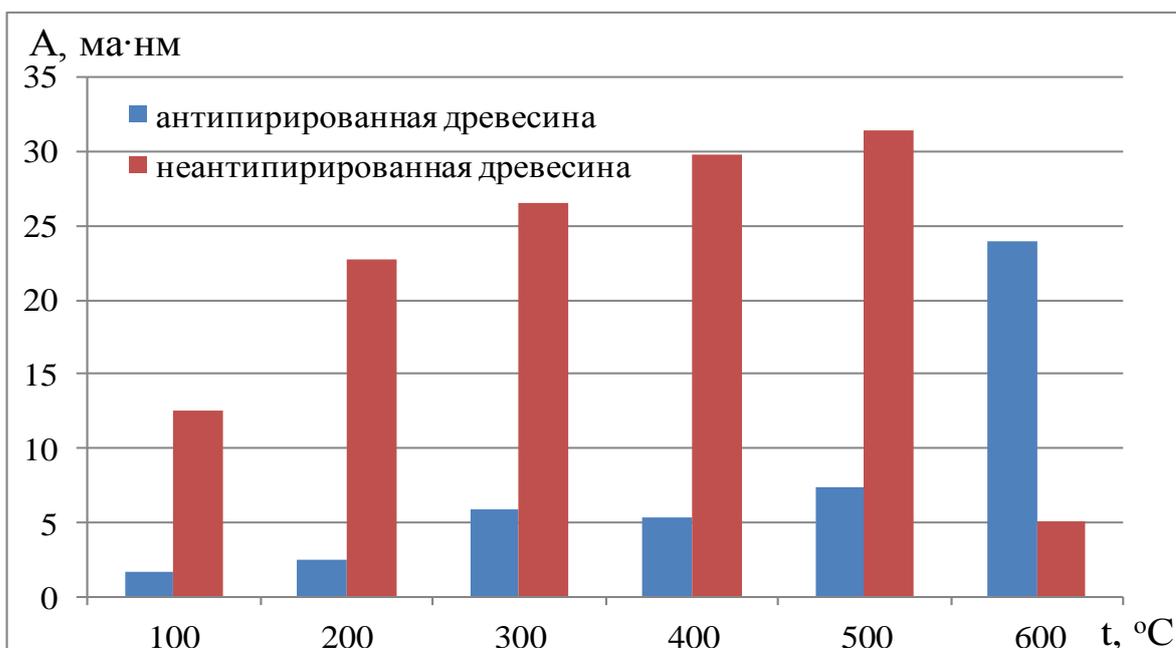


Рис. 8. Значения суммарной интенсивности люминесценции газовой фазы термоэкстрактов древесины при различных температурах термической экстракции

Соотношения между интенсивностями люминесценции в газовой и конденсированной фазах термоэкстрактов неантипирированной и антипирированной древесины

Фаза термоэкстракта		t, °C					
		100	200	300	400	500	600
газовая	$A_{\text{неантипир.}}/A_{\text{антипир.}}$	7,6	9,1	4,6	5,6	4,2	0,2
конденсированная	$A_{\text{неантипир.}}/A_{\text{антипир.}}$	0,7	1,2	1,8	2,0	2,0	1,5

Линейная регрессионная зависимость роста интенсивности люминесценции в газовой фазе в интервале температур 100÷500 °C у неантипирированной древесины выражается зависимостью $y = 4,50x + 11,10$ (2) при достоверности аппроксимации $R^2 = 0,92$; у антипирированной древесины – $y = 1,43x + 0,24$ (3) при достоверности аппроксимации $R^2 = 0,90$. При 600 °C интенсивность люминесценции газовой фазы термоэкстрактов антипирированной древесины резко возрастает, а у неантипирированной древесины – резко снижается. Такая ситуация объясняется тем, что при температуре свыше 500 °C действие

антипиринов на древесину прекращается и из нее начинает резко выделяться весь оставшийся запас летучих компонентов. В неантипирированной древесине содержание летучих компонентов к этой стадии прогрева уже практически иссякает, и выделяются только остаточные продукты термической экстракции.

На рисунке 9 проведено сравнение суммарной интенсивности люминесценции конденсированной фазы антипирированной и неантипирированной древесины. Численные характеристики суммарной интенсивности люминесценции приведены в таблице.

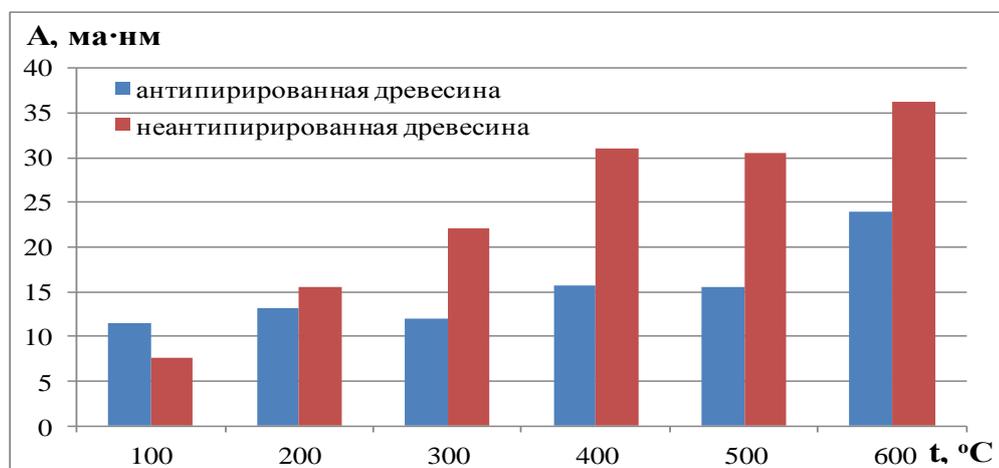


Рис. 9. Значения суммарной интенсивности люминесценции конденсированной фазы термоэкстрактов древесины при различных температурах термической экстракции

Интенсивности люминесценции конденсированной фазы термоэкстрактов антипирированной и неантипирированной древесины различаются не так заметно, как в газовой фазе. Более того, при температуре 100 °C интенсивность люминесценции конденсированной фазы антипирированной древесины даже превышает таковую у неантипирированной

древесины. В этих образцах также наблюдается рост интенсивности люминесценции с повышением температуры термической экстракции. У неантипирированной древесины линейная регрессионная зависимость роста интенсивности люминесценции с повышением температуры термической экстракции имеет вид:

$$y = 5,62x + 4,15 \quad (4), \text{ при достоверности аппроксимации } R^2 = 0,95.$$

В антипирированной древесине регрессионная зависимость имеет очень низкую

достоверность аппроксимации:

$$y = 2,10x + 7,95 \quad (5) \text{ при достоверности аппроксимации } R^2 = 0,73.$$

В конденсированной фазе также наблюдается существенный рост интенсивности люминесценции в образце антипирированной древесины, полученном при 600 °С. Это позволяет сделать вывод о том, что воздействие антипиренов на пожароопасные характеристики древесины сохраняется только до температур нагрева около 500 °С.

Выявленные особенности характера люминесценции термоэкстрактов древесины позволяют рекомендовать для изучения качества антипирирования использование только газовой фазы термической экстракции древесины.

Дополнительным преимуществом при этом станет сокращение времени анализа. В целом методом термолюминесценции удастся довольно уверенно различать образцы неантипирированной и антипирированной древесины. Положительными особенностями метода являются его высокая экспрессность и очень малое количество требуемого образца. Для проведения анализа требуется не более 0,1 г, что практически не влияет на внешний вид изучаемых изделий. Последнее обстоятельство часто имеет решающее значение при проведении пожарно-технических исследований.

Библиографический список

1. СТО 43.29.11 Огнезащита деревянных конструкций в построечных условиях.
2. ГОСТ 15140-78 Материалы лакокрасочные. Методы определения адгезии. М.: ИПК Издательство стандартов, 1996.
3. ГОСТ Р 53292-2009 Огнезащитные составы и вещества для древесины и материалов на ее основе.
4. Решетов А.А., Галишев М.А., Шаранов С.В. Использование информационных ресурсов спектрального анализа путем представления графической информации в численном виде методом нелинейной аппроксимации функцией Лоренца [Электронный ресурс] / Электронный научный журнал «Вестник Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России», *vestnik.igps.ru*. 2013. – № 4.

References

1. STO 43.29.11 Ogneshchita derevyannykh konstruksiy v postroyechnykh usloviyakh.
2. GOST 15140-78 Materialy lakokrasochnyye. Metody opredeleniya adgezii. M.: IPK Izdatelstvo standartov. 1996.
3. GOST R 53292-2009 Ogneshchitnyye sostavy i veshchestva dlya drevesiny i materialov na ee osnove.
4. Reshetov A.A., Galishev M.A., Sharapov S.V. Ispolzovaniye informatsionnykh resursov spektralnogo analiza putem predstavleniya graficheskoy informatsii v chislennom vide metodom nelineynoy approksimatsii funktsiyey Lorentsa [Elektronnyy resurs] / Elektronnyy nauchnyy zhurnal «Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta GPS MChS Rossii». *vestnik.igps.ru*. 2013. – № 4.

APPLICATION BY THE MOLECULAR LUMINESCENCE FOR STUDYING OF DYNAMICS OF GAS THERMAL EXTRACTION IN FIRE AND TECHNICAL RESEARCHES

In work it is offered to use a method of gas thermal extraction for an assessment of quality of fire protection of wood materials. The method of a molecular luminescence is applied to studying of dynamics of extraction of thermoextracts from samples of wood. It is shown that total intensity of a luminescence at the raw wood at temperatures from 100 to 500 ° C exceeds that at the processed wood 4÷9 of times. The method of a thermoluminescence has possible to distinguish quite surely samples of the processed and raw wood. Carrying out the analysis requires no more than 0,1 g of a sample that practically doesn't influence appearance of the studied products.

