

2-2017

**ПОЖ** Издательство  
**НАУКА**

**ПОЖАРОВЗРЫВО-**

# БЕЗОПАСНОСТЬ



НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ISSN 0869-7493

**КОМПЛЕКСНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ**

пожарная • промышленная • производственная • экологическая

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА  
НАЗЕМНОЙ РЕГИСТРАЦИИ  
СОСТОЯНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ  
ВОЗДУШНОГО СУДНА



23-я Международная выставка  
технических средств охраны  
и оборудования для обеспечения  
безопасности и противопожарной защиты



**securika**  
Moscow



Москва

21–24  
марта  
2017

ЦВК «Экспоцентр»

РЕКЛАМА



Видеонаблюдение



Контроль  
доступа



Охрана  
периметра



Противопожарная  
защита



Сигнализация  
и оповещение



Автоматизация  
зданий



Организатор  
Группа компаний ITE  
+7 (495) 935-73-50  
security@ite-expo.ru

[securika-moscow.ru](http://securika-moscow.ru)

Получите бесплатный электронный  
билет, указав промо-код

**sec17pNYNA**



# СОДЕРЖАНИЕ

# CONTENTS

<b>ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ</b>		<b>GENERAL QUESTIONS OF FIRE SAFETY</b>
ОНОВ В. А., ОСТУДИН Н. В., САФОНОВ Д. П., ИВАНОВ А. Ю. Модель информационной поддержки принятия решения при оценке деятельности сотрудников МЧС России	5	ONOV V. A., OSTUDIN N. V., SAFONOV D. P., IVANOV A. Yu. Model of information support of decision-making in assessing of the activity of the Russian Emergencies Ministry employees
<b>ОГНЕСТОЙКОСТЬ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ</b>		<b>FIRE-RESISTANCE OF BUILDING CONSTRUCTIONS</b>
САВИН С. Н., ДАНИЛОВ И. Л. Экспериментальное обоснование мероприятий по совершенствованию проектных решений строительных конструкций зданий и сооружений АЭС	14	SAVIN S. N., DANILOV I. L. Experimental justification of actions for improvement of design solutions of building constructions of the nuclear power plant
<b>ОГНЕЗАЩИТА</b>		<b>FIRE RETARDANCE</b>
АНОХИН Е. А., ПОЛИЩУК Е. Ю., СИВЕНКОВ А. Б. Применение огнезащитных пропиточных композиций для снижения пожарной опасности деревянных конструкций с различными сроками эксплуатации	22	ANOKHIN E. A., POLISHCHUK E. Yu., SIVENKOV A. B. Use of fire-retardant impregnating compositions for reducing fire hazard of wooden structures of various lifetimes
<b>МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЖАРОВ</b>		<b>FIRE MODELING</b>
ПУЗАЧ С. В., НГУЕН ТАТ ДАТ Экспериментально-теоретический подход к расчету концентраций монооксида углерода и показателя токсичности при пожаре в условно герметичном помещении	36	PUZACH S. V., NGUYEN TAT DAT Experimental and theoretical approach for calculation of carbon monoxide concentration and toxicity index during fire in conventionally hermetic room
АБДУЛАЛИЕВ Ф. А., ИВАНОВ А. В., УЛЬЯНОВСКИЙ А. А. Вероятностный подход к моделированию развития пожара на открытых территориях с применением перколяционного процесса и функции нейронной сети	44	ABDULALIEV F. A., IVANOV A. V., ULYANOVSKIY A. A. Probabilistic approach to the modeling of fire development on open land by the use percolation process and function of the neural network
<b>ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ЗДАНИЙ, СООРУЖЕНИЙ, ОБЪЕКТОВ</b>		<b>FIRE SAFETY OF BUILDINGS, STRUCTURES, OBJECTS</b>
ИВАНОВ А. Ю., МАЛЫГИН И. Г., КОМАШИНСКИЙ В. И. Информационная система наземной регистрации состояния безопасности воздушного судна	54	IVANOV A. Yu., MALYGIN I. G., KOMASHINSKIY V. I. Information system for land registration state aircraft safety
ЧЕРЕПАНОВ Д. А., ЕРМАКОВ А. С. Экспертная оценка пожарного риска для кемпинга с применением матрицы последствий и вероятностей	62	CHEREPANOV D. A., ERMAKOV A. S. Expert fire risk assessment camping with the use of a matrix of consequences and probability
<b>СТАТИСТИКА И АНАЛИЗ ПОЖАРОВ</b>		<b>STATISTIC AND ANALYZE OF FIRE</b>
БРУШЛИНСКИЙ Н. Н., СОКОЛОВ С. В., ГРИГОРЬЕВА М. П. Анализ основных пожарных рисков в странах мира и в России	72	BRUSHLINSKIY N. N., SOKOLOV S. V., GRIGORYEVA M. P. Major fire risks analysis in the countries of the world and in Russia
<b>ВОПРОС – ОТВЕТ</b>	81	<b>QUESTION – ANSWER</b>

Журнал издается с 1992 г., периодичность выхода – 12 номеров в год.