Keywords: Gas thermal extraction, molecular luminescence, wood fire protection.

Павлова Алла Сергеевна,

соискатель факультета подготовки кадров высшей квалификации, ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Россия, Санкт-Петербург,

Pavlova A.S.,

the applicant of the faculty of training highly qualified personnel, St.-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia,

Russia, Saint-Petersburg.

Галишев Михаил Алексеевич,

профессор кафедры криминалистики и инженерно-технических экспертиз,

д.т.н., профессор,

ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России,

Россия, Санкт-Петербург,

e-mail: magalishev@yandex.ru,

Galishev M.A.,

professor of the Department of Criminalistics and Engineering and Technical Expertise,

dr. Tech. Sci, professor,

St.-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia,

Russia, Saint-Petersburg.

БЕЗОПАСНОСТЬ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ

УДК 614.8

РИСК-ОРИЕНТИРОВАННЫЙ ПОДХОД К РАНЖИРОВАНИЮ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ И ТЕРРИТОРИЙ СУБЪЕКТОВ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПО СТЕПЕНИ ОПАСНОСТИ ДЛЯ НАСЕЛЕНИЯ

А.Ю. Большагин

Основная задача данной работы – применение риск-ориентированного подхода к информационному наполнению типовых паспортов безопасности территорий субъектов Российской Федерации и муниципальных образований в части, касающейся характеристик водных объектов. Данная методика позволяет ранжировать по степени опасности места массового пребывания людей на отдельном водном объекте муниципального образования субъекта Российской Федерации.

Ключевые слова: *риск-ориентированный подход, ранжирование водных объектов, места массового пребывания людей, среднестатистическая стоимость жизни.*

Согласно статистике ежегодно на водных объектах Российской Федерации погибает от 5000 до 6000 человек. Основную опасность на водных объектах представляют места массового скопления людей, такие как пляжи, переправы, ледовые переправы, места подледного лова рыбы, стоянки судов ГИМС и т.д.

Задачей данной работы являлось применить риск-ориентированный подход к информационному наполнению типовых паспортов безопасности территорий субъектов Российской Федерации и муниципальных образований в части, касающейся характеристик водных объектов.

Для оценки вероятности гибели людей на водных объектах предлагается использовать статистические данные ГИМС МЧС России за последние 5 лет, предшествующие прогнозируемому году.

Для расчета показателя риска гибели людей на водных объектах необходимо использовать значение среднестатистической стоимости жизни (ССЖ) людей Российской Федерации на расчетный период времени. По данным Центра стратегических исследований компании Росгосстрах стоимость человеческой жизни в России в 2015 году составила 4,5 млн рублей (данные по ССЖ в 2016 году не найдены) [2].

Обозначим муниципальное образование, входящее в состав субъекта Федерации буквой m . А общее количество муниципальных образований на территории субъекта – M . Количество водных объектов в m -ом муниципальном образовании, где возможно формирование мест с массовым скоплением людей (МСЛ), обозначим I_m . Количество мест с МСЛ на i -ом водном объекте в m -ом муниципальном образовании, оснащенных спасательными постами обозначим K_{im} , а L_{im} – количество мест на i -ом водном объекте в m -ом муниципальном образовании, не оснащенных спасательными постами. Тогда вероятность гибели

людей на k -ом месте МСЛ, оснащеном спасательными постами, на i -ом водном объекте m -ого муниципального образования можно представить как $P_{ikm}^{МСЛ} = \frac{C_{ikm}^{МСЛ}}{H_m}$, а $P_{ilm}^{МСЛ} = \frac{C_{ilm}^{МСЛ}}{H_m}$ – вероятность гибели людей на l -ом месте МСЛ, не оснащеном спасательными постами, на i -ом водном объекте m -ого муниципального образования. Здесь $C_{ikm}^{МСЛ}$ – количество погибших людей на i -ом водном объекте в k -ом месте МСЛ, оснащеном спасательными постами, m -ого муниципального образования (среднее значение за 5 последних лет), чел., а $C_{ilm}^{МСЛ}$ – количество погибших людей на i -ом водном объекте в l -ом месте МСЛ, не оснащеном спасательными постами, m -ого муниципального образования (среднее значение за 5 последних лет), чел. H_m – численность населения m -ого муниципального образования (среднее значение за 5 последних лет), чел., а H_m^* – численность населения m -ого муниципального образования в прогнозный период, чел. Очевидно, что риск гибели людей в k -ом месте МСЛ, оснащеном спасательным постом на i -ом водном объекте в m -ом муниципальном образовании можно записать, как $R_{ikm}^{МСЛ} = P_{ikm}^{МСЛ} \times H_m^* \times U_{ССЖ}$, руб., а в l -ом месте массового скопления людей, не оснащеном спасательным постом – как: $R_{ilm}^{МСЛ} = P_{ilm}^{МСЛ} \times H_m^* \times U_{ССЖ}$, руб. Здесь $U_{ССЖ}$ – значение среднестатистической стоимости жизни человека на прогнозный год.

При оценке значения величины C_{ikm} необходимо учитывать и количество погибших людей при эксплуатации маломерных судов (ММС) (среднее значение за 5 последних лет). В этом случае риск гибели людей при эксплуатации ММС без аттестационных документов у водителя судна или без документов подтверждающих проведение ежегодного технического обслуживания (ТО) плавсредства для i -ого водного объекта m -ого

муниципального образования можно представить как:

$$R_{ilm}^{MMC} = P_{ilm}^{MMC} \times H_m^* \times Y_{CCЖ},$$

а для ММС со всеми разрешительными документами:

$$R_T = \sum_{m=1}^M (R_m^{MCL} + R_m^{MMC}) = Y_{CCЖ} \sum_{m=1}^M \frac{H_m^*}{H_m} \sum_{i=1}^{I_m} \left(\sum_{k=1}^{K_{im}} C_{ikm}^{MCL} + \sum_{l=1}^{L_{im}} C_{ilm}^{MCL} + C_{ipm}^{MMC} + C_{irm}^{MMC} \right), \text{ руб.}$$

Данное выражение однозначно определяет риск гибели людей на водных объектах для субъекта Российской Федерации в рублевом выражении, основываясь на значениях $Y_{CCЖ}$ и значении численности населения в m -ых муниципальных образованиях субъекта Федерации в прогнозный год – H_m^* .

$$R_T^i = R_T - Y_T^* = Y_{CCЖ} \sum_{m=1}^M \left\{ \sum_{i=1}^{I_m} \left[\frac{H_m^*}{H_m} \left(\sum_{k=1}^{K_{im}} C_{ikm}^{MCL} + \sum_{l=1}^{L_{im}} C_{ilm}^{MCL} + C_{ipm}^{MMC} + C_{irm}^{MMC} \right) - \sum_{n=1}^{N_m} \frac{C_{ikm} \times Y_{CCЖ} \times Y_{ilm}^n}{C_{ilm}^n \times Y_{CCЖ} + Y_{ilm}^n} \right] \right\}.$$

Для оценки эффективности проведенных защитных мероприятий можно использовать простые соотношения:

$$\frac{R_T^i}{R_T^*} > 1 - \text{неэффективное мероприятие};$$

$$\frac{R_T^i}{R_T^*} = 1 - \text{эффективное мероприятие};$$

$$\frac{R_T^i}{R_T^*} < 1 - \text{высокоэффективное мероприятие}.$$

Основываясь на значениях рисков гибели людей на водных объектах и значениях допустимого (приемлемого) риска гибели людей для субъектов Российской Федерации, можно провести ранжирование территорий страны по степени защищенности людей на водных объектах:

$R_T \leq R_T^*$ – состояние безопасности людей на водных объектах территории субъекта Российской Федерации удовлетворительное, не

Библиографический список

1. Гражданская защита. Энциклопедический словарь. М.: ДЭКС-ПРЕСС. – 2005. – С. 404.
2. <http://politiklass.ru/skolko-stoit-chelovecheskaya-zhizn-v-rossii.html>.
3. ГОСТ Р 22.10.02-2016 Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Менеджмент риска чрезвычайной ситуации. Допустимый риск чрезвычайных ситуаций.
4. Олтян И.Ю., Коровин А.И. Оценка состояния защиты населения субъектов Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера // Технологии гражданской безопасности. М.: ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2016. – Т. 13. – № 4(50).

$$R_{ikm}^{MMC} = P_{ikm}^{MMC} \times H_m^* \times Y_{CCЖ}.$$

Тогда риск гибели людей на водных объектах субъекта Российской Федерации – R_T можно представить как:

Ниже приводится алгоритм управления рисками на водных объектах субъекта Российской Федерации, основанный на анализе существующих опасных факторов, приводящих к чрезвычайным ситуациям, и анализе принятых мер для снижения риска гибели людей. Выражение прогнозного значения риска гибели людей на водных объектах территории субъекта Российской Федерации с учетом проведения превентивных мероприятий:

требующее проведения дополнительных (защитных) мероприятий;

$R_T > R_T^*$ – состояние безопасности людей на водных объектах территории субъекта Российской Федерации неудовлетворительное, требующее анализа причин высокого показателя риска и принятия решения о проведении необходимых организационно-технических мероприятий.

Подобное ранжирование водных объектов по степени опасности для населения можно провести на уровне муниципальных образований, входящих в состав субъекта Российской Федерации. Более того, данная методика позволяет ранжировать по степени опасности места массового пребывания людей на отдельном водном объекте муниципального образования субъекта Российской Федерации.

References

1. *Grazhdanskaya zashchita. EHnciklopedicheskij slovar'*. M.: DEHKS-PRESS. – 2005. – S. 404.
2. <http://politiklass.ru/skolko-stoit-chelovecheskaya-zhizn-v-rossii.html>.
3. *GOST R 22.10.02-2016 Bezopasnost' v chrezvychajnyh situacijah. Menedzhment riska chrezvychajnoj situacii. Dopustimyj risk chrezvychajnyh situacij*.
4. Oltyan I.YU., Korovin A.I. *Ocenka sostoyaniya zashchity naseleniya sub"ektov Rossijskoj Federacii ot chrezvychajnyh situacij prirodnoho i tekhnogennogo haraktera // Tekhnologii grazhdanskoj bezopasnosti*. M.: FGBU, 2016. – T. 13. – № 4(50).

RISK-ORIENTED APPROACH TO RANGING OF WATER OBJECTS AND TERRITORIES OF SUBJECTS OF THE RUSSIAN FEDERATION IN THE DEGREE OF HAZARDS TO THE POPULATION

The main task of this work is the application of a risk-oriented approach to the information content of standard security passports of the territories of the constituent entities of the Russian Federation and municipalities insofar as concerns the characteristics of water bodies. This technique allows you to rank by the degree of danger of the place of mass stay of people on a separate water body of the municipal entity of the subject of the Russian Federation.

Key words: *risk-oriented approach, ranking of water objects, places of mass stay of people, average life cost*

Большагин Алексей Юрьевич,

научный сотрудник,

Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России (Федеральный центр науки и высоких технологий),

Россия, Москва,

e-mail: vniigochs@vniigochs.ru

Bolshagin A.Y.,

researcher,

All-Russian Research Institute for Civil Defense and Emergencies of the Ministry of Emergencies of Russia (Federal Center for Science and High Technology),

Russia, Moscow.

СПОСОБ ИССЛЕДОВАНИЯ НЕФТИ И НЕФТЕПРОДУКТОВ МЕТОДОМ ЛЮМИНЕСЦЕНТНОГО АНАЛИЗА ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ ДИАГНОСТИКИ И ИДЕНТИФИКАЦИИ ЗАГРЯЗНЕНИЙ

Н.М. Елфимов, Ю.Н. Бельшина, А.В. Клейменов

Предложен новый способ отбора проб нефти и нефтепродуктов, на примере светлых моторных топлив, с помощью нанесения на подложку и их последующего люминесцентного анализа с поверхности. Рассмотрены различные образцы материалов, показано, что наиболее подходящими для данных целей являются фильтровальная бумага и микрофибра. При нанесении нефтепродуктов на микрофибру их можно обнаружить с помощью люминесцентного исследования поверхности образца даже через 39 дней. Отбор проб на подложку может осуществляться как впитыванием поверхностных загрязнений, так и путем помещения подложки на загрязненный нефтепродуктами или нефтью образец и постепенным капельным добавлением растворителя, например, гексана.

Ключевые слова: *загрязнения нефтепродуктами, чрезвычайные ситуации, люминесцентный анализ, отбор проб.*

Создание специализированных аналитических лабораторий, в рамках развития системы мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций для своевременного выявления опасности их распространения, является одной из приоритетных задач МЧС России. Успешная организация контроля развития и прогнозирования возникновения чрезвычайных ситуаций (ЧС) невозможна без постоянной модернизации существующих методик и применения новых подходов к использованию существующих естественнонаучных методов.

В средствах массовой информации постоянно появляются все новые сообщения об авариях на объектах нефтегазового комплекса, техногенных ЧС, связанных с разливом нефти и продуктов ее переработки, таких как светлые моторные топлива, что требует изучения последствий таких происшествий со всего арсенала современной аналитической химии. При исследовании нефти и нефтепродуктов может решаться целый круг задач. При прогнозировании распространения и мониторинге состояния загрязнений проводится количественное исследование отдельных компонентов, входящих в состав нефти и нефтепродуктов [1, 3, 5]. При решении вопросов об источнике возникновения нефтяных загрязнений проводится идентификационное исследование, при котором установление тождественности образцов проводится с помощью качественной обработки результатов, полученных с помощью комплекса аналитических методов [3, 8]. Наконец, при обнаружении на месте чрезвычайной ситуации образцов нефти и нефтепродуктов перед экспертами может ставиться вопрос об отнесении их к тому или другому виду [5, 7]. Все эти экспертные задачи предусматривают реализацию определенной схемы аналитического определения,

обязательными этапами которой являются отбор проб и последующая пробоподготовка для анализа. Повышенные требования к качеству получаемых результатов в случае проведения экспертных исследований требуют обеспечения высокой точности проведения всех процедур, исключая возможность возникновения ошибок. Наиболее проблемными в этом вопросе являются как раз этапы отбора и подготовки проб, большинство ошибок, потерь и загрязнений проб наблюдаются именно на этих этапах. В связи с этим при разработке новых методик особое внимание уделяется возможности исключения хотя бы одного из них из общей схемы аналитического определения.

Современные приборы люминесцентного анализа, широко применяемые при исследовании нефти и нефтепродуктов [1, 4, 7], позволяют с помощью приставок проводить исследование материалов вне кюветного отделения непосредственно на поверхности образцов [2, 8]. В настоящей работе была поставлена цель изучить возможность отбора проб нефти и нефтепродуктов с помощью различных текстильных, нетканых волокнистых и бумажных материалов (путем впитывания) для дальнейшего исследования с поверхности носителя люминесцентным методом. Такой подход позволит исключить необходимость подготовки экстрактов и, следовательно, ускорить процедуру анализа и исключить вероятность потери пробы на данном этапе.

В качестве объектов исследования в работе были рассмотрены различные моторные топлива: автомобильные бензины различных марок, дизельное топливо. Образцы наносили на различные подложки и оценивали возможность их исследования непосредственно на поверхности, а также сохранность образцов в течение длительного времени.

В качестве подложек в работе были рассмотрены обеззолненные бумажные фильтры (красная полоса), различные образцы тканей из хлопка и полиэстера, отличающиеся толщиной и структурой, а также микрофибра. Подложки нарезали на квадраты размеров 5x5 см, на каждую из них было нанесено по 1 мл различных нефтепродуктов. Исследование поверхностной люминесценции образцов проводилось ежедневно в течении 3 месяцев.

Спектры люминесценции в настоящей работе снимали на анализаторе Флюорат-02-Панорама с помощью приставки для люминесцентного анализа вне кюветного отделения «Лягушка».

В работе использовали два режима съемки, выбранные на основании проводимых ранее исследований, которые оказались наиболее информативными для исследования товарных нефтепродуктов, а именно режим сканирования по регистрации при длине волны возбуждения 250 нм

и режим синхронного сканирования со смещением 30 нм при диапазоне длин волн возбуждения от 240 до 480 нм. В первом случае для бензинов основная область флуоресценции нефтепродуктов находится в диапазоне от 320 до 460 нм и характеризуется четырьмя характеристическими максимумами, для дизельного топлива она смещена в коротковолновую область. В случае синхронного сканирования основная область люминесценции расположена для бензинов в диапазоне от 260 до 400 нм и характеризуется минимум шестью четкими максимумами, для дизельного топлива она также смещена в область до 350 нм, при этом количество максимумов не менее пяти.

Исследование исходных образцов (рисунок) показали, что все они обладают люминесцентными характеристиками, причем характер люминесценции для каждого образца свой (рисунок 1).

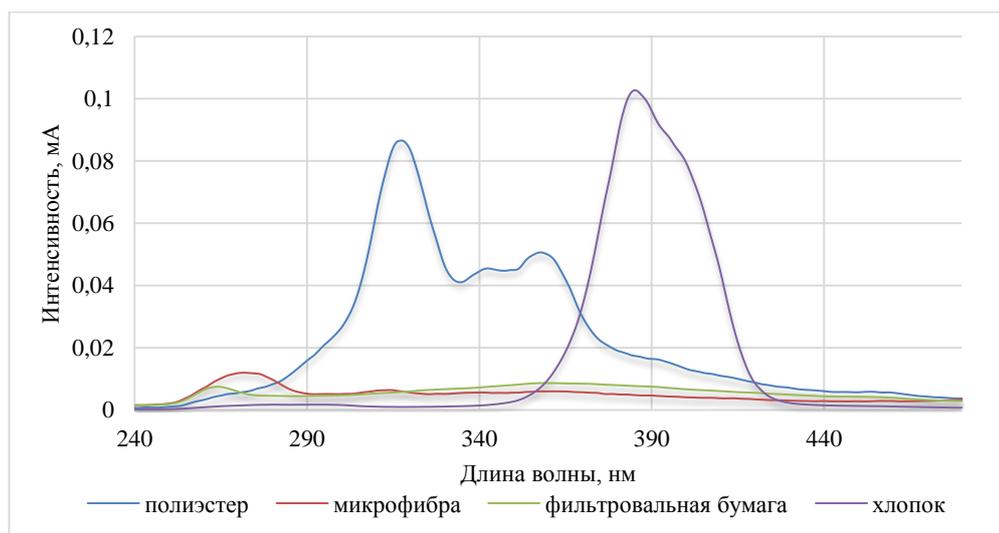


Рис. 1. Спектры люминесценции снятые в режиме синхронного сканирования исходных материалов, используемых в качестве подложки

Хлопчатобумажная ткань в своем составе зачастую содержит компоненты, экранирующие нефтепродукты. В чистом виде образцы хлопчатобумажной ткани всех рассмотренных в работе видов характеризовались интенсивной люминесценцией, при этом область ее проявления находилась в диапазонах длин волн, свойственных для светлых моторных топлив (340-430 нм). После нанесения на образцы бензинов и дизельного топлива различных марок характер люминесценции практически не менялся, что позволяет говорить о тушении люминесценции нефтепродуктов компонентами подложки. Ткани из полиэстера изначально характеризовались практически сплошным спектром люминесценции

во всех рассмотренных в работе диапазонах измерения. Привнесение товарных нефтепродуктов не приводило к существенному изменению характеристик люминесценции образцов. Таким образом, отбор проб на данные образцы тканей не позволяет проводить исследование непосредственно с поверхности без необходимости экстракции.