СМИ зарегистрировано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций – свидетельство ПИ № ФС77-43615 от 18 января 2011 г.

Журнал включен в перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, рекомендованных ВАК России для публикации трудов соискателей ученых степеней, в Реферативный журнал и базы данных ВИНТИ РАН, в базу данных Российского индекса научного цитирования (РИНЦ), в базу данных Russian Science Citation Index на платформе Web of Science. Сведения о журнале ежегодно публикуются в Международной справочной системе по периодическим и продолжающимся изданиям "Ulrich's Periodicals Directory". Переводные версии статей журнала входят в Международный реферативный журнал "Chemical Abstracts".

Перепечатка материалов журнала "Пожаровзрывобезопасность" только по согласованию с редакцией. При цитировании ссылка обязательна. Авторы и рекламодатели несут ответственность за содержание представленных в редакцию материалов и публикацию их в открытой печати. Мнение редакции не всегда совпадает с мнением авторов опубликованных материалов.



Проектные решения по обеспечению защиты АЭС

**Председатель Редакционного совета:**

**Корольченко А. Я.**, д. т. н., профессор,  
академик МАНЭБ (Россия)

**Зам. председателя  
Редакционного совета:**

**Мольков В. В.**, д. т. н., профессор (Великобритания)

**Редакционный совет:**

**Барбин Н. М.**, д. т. н., профессор (Россия)

**Брушлинский Н. Н.**, д. т. н., профессор, академик РАЕН,  
заслуженный деятель науки РФ (Россия)

**Корольченко Д. А.**, к. т. н., академик МАНЭБ (Россия)

**Пузач С. В.**, д. т. н., профессор, член-корреспондент  
НАНПБ (Россия)

**Ройтман В. М.**, д. т. н., профессор, академик НАНПБ  
и ВАНКБ, член-корреспондент Академии архитектурного  
наследия (Россия)

**Серков Б. Б.**, д. т. н., профессор, действительный член  
НАНПБ (Россия)

**Тамразян А. Г.**, д. т. н., профессор,  
действительный член ВАНКБ (Россия)

**Топольский Н. Г.**, д. т. н., профессор, академик РАЕН  
и НАНПБ, заслуженный деятель науки РФ (Россия)

**Холщевников В. В.**, д. т. н., профессор, академик  
и почетный член РАЕН, заслуженный работник высшей  
школы РФ (Россия)

**Шебеко Ю. Н.**, д. т. н., профессор, действительный член  
НАНПБ (Россия)

**Шилдс Т. Дж.**, профессор (Великобритания)

**Редакция:**

Главный редактор **Корольченко А. Я.**

Шеф-редактор **Соколова Н. Н.**

Редактор **Крылова Л. В.**

**Учредитель —**

**ООО "Издательство "ПОЖНАУКА"**

Тел./факс: (495) 228-09-03, 8 (909) 940-01-85.

Адрес редакции:

121357, Россия, г. Москва, ул. Вересаева, д.10.

Адрес для переписки:

121352, Россия, г. Москва, а/я 43.

E-mail: info@fire-smi.ru, mail@firepress.ru,

www.fire-smi.ru, www.firepress.ru.

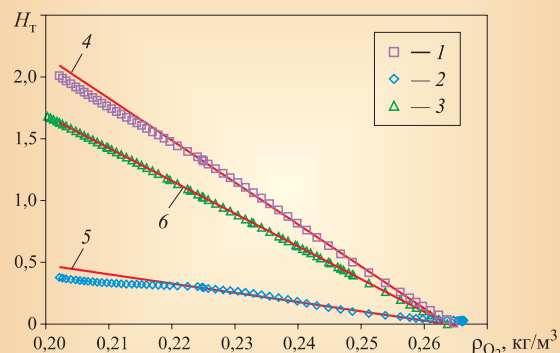
Подписано в печать 15.02.2017. Выход в свет 27.02.2017.

Формат 60x84 1/8. Тираж 2000 экз.

Бумага мелованная матовая. Печать офсетная.

Отпечатано в типографии ООО "ДИАЛОГ"

(125315, г. Москва, Ленинградский просп., д. 80, корп. Г).



Стр. 14

Стр. 36

Расчет показателя токсичности при пожаре в помещении



Прогнозирование пожара на открытых территориях

Стр. 44



Регистрация состояния безопасности воздушного судна

Стр. 54

Стр. 72



Анализ основных пожарных рисков в странах мира

**Founder:**

“POZHNAUKA” Publishing House, Ltd.

**Editorial Staff:**

Editor-in-Chief **Korolchenko A. Ya.**

Editorial director **Sokolova N. N.**

Editor **Krylova L. V.**

**Address of Editorial Staff:**

Veresaeva St., 10, Moscow,  
121357, Russia.

Post office box 43,  
Moscow, 121352, Russia.