Исследование фильтровальной бумаги и микрофибры (рисунок 1) показало, что для них интенсивность люминесценции очень низкая. Нанесение на поверхность таких материалов образцов нефтепродуктов позволяло получить четкие спектры люминесценции, позволяющие диагностировать их присутствие.

Материал микрофибры среди рассмотренных в работе образцов подходит для отбора проб нефтепродуктов как нельзя лучше.

Во-первых, исходный материал характеризовался минимальной поверхностной люминесценцией. При нанесении на поверхность микрофибры нефтепродуктов полученные с поверхности спектры люминесценции качественно

были аналогично спектрам их растворов. Это позволило обнаружить видимые отличия характерные для разных типов рассмотренных в работе моторных топлив как при сканировании в режиме по регистрации, так и при синхронном сканировании. Так удалось выявить отличия для образцов бензинов разных марок (рисунки 2, 3).

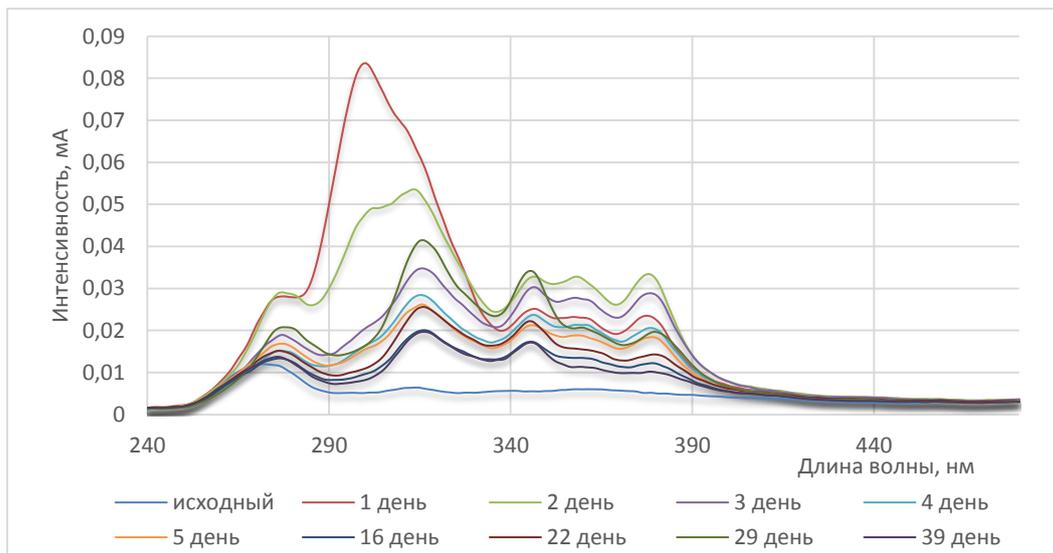


Рис. 2. Спектры люминесценции, полученные с поверхности микрофибры в режиме синхронного сканирования при нанесении на нее бензина АИ-95 фирмы «Neste oil»

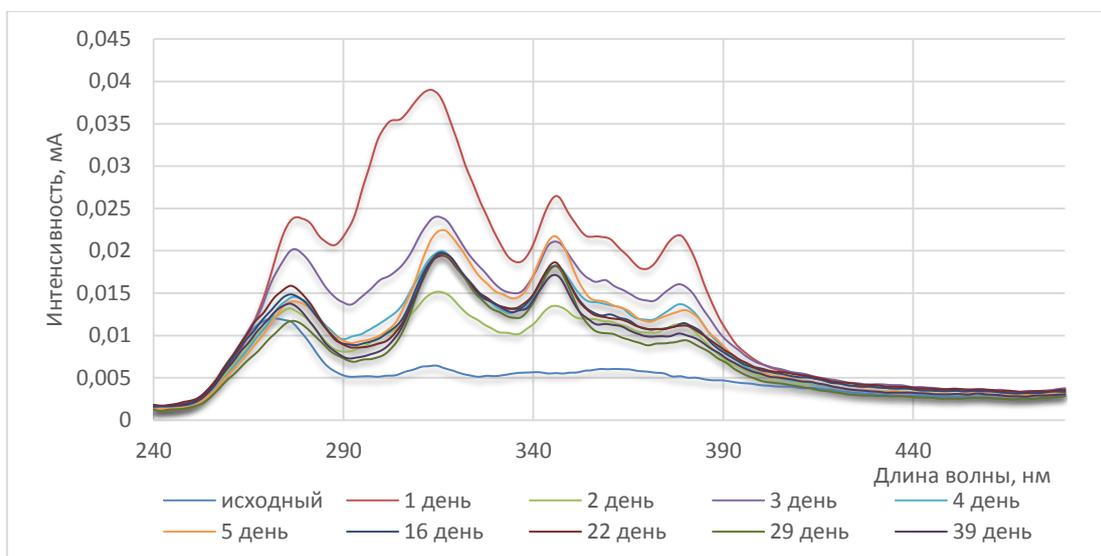


Рис. 3. Спектры люминесценции, полученные с поверхности микрофибры в режиме синхронного сканирования при нанесении на нее бензина АИ-98 фирмы «Neste oil»

Как видно на рисунках в режиме синхронного сканирования по относительной интенсивности пиков, количеству пиков и их положению на спектре наблюдаются четкие различия спектров, нанесенных на поверхность микрофибры бензином АИ-95 и АИ-98 фирмы «Neste oil». Дальнейшая обработка получаемых спектров путем дифференцирования позволяет выявить еще большее количество характерных

отличий, которые могут при выборе соответствующей меры установления сходства применяться для решения диагностических и идентификационных задач исследования данных нефтепродуктов, в том числе распределенных в сложных матрицах, например, на поверхности воды или в почве.

Кроме того, по полученным спектрам можно найти характеристические признаки

бензинов одной марки разных топливных компаний. Для примера на рисунках 4 и 5 приведены Спектры люминесценции, полученные с поверхности микрофибры в режиме по регистрации

при длине волны возбуждения 250 нм при нанесении на нее бензина АИ-95 фирмы «Shell» и «Neste oil».

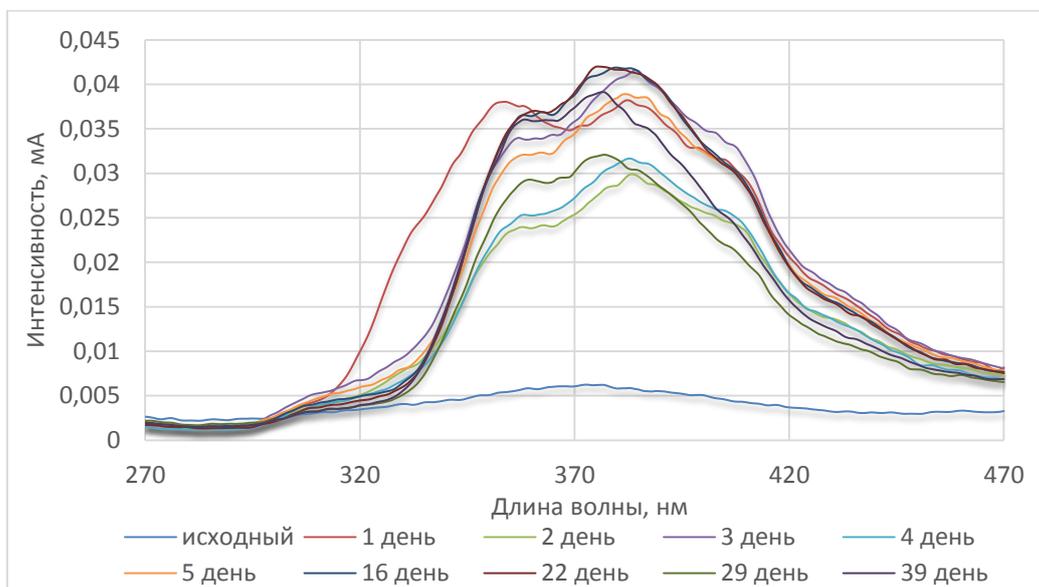


Рис. 4. Спектры люминесценции, полученные с поверхности микрофибры в режиме по регистрации при длине волны возбуждения 250 нм при нанесении на нее бензина АИ-95 фирмы «Shell»

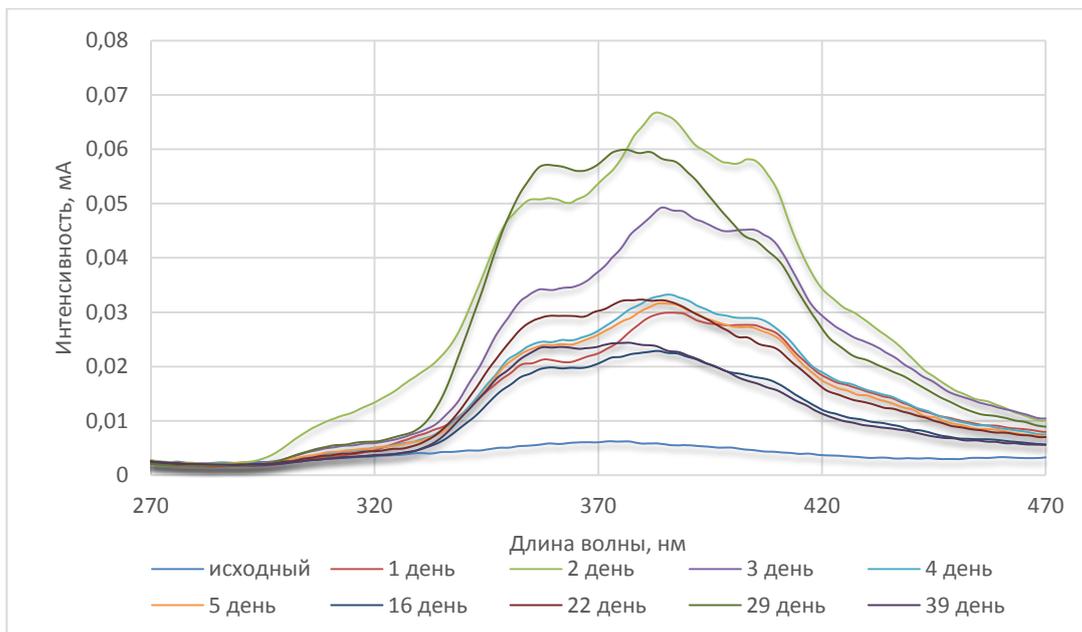


Рис. 5. Спектры люминесценции, полученные с поверхности микрофибры в режиме по регистрации при длине волны возбуждения 250 нм при нанесении на нее бензина фирмы «Neste oil»

Во-вторых, повторная съемка спектров в течении длительного времени показала, что на поверхности микрофибры образцы бензинов и дизельного топлива сохраняются и могут быть исследованы люминесцентным методом даже через 39 дней. Со временем меняется интенсивность получаемых спектров, тем не менее, характер спектров сохраняется и позволяет говорить о виде привнесенного моторного топлива. При

исследовании спектров получаемых на поверхности фильтровальной бумаги, отличительные признаки светлых моторных топлив разного типа и вида можно было зафиксировать только первые 5 суток, что говорит о плохой сохранности образцов на такой подложке.

Полученные результаты позволяют рекомендовать способ отбора пробы товарных нефтепродуктов с места происхождения с помощью

микрофибры (путем впитывания) для обеспечения ее сохранности и возможности дальнейшего исследования с помощью люминесцентного анализа ее поверхности. Применение данного способа отбора проб позволит избежать ошибок на стадиях пробоподготовки, а также существенно сократит время проведения анализа. Данное обстоятельство особенно важно при мониторинге нефтяных загрязнений на объектах нефтегазового комплекса, поскольку при нем требуется проведения значительного количества экспериментов. Отбор проб на подложку может осуществляться как впитыванием поверхностных загрязнений, так и путем помещения подложки на загрязненный нефтепродуктами или нефтью

образец и постепенным капельным добавлением растворителя, например, гексана. Последний способ схож с капельным люминесцентным анализом батунов, применяемым в геологии [3]. В настоящее время проводится исследование возможности данного материала для отбора проб нефтяных загрязнений с целью решения целого круга экспертных задач.

Кроме того, предлагаемый в работе подход к анализу светлых моторных топлив и других нефтепродуктов может применяться при проведении исследования в рамках пожарно-технической экспертизы, а также в рамках криминалистического исследования подобных объектов.

Библиографический список

1. Галишев М.А. Комплексная методика исследования нефтепродуктов, рассеянных в окружающей среде при анализе чрезвычайных ситуаций: Монография / Под общей редакцией В.С. Артамонова. СПб.: Санкт – Петербургский институт Государственной противопожарной службы МЧС России, 2004. – 157с.
2. Левшин Л.В., Салецкий А.М. Люминесценция и ее измерение: Молекулярная люминесценция. М.: Издательство МГУ, 1989. – 272 с.
3. Другов Ю.С., Родин А.А. Экологические анализы при разливах нефти и нефтепродуктов: практ. руководство. М.: Бином. Лаборатория знаний, 2009. – 270 с.
4. Ожегов Э.А., Дементьев Ф.А., Ловчиков В.А. Люминесцентные характеристики экстрактов полиядерных ароматических углеводородов для идентификации нефти // Научный Интернет-журнал «Технологии техноферной безопасности», ipb.mos.ru/ttb – 2013. – № 5.
5. Мартынов В.Ф., Бельшина Ю.Н. Разработка способа фракционного разделения нефти для решения задач диагностики и идентификации загрязнений // Проблемы управления риском в техносфере. – 2013. – № 1. – С.7-11.
6. Решетов А.А., Галишев М.А. Использование информационных ресурсов спектрального анализа путем представления графической информации в численном виде методом нелинейной аппроксимации функцией Лоренца // Вестник Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России. – 2013. – № 4. – С. 67-73.
7. Ожегов Э.А. Гадышев В.А., Щербаков О.В. Изучение возможности использования полиароматических углеводородов нефти для идентификации нефтяных загрязнений // Вестник Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России. – 2013. – № 2. – С.22-28.
8. Мартынов В.Ф., Бельшина Ю.Н. Исследование дизельного топлива методом тонкослойной хроматографии в экспертных целях // Вестник Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России. – 2012. – № 4. – С. 135-139.

References

1. Galishev M.A. Kompleksnaya metodika issledovaniya nefteproduktov. rasseyannykh v okruzhayushchey srede pri analize chrezvychaynykh situatsiy: Monografiya / Pod obshchey redaktsiyey V.S. Artamonova. SPb.: Sankt – Peterburgskiy institut Gosudarstvennoy protivopozharnoy sluzhby MChS Rossii. 2004. – 157s.
2. Levshin L.V., Saletskiy A.M. Lyuminestsentsiya i eye izmereniye: Molekulyarnaya lyuminestsentsiya. M.: Izdatelstvo MGU. 1989. – 272 s.
3. Drugov Yu.S., Rodin A.A. Ekologicheskiye analizy pri razlivakh nefiti i nefteproduktov: prakt. rukovodstvo. M.: Binom. Laboratoriya znaniy. 2009. – 270 s.
4. Ozhegov E.A., Demytyev F.A., Lovchikov V.A. Lyuminestsentnyye kharakteristiki ekstraktov poliyadernykh aromaticheskikh uglevodorodov dlya identifikatsii nefiti // Nauchnyy Internet-zhurnal «Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti». ipb.mos.ru/ttb – 2013. – № 5.
5. Martynov V.F., Belshina Yu.N. Razrabotka sposoba fraktsionnogo razdeleniya nefiti dlya resheniya zadach diagnostiki i identifikatsii zagryazneniy // Problemy upravleniya riskom v tekhnosfere. – 2013. – № 1. – С.7-11.
6. Reshetov A.A., Galishev M.A. Ispolzovaniye informatsionnykh resurov spektralnogo analiza putem predstavleniya graficheskoy informatsii v chislennom vide metodom nelineynoy approksimatsii funktsiyey Lorentsa // Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta GPS MChS Rossii. – 2013. – № 4. – S. 67-73.
7. Ozhegov E.A., Gadyshchev V.A., Shcherbakov O.V. Izucheniye vozmozhnosti ispolzovaniya poliaromaticheskikh uglevodorodov nefiti dlya identifikatsii nefityanykh zagryazneniy // Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta GPS MChS Rossii. – 2013. № 2. – S.22-28.
8. Martynov V.F., Belshina Yu.N. Issledovaniye dizelnogo topliva metodom tonkosloynoy khromatografii v ekspertnykh tselyakh // Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta GPS MChS Rossii. – 2012. – № 4. – S. 135-139.

METHOD OF RESEARCH OF OIL AND PETROLEUM PRODUCTS BY LUMINESCENT ANALYSIS DURING DECISION OF DIAGNOSTICS AND IDENTIFICATION OF POLLUTANTS

In this paper we propose a new method of selection about the used oil and petroleum products, for example, light motor fuels, by applying to a substrate and subsequent fluorescence analysis from a surface. Various samples of materials are considered, it is shown that the most suitable for this purpose are filter paper and microfiber. When depositing petroleum products on the microfiber, they can be detected by luminescent examination of the sample surface even after 39 days. Sampling to the substrate can be carried out either by absorbing surface contaminants, or by placing the substrate on a sample contaminated with oil or oil and by gradual dropwise addition of a solvent, for example hexane.

Keywords: oil products pollution, emergencies, luminescent analysis, sampling

Елфимов Николай Владимирович,

*адъюнкт факультета подготовки специалистов высшей квалификации,
ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России,
Россия, Санкт-Петербург,
e-mail: unk-ugps@mail.ru*

Elfimov N.V.,

*Adjunct of the faculty for training highly qualified specialists,
St.-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia,
Russia, St. Petersburg.*

Бельшина Юлия Николаевна,

*начальник кафедры криминалистики и инженерно-технических экспертиз,
к.т.н., доцент,
ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России,
Россия, Санкт-Петербург,
e-mail: unk-ugps@mail.ru*

Belshina Yu.N.,

*Head of the Department of Criminalistics and Engineering and Technical Expertise,
Ph.D., associate professor,
St.-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia,
Russia, St. Petersburg.*

Клейменов Андрей Владимирович

*Начальник управления технической политики и инновационной деятельности
Департамента развития нефтепереработки и нефтехимии
Дирекции нефтепереработки ООО «Газпромнефть»
доктор технических наук, профессор,
e-mail: aelitar@mail.ru.*

Kleimenov A.V.,

*Head of the Department of Technical Policy and Innovation Activity
Department of the development of oil refining and petrochemistry
Directorate of Oil Refining OOO Gazpromneft,
Ph.D., associate professor.*

СПОСОБ ИДЕНТИФИКАЦИИ НЕФТЕПРОДУКТОВ ПРИ РАССЛЕДОВАНИИ ПОДЖОГОВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ГАЗОХРОМАТОГРАФИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

А.Ю. Шнайдер, Ф.А. Дементьев, С.В. Шаранов

Проведен анализ возможности диагностики моторных топлив на основе результатов хроматографического анализа. Для предварительной оценки природы образца можно использовать отношение содержания различных классов соединений в составе товарных нефтепродуктов. На примере обработки результатов газохроматографического анализа бензинов АИ-92 различных топливных компаний, показано, что для идентификации товарных нефтепродуктов, а именно бензинов АИ-92, наиболее целесообразно сравнивать содержание ароматических соединений. Их количество не существенно зависит от правильности хранения проб, а их концентрация несет индивидуальную информацию об образце. Полученные результаты могут быть использованы при исследовании образцов бензинов, изымаемых с мест различных чрезвычайных ситуаций, а также при расследовании поджогов.