Phone/Fax: (495) 228-09-03,  
8 (909) 940-01-85

E-mail: info@fire-smi,  
mail@firepress

Website: www.fire-smi.ru,  
www.firepress.ru

“Pozharovzryvobezопасnost” (“Fire and Explosion Safety”) is included in List of periodical scientific and technical publication of the Russian Federation, what are recommended for publishing the main results of competitors for doctoral degree by VAK, in Abstracting Journal VINITI Database RAS and in Russian Science Citation Index. Information about the journal is annually published in “Ulrich’s Periodicals Directory”.

Translate version of articles “Fire and Explosion Safety” is included in Chemical Abstract Service (CAS).

No part of this publication may be used or reproduced in any form or by any means without the prior permission of the Publishers.

Reproducing any part of this material a reference to the journal is obligatory.

Authors and advertisers account for contents of given papers and for publishing in the open press. Opinion of Editorial Staff not always coincides with Author’s opinion.

Signed for printing 15.02.2017

Date of publication 27.02.2017

Format is 60x84 1/8

Printing is 2000 copies

Chalk-overlay mat paper

Offset printing

**Chairman of Editorial Board:**

**Korolchenko A. Ya.,**

Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of International Academy of Ecology and Life Safety (Russia)

**Deputy Chairman of Editorial Board:**

**Molkov V. V.,**

Doctor of Technical Sciences, Professor (Great Britain)

**Editorial Board:**

**Barbin N. M.,**

Doctor of Technical Sciences, Professor (Russia)

**Brushlinskiy N. N.,**

Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of Russian Academy of Natural Sciences, Honoured Scientist of the Russian Federation (Russia)

**Korolchenko D. A.,**

Candidate of Technical Sciences, Academician of International Academy of Ecology and Life Safety (Russia)

**Puzach S. V.,**

Doctor of Technical Sciences, Professor, Corresponding Member of National Academy of Fire Science (Russia)

**Roytman V. M.,**

Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of National Academy of Fire Science, Academician of World Academy of Sciences of Complex Safety, Corresponding Member of Academy of Architectural Heritage (Russia)

**Serkov B. B.,**

Doctor of Technical Sciences, Professor, Full Member of National Academy of Fire Science (Russia)

**Tamrazyan A. G.,**

Doctor of Technical Sciences, Professor, Full Member of World Academy of Sciences for Complex Safety (Russia)

**Topolskiy N. G.,**

Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of Russian Academy of Natural Sciences, Academician of National Academy of Fire Science, Honoured Scientist of the Russian Federation (Russia)

**Kholshchevnikov V. V.,**

Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician and Honoured Member of Russian Academy of Natural Sciences, Honoured Higher Education Employee of the Russian Federation (Russia)

**Shebeko Yu. N.,**

Doctor of Technical Sciences, Professor, Full Member of National Academy of Fire Science (Russia)

**Shields T. J.,**

Professor (Great Britain)

**В. А. ОНОВ**, канд. техн. наук, доцент, начальник кафедры системного анализа и антикризисного управления, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России (Россия, 196105, г. Санкт-Петербург, Московский просп., 149; e-mail: Fripe@ya.ru)

**Н. В. ОСТУДИН**, адъюнкт факультета подготовки кадров высшей квалификации, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России (Россия, 196105, г. Санкт-Петербург, Московский просп., 149)

**Д. П. САФОНОВ**, адъюнкт факультета подготовки кадров высшей квалификации, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России (Россия, 196105, г. Санкт-Петербург, Московский просп., 149)

**А. Ю. ИВАНОВ**, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры системного анализа и антикризисного управления, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России (Россия, 196105, г. Санкт-Петербург, Московский просп., 149; e-mail: alexandr.y@mail.ru)

УДК 519.816

## МОДЕЛЬ ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ ПРИ ОЦЕНКЕ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ СОТРУДНИКОВ МЧС РОССИИ

Разработана модель информационной поддержки принятия решений при оценке деятельности сотрудников МЧС России. Проанализированы причинно-следственные связи в процессе их профессиональной деятельности; выделены основные свойства и критерии оценки. Проведен структурно-функциональный анализ процесса принятия решений. Представлены структурные схемы модели информационной системы. Рассмотрены задачи, решаемые должностными лицами. Выведена итоговая система дифференциальных уравнений.

**Ключевые слова:** информационная поддержка принятия решений; оценка сотрудников; управление профессиональной деятельностью; показатели эффективности; математическое моделирование.

**DOI:** 10.18322/PVB.2017.26.02.5-13

Одной из важнейших подсистем системы управления процессом профессиональной деятельности сотрудников МЧС России является оценка их деятельности. Модель информационной поддержки принятия решений при оценке деятельности сотрудников МЧС должна соответствовать требованиям, предъявляемым к ее свойствам. Система информационной поддержки принятия решений при оценке деятельности сотрудников является органической частью объекта управления, т. е. некоторой системы, обеспечивающей функциональную деятельность сотрудников. Объекты и процессы в системе информационной поддержки принятия решений при оценке деятельности сотрудников МЧС России носят дискретный характер.