Ключевые слова: *товарные нефтепродукты, пожарно-техническая экспертиза, идентификация, ароматические соединения.*

Диагностика и идентификация горючих жидкостей, обнаруживаемых на месте пожара, остается одной из наиболее сложных задач при проведении экспертизы пожаров. Трудность решения данной задачи связана с изменением состава нефтепродуктов под действием высоких температур пожара, загрязнением их компонентами окружающей внешней обстановки. Кроме того, светлые моторные топлива, а именно их чаще всего используют злоумышленники для поджога, обладают схожим составом, что связано с единой технологией их изготовления. Конечно, производители добавляют в них с целью улучшения характеристик различных набор добавок и присадок, но тем не менее очень сложно выбрать единые критерии, по которым можно было бы проводить сравнительный анализ разных образцов. За последнее время ассортимент товарных нефтепродуктов значительно увеличился, что требует от экспертных организаций пополнения информации, создание новых или совершенствования существующих методик по качественному и количественному исследованию горючих жидкостей в рамках пожарно-технической экспертизы.

При исследовании нефтепродуктов в пожарно-технической экспертизе большинство методик базируются на хроматографических исследованиях. Данный метод давно зарекомендовал себя как наиболее информативный при исследовании светлых моторных топлив. Особенно это относится к газожидкостной хроматографии (ГЖХ) [1-7]. Тем не менее при использовании данного метода в экспертизе пожаров остается множество нерешенных вопросов, так до сих пор не понятно какие компоненты таких сложных по составу образцов могут являться наиболее полезными при решении

идентификационных задач. В литературе имеются работы, в которых в качестве таких компонентов предлагается использовать полиароматические соединения (ПАУ) [2], но их количество в светлых моторных топливах не позволяет уверенно обнаруживать их методом газохроматографического анализа, поэтому часто данный метод совмещают в комплексных методиках с методом люминесцентного анализа. Другие авторы предлагают при экспертном исследовании товарных нефтепродуктов проводить предварительное разделение компонентов с помощью колоночной хроматографии или на поверхности пластин для тонкослойной хроматографии с подсеющим исследованием разделившихся фракций. Такой подход несомненно позволяет увеличить количество информации о составе образцов, пригодной для решения идентификационных задач [1, 3].

В данном исследовании были поставлены две задачи, во-первых, изучить компонентный состав светлых моторных топлив разного вида с целью выбора критериев идентификации, во-вторых, проанализировать компонентный состав товарных нефтепродуктов одного вида разных фирм производителей, с той же целью.

При решении первой задачи, в качестве образцов для исследования были выбраны следующие топлива: бензины АИ-92 фирмы British Petroleum, АИ-95 British Petroleum, АИ-95 фирмы Газпром, АИ-98 British Petroleum и дизельное топливо фирмы Газпром.

Анализ проводился на газовом хроматографе Кристалл 5000.1 с капиллярной колонкой длиной 30 м и пламенно-ионизационным детектором. Хроматографический анализ позволяет однозначно отличить разные типы нефтепродуктов, но при этом остается

затруднительным однозначно отличить бензины с разным значением октанового числа. Основными критериями различия АИ-92, АИ-95 и АИ-98 является содержание аренов и метилтретбутилового эфира, то есть соединений,

определяющих величину октанового числа. Для наглядности показатели, характеризующие компонентный состав различных моторных топлив были сведены в единую таблицу 1.

Таблица 1

Показатели, характеризующие компонентный состав различных моторных топлив

	АИ-92 British Petroleum	АИ-95 British Petroleum	АИ-95 Газпром	АИ-98 British Petroleum	ДТ Газпром
н-алканы	24,17	17,59	5,28	11,58	68,61
и-алканы	0,09	0,12	0,07	0,07	15,03
арены	69,77	71,08	80,22	73,26	16,36
МТБЭ	3,98	10,98	12,76	14,02	0,00

Таким образом, по результатам ГЖХ можно диагностировать различные типы нефтепродуктов. В стандартных методиках газохроматографического исследования нефти, применяемых для диагностических и идентификационных целей, большое значение имеет соотношение между нечетными и четными гомологами в составе высокомолекулярных н-алканов (коэффициент нечетности), соотношение между важнейшими изопреноидными алканами (пристан/фитан), а также совместное распределение пристана и фитана с ближайшими элюируемыми на хроматограммах н-алканами (н-С17 и н-С18) [1,2]. При решении задач идентификации товарных нефтепродуктов такая методика не подходит. Требуется разработка иных подходов, позволяющих проводить сравнение по критериям, рассчитанным на содержании характерных для большинства их них компонентов.

Проведенные исследования показали, что многие из перечисленных критериев идентификации в случае бензинов и дизельных топлив не эффективны, низкое содержание изо-алканов, отсутствие в ряде случаев фитана и

пристана, неэффективность применения ГЖХ для оценки содержания ПАУ не позволяют использовать все перечисленные выше критерии. Для решения этой задачи можно использовать отношение содержания различных классов соединений в составе товарных нефтепродуктов (таблица 2). Данные представленные в таблице для наглядности были визуализированы в виде графических построений (рисунок 1).

В составе бензинов преобладают ароматические соединения, их набор и количественное содержание для каждого образца индивидуально. Как известно в теории криминалистического исследования веществ материалов и изделий для идентификации число реперных точек должно быть не менее 7. Изучение группового содержания соединений различного класса в составе изученных образцов позволяет предварительно оценить природу образца, диагностировать его, для идентификации требуется большее количество идентификационных показателей.

Таблица 2

Показатели, характеризующие относительное содержание различных компонентов моторных топлив

Критерий	АИ-92 British Petroleum	АИ-95 British Petroleum	АИ-95 Газпром	АИ-98 British Petroleum	ДТ Газпром
н-алканы/и-алканы	260,26	150,99	158,71	74,82	4,57
алканы/арены	0,35	0,25	0,16	0,07	5,11
алканы/МТБЭ	6,10	1,61	0,83	0,42	

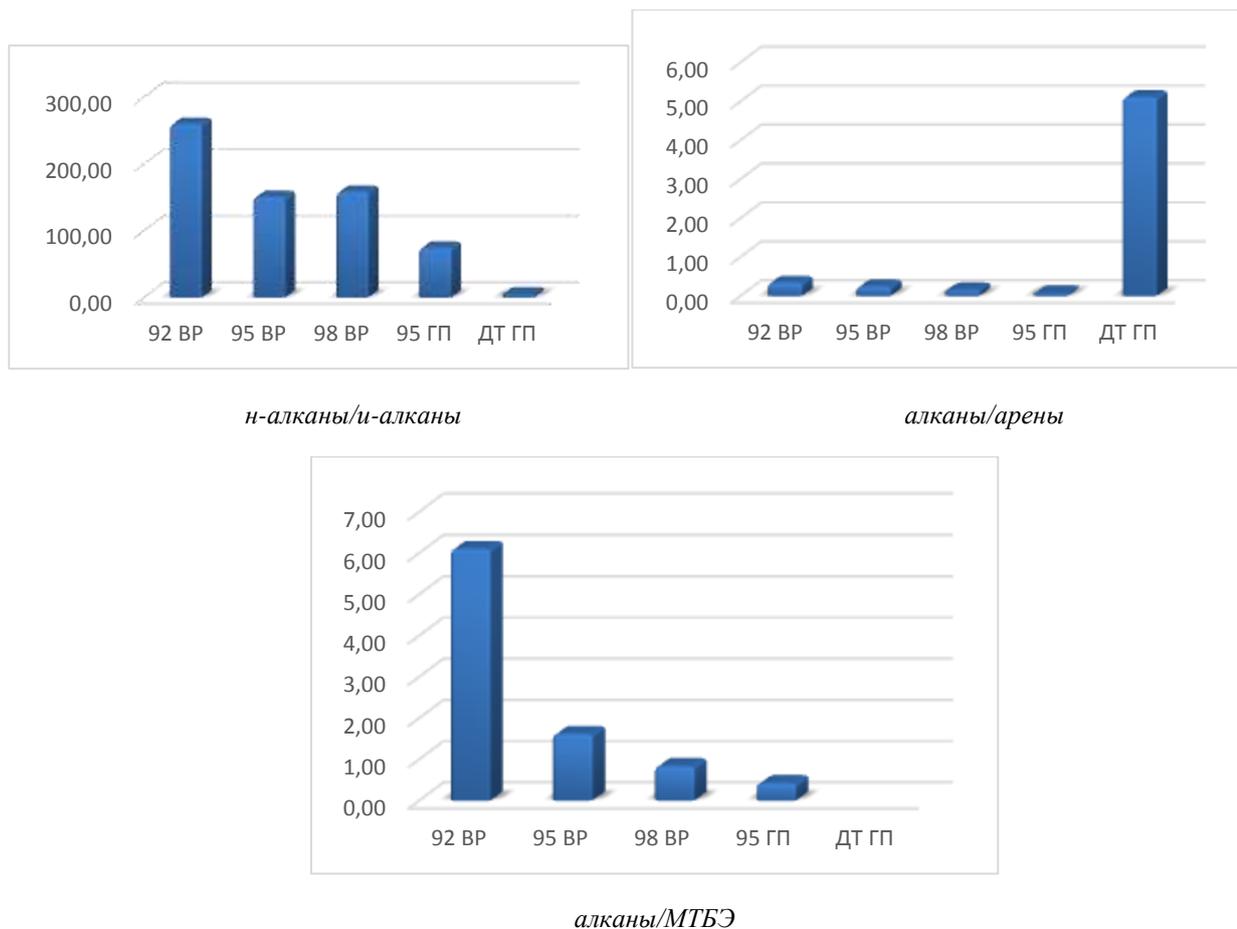


Рис. 1. Графическое построение относительных содержаний соединений различных классов, в составе рассмотренных в работе товарных нефтепродуктов.

Затем в рамках второй поставленной задачи была изучена возможность использования для целей идентификации количественное содержание отдельных компонентов. В качестве исследуемых образцов при решении данной задачи были рассмотрены автомобильные бензины марки АИ-92 разных производителей Роснефть, Сигма Шанс, Лукойл, Сургутнефтегаз, ПТК.

Для выбора наиболее подходящих соединений должен содержаться в большинстве образцов. Кроме того, для идентификации образцов не следует основываться на легколетучих компонентах, содержание которых в образце очень сильно зависит от правильности отбора, упаковки и хранения образцов. Например, в двух образцах практически не содержится метилтетрабутилового эфира. Как известно октановое число спиртов больше, чем у других органических соединений, однако они характеризуются низкой теплотой сгорания, коррозионностью, высокой теплотой испарения и гигроскопичностью, что не позволяет использовать их в моторных топливах. Производные спиртов (метилтетрабутиловый эфир,

диметилловый эфир) лишены этих недостатков, поэтому производители бензина добавляют эфиры для увеличения октанового числа. Конечно, можно предположить, что бензин АИ-92 Лукойл изначально практически не содержит эфира, а в бензине АИ-92 Сургутнефтегаз его вообще не было, но данное обстоятельство может быть и следствием негерметично закрытой тары, тем более что в данных образцах и легколетучих алканов также меньше, чем в других. Для решения идентификационных задач целесообразно использовать более тяжелые компоненты, поэтому была изучена возможность идентификации бензинов по составу содержащихся в них ароматических соединений (таблица 3).

Полученные результаты для наглядности лучше представить в виде графических построений – зависимостей времени удерживания компонента от его концентрации. Сравнить полученные зависимости можно любым существующим способом, например, с помощью евклидова расстояния. Но уже с помощью визуального сравнения заметна существенная разница (рисунок 2).

Таблица 3

Значение концентраций ароматических соединений разных бензинов по результатам хроматографического анализа

№ п/п	Компонент	АИ-92 Роснефть	бензина АИ-92 Сигма Шанс	АИ-92 Лукойл	АИ-92 Сургутнефтегаз	АИ-92 ПТК
1	бензол	0,72	1,84	1,75	1,04	2,50
2	толуол	28,27	22,74	17,18	20,00	24,20
3	этилбензол	0	4,00	3,14	3,08	3,76
4	м,п-ксилол	17,84	15,98	14,18	20,34	21,94
5	о-ксилол	6,17	5,89	4,96	0,03	0
6	и-пропилбензол	0,05	0	0,00	6,93	8,70
7	пропилбензол	0,03	4,21	0,94	0,04	0
8	1-метил-3(4)-этилбензол	6,65	9,67	10,48	0,68	2,47
9	1,3,5-триметилбензол	7,84	4,79	2,64	10,30	10,39
10	1-метил-2-этилбензол	2,12	2,34	1,05	7,04	0
11	1,2,4 триметилбензол	11,98	10,23	7,84	16,88	0,94
12	1,2,3-триметилбензол	1,90	1,78	2,67	3,49	5,65
13	1,2-диметил-4-этилбензол	0,25	0,67	3,15	1,33	2,68
14	1,2,4,5-тетраметилбензол	0,94	0,86	2,81	0,55	1,56
15	1,2,3,5-тетраметилбензол	0,33	1,10	3,29	0,29	0,61

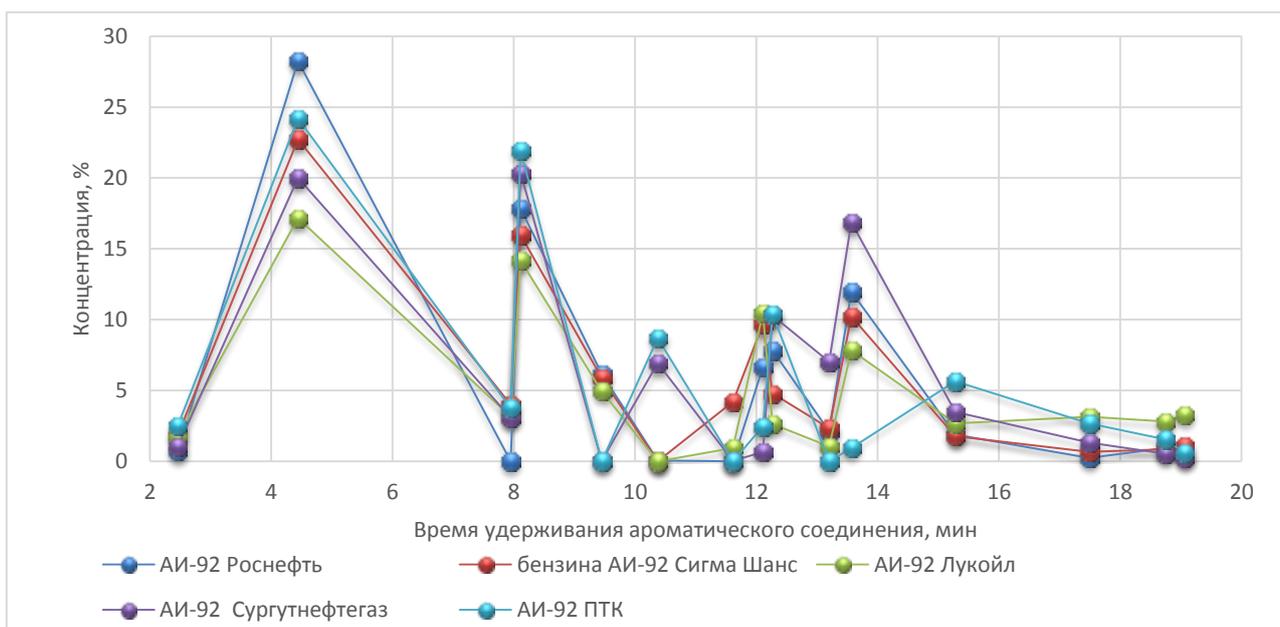


Рис. 2. Визуализация зависимости времени удерживания ароматических соединений от концентрации для исследованных в работе бензинов АИ-92

Таким образом, проведенный анализ показал, что для идентификации товарных нефтепродуктов, а именно бензинов АИ-92, наиболее целесообразно сравнивать содержание ароматических соединений. Их количество не так зависит от правильности хранения проб, они лучше

сохранятся, а их относительное содержание несет индивидуальную информацию об образце. Полученные результаты могут быть использованы при исследовании образцов бензинов, изымаемых с мест различных чрезвычайных ситуаций, а также при расследовании поджогов.

Библиографический список

1. Бельшина Ю.Н., Мартынов В.Ф. Разработка способа фракционного разделения нефти для решения задач диагностики и идентификации загрязнений // Проблемы управления риском в техносфере. – 2013. – № 1.
2. Акимов А.Л., Бельшина Ю.Н., Дементьев Ф.А. Исследование ароматических углеводородов в качестве идентификационных признаков нефтяного загрязнения // Вестник Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России. – 2011. – № 3.
3. Мартынов В.Ф., Бельшина Ю.Н. Исследование дизельного топлива методом тонкослойной хроматографии в экспертных целях // Вестник Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России. – 2012. – № 4.
4. Ожегов Э.А., Дементьев Ф.А., Ловчиков В.А. Люминесцентные характеристики экстрактов полиадерных ароматических углеводородов для идентификации нефти // Научный Интернет-журнал «Технологии техносферной безопасности», ipb.mos.ru/ttb – 2013. – № 5.
5. Другов, Ю.С. Газохроматографическая идентификация загрязнений воздуха, воды и почвы / Ю.С. Другов, А.А. Родин. – СПб.: Тега, 2001. – 624 с.
6. Митричев В.С., Хрусталева В.Н. Основы криминалистического исследования материалов, веществ и изделий из них. – СПб.: Питер, 2003. – 591с.
7. Галишев, М.А. Комплексная методика исследования нефтепродуктов, рассеянных в окружающей среде при анализе чрезвычайных ситуаций / Под ред. В.С. Артамонова. – СПб.: СПб Институт ГПС МЧС России, 2004. – 166 с.