Исходя из этого систему автоматизированного управления профессиональной адаптацией сотрудников можно представить в виде структурной схемы (рис. 1) [1]. Наличие уровневой организации модели информационной поддержки принятия решений при оценке деятельности сотрудников, вытекающей непосредственно из данных анализа при-

нятия решений, позволяет этой системе гибко реагировать на изменение целевых программ и структуры решаемых задач.

С учетом наличия значимой неопределенности исходной информации в основу модели информационной поддержки принятия решений при оценке деятельности сотрудников должна быть положена некоторая система взглядов, определяемая ниже как концептуальная кластеризация, смысл которой состоит в следующем [1–3]:

- 1) все множество входных ситуаций классифицируется конечным множеством задач;
- 2) классификационные признаки и собственно содержимое поставленных задач инициируют в системе множество целей их реализации;
- 3) целевые установки, инициируемые поставленной задачей, в соответствии с приоритетами целей интерферируют друг с другом, определяя тем самым доминирующую цель вырабатываемых далее решений. Это позволяет смоделировать в системе многоцелевой характер ее функционирования;

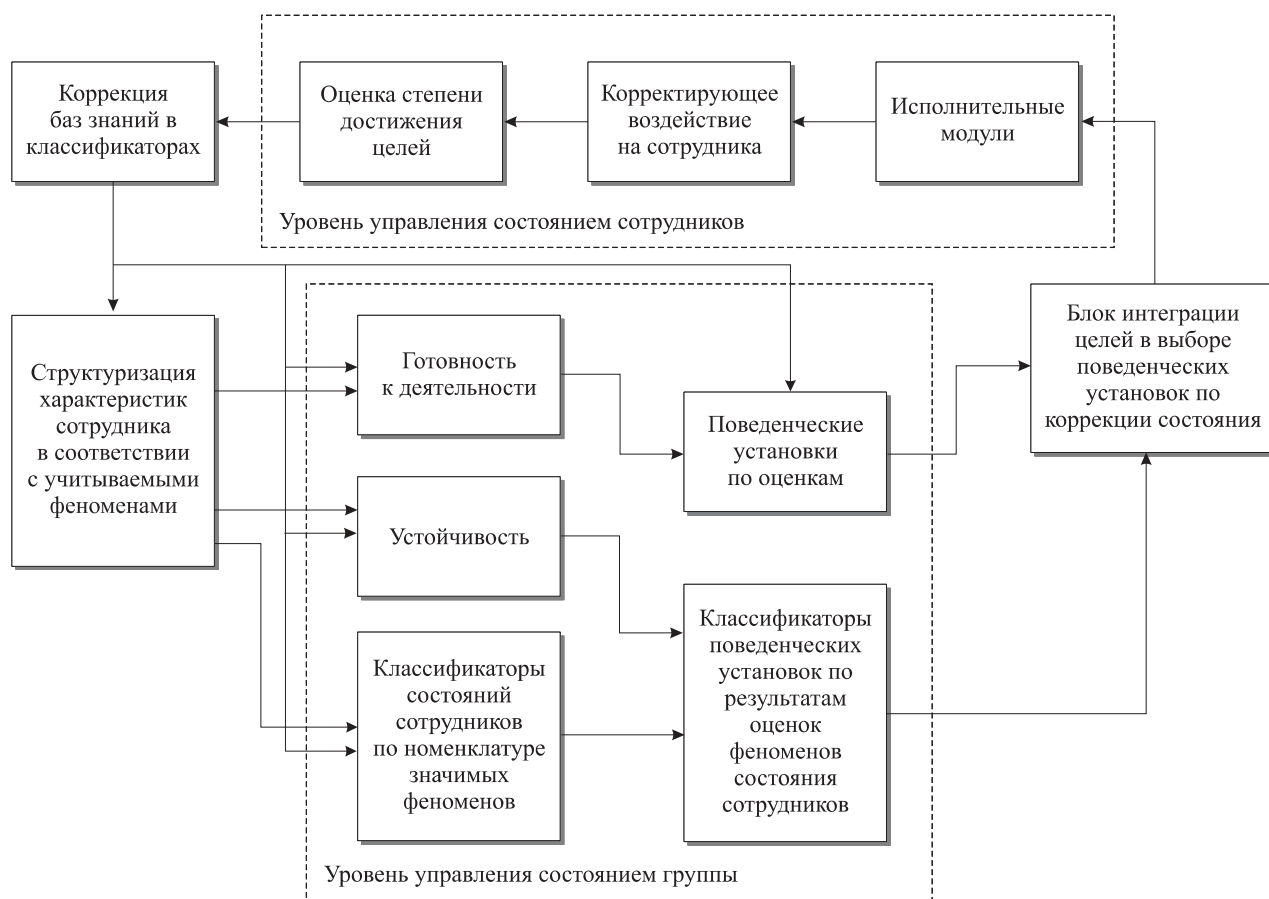


Рис. 1. Структурно-уровневая схема построения модели информационной поддержки принятия решений при оценке деятельности сотрудников МЧС России

4) доминирующая цель функционирования системы и содержание задач обеспечения деятельности сотрудника определяют далее множество средств решения задачи, окончательный выбор которых осуществляется исходя из степени их взаимного доминирования.

Структурно-функциональный анализ процесса принятия решений [2, 3] позволяет выявить его отдельные этапы и процедуры, реализация которых в модели информационной поддержки принятия решений при оценке деятельности сотрудников существенно необходима при определении ее архитектуры. Одной из важнейших особенностей, определяющих структуру модели информационной поддержки, является иерархический характер процесса обработки информации (анализа состояний сотрудника и выработки управляющего воздействия) [4, 5]. В этом случае согласно [6, 7] модель информационной поддержки принятия решений при оценке деятельности сотрудников формируется на основе иерархически связанных друг с другом многомерных размытых классификаторов, структура которых отражает иерархию процессов обработки информации. Каждый классификатор содержит обучающую выборку (локальную базу знаний о предметной об-

ласти), которая репрезентативно и представительно отражает множество принимаемых решений на данном этапе обработки информации [8].

Перечень задач, решаемых должностными лицами на закрепленных за ними автоматизированных рабочих местах (АРМ), предлагается распределить по функциям управления [9, 10] (рис. 2):

- задачи планирования;
- задачи учета;
- задачи контроля;
- задачи оперативного управления.

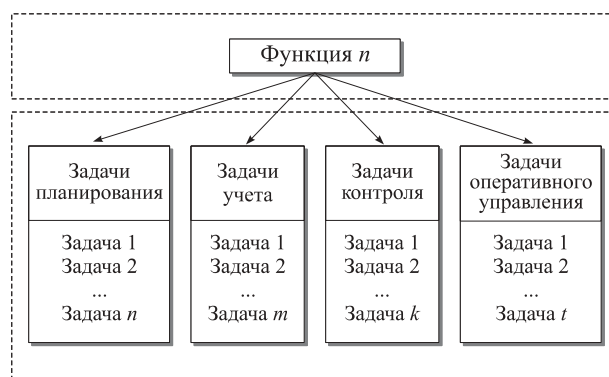


Рис. 2. Распределение задач, решаемых должностными лицами, по функциям управления

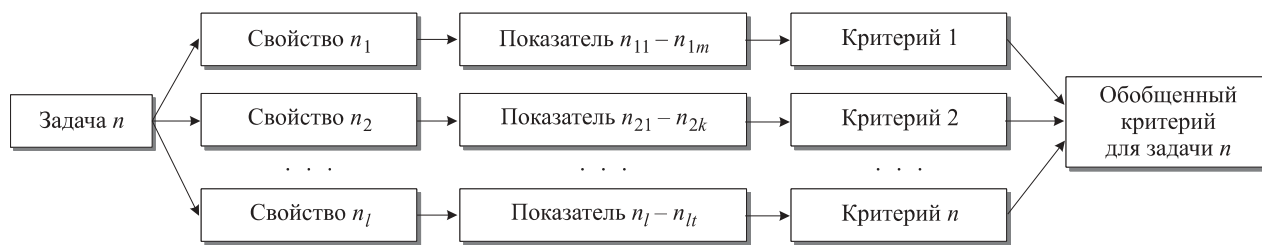


Рис. 3. Формирование критериев эффективности решения задач по совокупности показателей

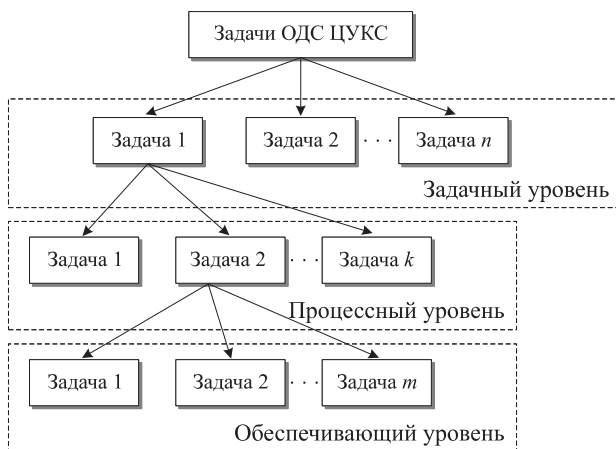


Рис. 4. Задачный, процессный и обеспечивающий уровни методики

После распределения задач по функциям управления для каждой из них определяются свойства, а затем показатели по свойствам. По совокупности показателей формируются критерии эффективности, характеризующие определенное свойство задачи. Затем проводится нормирование критериев по известным правилам (например, путем введения идеального вектора) и формируется обобщенный критерий эффективности решения задачи по совокупности свойств (рис. 3). Для ряда задач, как будет показано ниже, свойства совпадают.