References

1. Belshina Yu.N., Martynov V.F. *Razrabotka sposoba fraktsionnogo razdeleniya nefiti dlya resheniya zadach diagnostiki i identifikatsii zagryazneniy* // *Problemy upravleniya riskom v tekhnosfere*. 2013. № 1.
2. Akimov A.L., Belshina Yu.N., Demytyev F.A. *Issledovaniye aromaticheskikh uglevodorodov v kachestve identifikatsionnykh priznakov neftyanogo zagryazneniya* // *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta GPS MChS Rossii*. – 2011. – № 3.
3. Martynov V.F., Belshina Yu.N. *Issledovaniye dizelnogo topliva metodom tonkosloynoy khromatografii v ekspertnykh tselyakh* // *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta GPS MChS Rossii*. – 2012. – № 4.
4. Ozhegov E.A., Demytyev F.A., Lovchikov V.A. *Lyuminestsentnyye kharakteristiki ekstraktov poliyadernykh aromaticheskikh uglevodorodov dlya identifikatsii nefiti* // *Nauchnyy Internet-zhurnal «Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti»*. ipb.mos.ru/ttb – 2013. – № 5.
5. Drugov Yu.S. *Gazokhromatograficheskaya identifikatsiya zagryazneniy vozdukha, vody i pochvy* / Yu.S. Drugov, A.A. Rodin. - SPb.: Teza. – 2001. – 624 s.
6. Mitrichev V.S., Khrustalev V.N. *Osnovy kriminalisticheskogo issledovaniya materialov, veshchestv i izdeliy iz nikh*. – SPb.: Piter. 2003. – 591s.
7. Galishev, M.A. *Kompleksnaya metodika issledovaniya nefteproduktov, rasseyannykh v okruzhayushchey srede pri analize chrezvychaynykh situatsiy* / Pod red. V.S. Artamonova. – SPb.: SPb Institut GPS MChS Rossii. – 2004. – 166 s.

METHOD OF IDENTIFICATION OF OIL PRODUCTS OBTAINED ON THE FIELD OF FIRE BY RESULTS OF A GAS-CHROMATOGRAPHIC ANALYSIS

The paper analyzes the possibility of diagnosing motor fuels based on the results of chromatographic analysis. For a preliminary assessment of the nature of the sample, a certain number of classes in the composition of commercial petroleum products can be used. On the example of processing the results of gas chromatographic analysis of gasoline AI-92 of various fuel companies, it is shown that in order to identify commercial petroleum products, namely gasolines AI-92, it is most expedient to compare the content of aromatic compounds. Their number does not significantly depend on the correct storage of samples, and their concentration carries individual information about the sample. The obtained results can be used in the study of gasoline samples taken from various emergency situations, as well as in the investigation of arson.

Keywords: commercial petroleum products, fire-technical expertise, identification, aromatic compounds.

Шнайдер Антон Юрьевич,

аспирант факультета подготовки специалистов высшей квалификации,
ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России,
e-mail: unk-ugps@mail.ru,

Schneider A.Yu.,

postgraduate student of the faculty of training highly qualified specialists,
St.-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia,
Russia, St. Petersburg.

Дементьев Федор Алексеевич,

доцент кафедры криминалистики и инженерно-технических экспертиз,
к.т.н.,

ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России,
e-mail: unk-ugps@mail.ru,

Dementiev F.A.,

Associate Professor of the Department of Criminalistics and Engineering and Technical Expertise,
Cand. of Tech. Sci.,
St.-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia,
Russia, St. Petersburg.

Шарапов Сергей Владимирович,

профессор кафедры криминалистики и инженерно-технических экспертиз,
д.т.н., профессор,

ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России,
e-mail: unk-ugps@mail.ru,

Sharapov S.V.,

Professor of the Department of Criminalistics and Engineering and Technical Expertise,
Doc. of Tech. Sci., professor,
St.-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia,
Russia, St. Petersburg.

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

1. Статьи в редакцию предоставляются в отпечатанном (1 экземпляр) виде. Отпечатанный экземпляр должен быть подписан всеми авторами; также на первой странице отпечатанного экземпляра просим указывать раздел, в котором должна быть опубликована статья (перечень разделов можно посмотреть на сайте журнала). Файл с электронным вариантом должен быть назван по фамилиям авторов статьи.

2. К статье необходимо приложить рецензию (заверенную печатью) специалиста в данной области исследования с указанием научной степени, звания, места работы и должности рецензента.

3. Рукопись объемом не менее 2-х страниц формата А4, отпечатанных в текстовом редакторе MS Word шрифтом Times New Roman высотой 10 пт. через один интервал. Поля: верхнее и нижнее – 2,5 см, правое и левое – 2 см. Текст рукописи располагают в одну колонку; опция «разрыв раздела» может использоваться исключительно для создания альбомных страниц.

4. Обязательным элементом статьи является индекс УДК (указывается на первой странице).

5. На первой странице приводятся сведения об авторах: фамилия, имя и отчество (полностью), место работы (организация и подразделение), занимаемая должность, ученая степень, ученое звание, телефон и e-mail каждого из соавторов.

6. Важными элементами статьи являются аннотация и ключевые слова. Аннотация (не менее 600 знаков с пробелами) должна в сжатой форме, но достаточно полно отражать содержание статьи, не повторяя при этом ее название. Аннотация может кратко повторять структуру статьи: указывается задача исследования, ее актуальность, описываются полученные результаты и сделанные выводы.

7. В список ключевых слов необходимо включить все понятия, значимые для выражения содержания статьи и для ее поиска.

8. На последнем листе приводятся сведения об авторах, аннотация и ключевые слова на английском языке.

9. Изложение материала должно быть ясным, логически выстроенным. Логические элементы статьи должны быть выделены заголовками: Введение (~0,5 страницы), Выводы (~0,5 страницы), другие элементы – пункты и, возможно, подпункты (например: «Теоретическое обоснование построения анизотропных поверхностей стоимости», «Алгоритм построения анизотропных поверхностей накопленной стоимости», «Анализ характера разрушения опытных образцов», «Расчет прочности тела фундамента»).

10. Графики, рисунки и фотографии монтируются в тексте после первого упоминания о них. Буквы и цифры на рисунке должны быть разборчивы, оси на графиках подписаны. Рисунки и фотографии следует представлять в черно-белом варианте; они должны иметь хороший контраст и разрешение. Избегайте тонких линий в графиках. Рисунки в виде ксерокопий из книг и журналов, а также плохо отсканированные не принимаются. Название иллюстраций дается под ними после слова «Рис.» с порядковым номером. Если рисунок в тексте один, номер не ставится.

11. Подрисуночные подписи не входят в состав рисунка, а располагаются отдельным текстом под иллюстрацией. Если на рисунке вводятся новые (ранее не встречавшиеся в тексте) обозначения, они должны быть расшифрованы в подрисуночной подписи; также здесь поясняются элементы, обозначенные на рисунке цифрами. Рекомендуемая ширина рисунков не более 7,5 см.

12. Слово «Таблица» с порядковым номером размещается по правому краю. На следующей строке приводится название таблицы (выравнивание по центру без отступа) без точки в конце. Единственная в статье таблица не нумеруется.

13. Используемые в работе термины, единицы измерения и условные обозначения должны быть общепринятыми. Все употребляемые авторами обозначения (за исключением общеизвестных констант типа e , h , c и т. п.) и аббревиатуры должны быть пояснены при их первом упоминании в тексте.

14. Все формулы должны быть набраны в редакторе формул MathType шрифтом высотой 10 пт. Пояснения к формулам (экспликация) должны быть набраны в подбор (без использования красной строки). Латинские обозначения набираются курсивом, названия функций (\sin , \cos , \exp) и греческие буквы – обычным (прямым) шрифтом. Формулы нумеруют в круглых скобках – (2).

15. Ссылки на литературные источники в тексте заключаются в квадратные скобки [1]. Библиографический список приводится после текста статьи в соответствии с требованиями ГОСТ 7.1-2003 в алфавитном порядке или по порядку упоминания источников в тексте. Собственные работы авторов должны быть представлены в списке наравне с работами других ученых, внесших вклад в исследование данной темы. Одна позиция в списке должна содержать только один источник, не допускается объединение в одной ссылке нескольких источников. При цитировании зарубежных изданий, не переведенных на русский язык, ссылка приводится на языке оригинала; категорически не допускается оформление ссылки в виде самостоятельно сделанного перевода.

16. Автор несет ответственность за научное содержание статьи и гарантирует оригинальность представляемого материала.

17. Высылая рукопись, автор гарантирует, что:

- он не публиковал (кроме публикации статьи в виде препринта) и не будет публиковать статью в объеме более 25 % в других печатных или электронных изданиях;

- статья содержит все предусмотренные действующим законодательством об авторском праве ссылки на цитируемых авторов и издания, а также используемые в статье результаты и факты, полученные другими авторами или организациями;
 - статья не включает материалы, не подлежащие опубликованию в открытой печати, в соответствии с действующими нормативными актами.
18. Высылая рукопись, автор соглашается с тем, что редакция журнала имеет право:
- предоставлять материалы научных статей в российские и зарубежные организации, обеспечивающие индексы научного цитирования;
 - производить сокращения и редакционные изменения текста рукописи.
19. Автор также соглашается с тем, что рукописи статей авторам не возвращаются и вознаграждение (гонорар) за опубликованные статьи не выплачивается.
20. Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается.
21. Редакция поддерживает связь с авторами преимущественно через электронную почту – будьте внимательны, указывая адрес для переписки.

**Материалы предоставляются по адресу:
Россия, 394052, г. Воронеж, ул. Краснознаменная, 231, к. 1214
ФГБОУ ВО Воронежский институт ГПС МЧС России,
Редакция журнала «Вестник Воронежского института ГПС МЧС России»,
тел.: (473) 242-12-63; e-mail: vestnik_vi_gps@mail.ru**