Таким образом, методика позволяет оценить эффективность выполнения какой-либо задачи долж-

ностным лицом оперативно-дежурной службы (ОДС). После определения эффективности выполнения всех задач на нижнем (обеспечивающем) уровне (см. рис. 3) может быть оценена эффективность выполнения должностными лицами задач на более высоких уровнях — процессном и задачном (рис. 4). В результате становится возможной оценка эффективности выполнения всех задач ОДС (подразделением) в целом.

Для последующей оценки эффективности необходимо определить совокупность свойств для соответствующих задач, выделенных по функциям управления ранее (рис. 5).

По заданным показателям определяются показатели исхода операции (табл. 1), которые позволяют оценить эффективность работы должностного лица. До настоящего времени оценка проводилась преимущественно по свойству “оперативность”. Данная методика дает возможность выполнять многокритериальную оценку. На основе полученных показателей определяются критерии эффективности деятельности (табл. 2), из совокупности которых складывается обобщенный критерий  $K_{обобщ}$ , позволяющий проводить оценку деятельности должностного лица по многим свойствам:

$$K_{обобщ} = f(K_{кр.реак}, K_{адап}, K_{восст}, K_{защ}, K_{своєвр}, K_{полн}, K_{дост}, K_{обьек}, K_{безотк}),$$

где  $K_{обобщ}$  — обобщенный критерий эффективности для какого-то конкретного АРМ или конк-

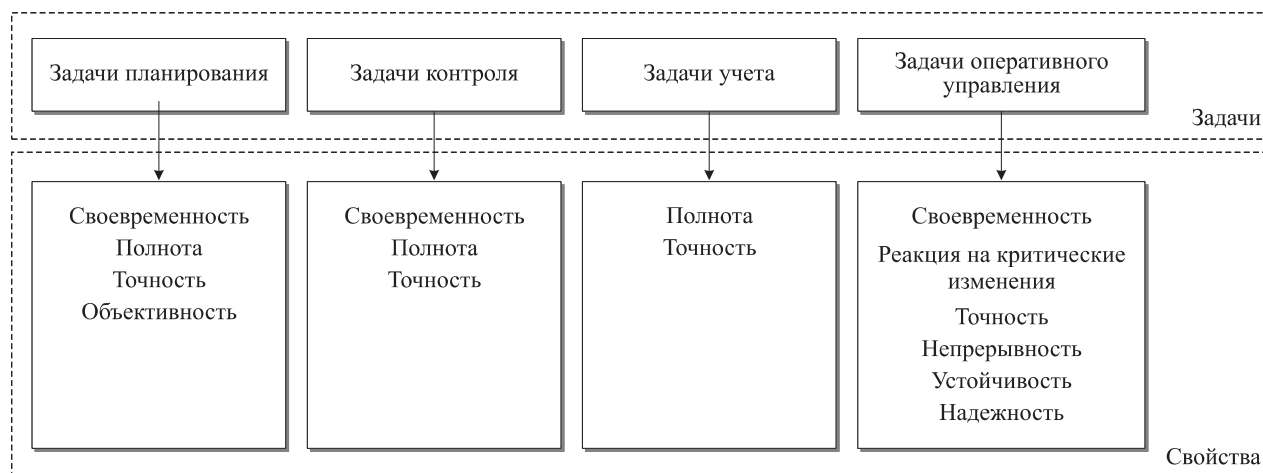


Рис. 5. Совокупность свойств для задач, распределенных по функциям управления

Таблица 1. Показатели и критерии эффективности деятельности органов повседневного управления

№ п/п	Свойство	Показатель исхода операции	Критерий
1	Реакция на критические изменения	Задача выполнена в сроки, определенные регламентом экстренного реагирования Задача не выполнена в сроки, определенные регламентом экстренного реагирования	$K_{кр.реак}: t_{реак} \leq t_{регл}$ , где $t_{реак}, t_{регл}$ — время реагирования системы и регламентируемое соответственно
2	Адаптивность	Система способна адаптироваться при внешних воздействиях Система не способна адаптироваться при внешних воздействиях	$K_{адап}$ : 1 — система управления способна адаптироваться при изменениях, 0 — не способна адаптироваться
3	Восстанавливаемость	Время, необходимое для восстановления системы до рабочего состояния после повреждения	$K_{восст}: t_{восст} \leq t_{регл}$ , где $t_{восст}$ — время, затраченное на восстановление системы
4	Защищенность	Количество переданных единиц информации соответствует полученным Количество переданных единиц информации не соответствует полученным	$K_{защ}$ : 1 — $R_{пер} = R_{получ}$ , 0 — $R_{пер} \neq R_{получ}$ , где $R$ — единица объема информации
5	Своевременность	Задача выполнена в сроки, определенные регламентом Задача не выполнена в сроки, определенные регламентом	$K_{своевр}: t_{вып} \leq t_{регл}$ , где $t_{вып}$ — время, затраченное на выполнение задачи
6	Полнота	Объем информации соответствует заявленному в регламенте Объем информации не соответствует заявленному в регламенте	$N_{ср.зап} < K_{полн} < N_{полн}$ , где $N_{ср.зап} = M[N_{зап}]$ ; $N_{зап}$ — процент наполненности отчетного документа; $N_{полн}$ — полностью (100 %) заполненный документ
7	Достоверность (точность)	Информация подтверждена как минимум двумя источниками Информация не подтверждена либо подтверждена одним необъективным источником	$K_{дост}$ : 1 — получено подтверждение не менее чем от 2 источников, 0 — получено подтверждение от 1 источника либо не получено
8	Объективность	Информация получена от различных технических средств (без оказания влияния человеческого фактора) На информацию оказано влияние внешних факторов	$K_{объек}$ : 1 — информация получена от достоверного источника и не требует подтверждения, 0 — на информацию оказали влияние внешние факторы
9	Безотказность	Способность системы продолжительное время выполнять свои функции	$t_{ср.безотк} < K_{безотк} < t_{общ}$ , где $t_{ср.безотк} = M[t_{раб}]$ ; $t_{раб}$ — время работы системы без ошибок; $t_{общ}$ — общее время, отведенное на выполнение задачи

ретной задачи (в зависимости от выбранной методики);

$K_{кр.реак}, K_{адап}, K_{восст}, K_{защ}, K_{своевр}, K_{полн}, K_{дост}, K_{объек}, K_{безотк}$  — коэффициент соответственно реакции на критические изменения, адаптивности, восстанавливаемости, защищенности, своевременности, полноты, достоверности, объективности, безотказности.

Для математического моделирования предлагается представить систему информационной поддержки при оценке деятельности сотрудников ЦУКС МЧС России как систему разнородных элементов, где  $N^{пп}$  — деятельность должностного лица в повседневном режиме;  $N^{ЧС}$  — деятельность должностного лица в режиме ЧС.

Должностное лицо в данных режимах может находиться в следующих состояниях:

- ПР<sub>1</sub> — ожидания;
- ПР<sub>2</sub> — решения задачи без использования методов и средств поддержки принятия решений;
- ПР<sub>3</sub> — решения задачи с использованием методов и средств поддержки принятия решений;
- ЧС<sub>1</sub> — ожидания;
- ЧС<sub>2</sub> — решения задачи без использования методов и средств поддержки принятия решений;
- ЧС<sub>3</sub> — решения задачи с использованием методов и средств поддержки принятия решений;
- ЧС<sub>4</sub> — решения задачи с использованием методов и средств интеллектуальной поддержки.

Пусть на центр управления в кризисных ситуациях поступают пуассоновские потоки заявок на выполнение задач с интенсивностью  $\lambda^{пп}$  и  $\lambda^{ЧС}$ . Тогда интенсивность суммарного потока  $A_{\Sigma} = a(1 - e^{-y})$ , где  $y$  — общее число задач.

Для моделирования предлагается:

- 1) составить граф состояний элементов системы;
- 2) написать дифференциальные уравнения для средних численностей состояний.

Введем следующие обозначения, отражающие состояние системы в тот или иной момент времени  $t$ :

$m_1^{np}, m_1^{чс}$  — среднее число должностных лиц в состоянии ожидания в момент времени  $t$  в режиме соответственно повседневной деятельности и ЧС;

$m_2^{np}, m_2^{чс}$  — среднее число должностных лиц, решающих задачи без использования средств поддержки принятия решений в момент времени  $t$  в режиме соответственно повседневной деятельности и ЧС;

$m_3^{np}, m_3^{чс}$  — среднее число должностных лиц, решающих задачи с использованием средств поддержки принятия решений в момент времени  $t$  в режиме соответственно повседневной деятельности и ЧС;

$m_4^{чс}$  — среднее число должностных лиц, решающих задачи с использованием средств интеллектуальной поддержки в момент времени  $t$  в режиме ЧС;

$t_{23}$  — время на принятие решений по способу решения задачи;

$t_{32}$  — время перехода к решению задачи в ручном режиме.

Граф системы состояний состоит из двух подграфов (рис. 6):

- 1) состояний элементов системы в режиме повседневной деятельности;
- 2) состояний в режиме ЧС.

На основе метода динамики средних [11, 12] для разработки математической модели, представляющей собой систему дифференциальных уравнений, вводятся вспомогательные переменные  $R(x)$  и  $\rho(x)$ :

$$R(x) = \begin{cases} x & \text{при } x \leq 1; \\ 1 & \text{при } x > 1; \end{cases} \quad (1)$$

$$\rho(x) = \frac{R(x)}{x} = \begin{cases} 1 & \text{при } x \leq 1; \\ 1/x & \text{при } x > 1. \end{cases} \quad (2)$$

Графики этих функций представлены на рис. 7.

Задачи, решаемые должностными лицами ЦУКС и поступающие от руководства ЦУКС в повседневном режиме, можно представить функцией  $\lambda_{пост}^{np} = \lambda^{np} R(X_1^{np})$ , в режиме ЧС —  $\lambda_{пост}^{чс} = \lambda^{чс} R(X_1^{чс})$ .

Следующим шагом будет расчет интенсивности потока задач при переходе элементов системы из одного состояния в другое. Таким образом, при переходе функционирования должностного лица из режима  $ПР_1$  в режим  $ПР_2$   $\lambda_{12}^{np}$  определяется следующей функцией:

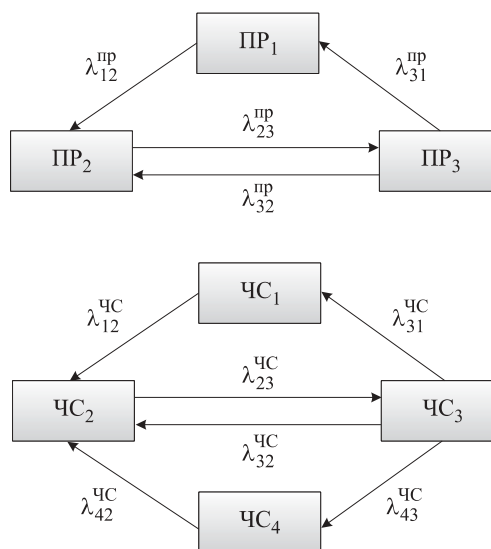


Рис. 6. Графы состояний системы

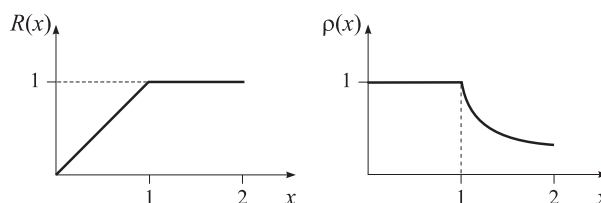


Рис. 7. Графики функций  $R(x)$  и  $\rho(x)$

$$\lambda_{12}^{np} = \frac{\lambda_{пост}^{np}}{X_1^{np}} = \lambda^{np} \frac{R(X_1^{np})}{X_1^{np}} = \lambda^{np} \rho(X_1^{np}); \quad (3)$$

$$\lambda_{23}^{np} = 1/t_{23}^{np}; \quad (4)$$

$$\lambda_{32}^{np} = 1/t_{32}^{np}. \quad (5)$$

Интенсивность  $\lambda_{31}$  предлагается вывести через суммарную интенсивность потока задач во время ЧС и в повседневном режиме с использованием методов и средств поддержки принятия решений [13]:

$$A_{\Sigma} = a \left[ 1 - e^{-(X_3^{np} + X_3^{чс})} \right]. \quad (6)$$

Итоговое значение интенсивности  $\lambda_{31}^{np}$  получается путем деления суммарной интенсивности  $A_{\Sigma}$  на  $(X_3^{np} + X_3^{чс})$  и умножения на значение вероятности того, что будут использоваться методы и средства поддержки принятия решений  $(1 - P^{np})$ :

$$\lambda_{31}^{np} = \frac{(1 - P^{np}) \left[ 1 - e^{-(X_3^{np} + X_3^{чс})} \right]}{X_3^{np} + X_3^{чс}}; \quad (7)$$

$$\lambda_{42}^{np} = \frac{(1 - P^{np}) \left[ 1 - e^{-(X_3^{np} + X_4^{чс})} \right]}{X_3^{np} + X_4^{чс}}; \quad (8)$$

$$\lambda_{43}^{np} = \frac{(1 - P^{np}) \left[ 1 - e^{-(X_3^{np} + X_3^{qc} + X_4^{qc})} \right]}{X_3^{np} + X_3^{qc} + X_4^{qc}}. \quad (9)$$

$$\lambda_{32}^{qc} = 1/t_{32}^{qc}; \quad (12)$$

Таким же образом определяются интенсивности потоков событий для второго подграфа (режим ЧС):

$$\lambda_{12}^{qc} = \lambda^{qc} \rho(X_1^{qc}); \quad (10)$$

$$\lambda_{23}^{qc} = 1/t_{23}^{qc}; \quad (11)$$

$$\lambda_{31}^{qc} = \frac{(1 - P^{qc}) \left[ 1 - e^{-(X_3^{np} + X_3^{qc})} \right]}{X_3^{np} + X_3^{qc}}. \quad (13)$$

Итак, все интенсивности потоков событий для графов 1 и 2 найдены. Теперь запишем систему дифференциальных уравнений динамики средних:

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{dm_1^{np}}{dt} &= -\lambda_{12}^{np} m_2^{np} + \lambda_{31}^{np} m_3^{np} = -\lambda^{np} \rho(X_1^{np}) m_2^{np} + \frac{m_3^{np} (1 - P^{np}) \left[ 1 - e^{-(X_3^{np} + X_3^{qc})} \right]}{X_3^{np} + X_3^{qc}}; \\ \frac{dm_2^{np}}{dt} &= \lambda_{12}^{np} m_1^{np} + \lambda_{32}^{np} m_3^{np} - \lambda_{23}^{np} m_3^{np} = -\lambda^{np} \rho(X_1^{np}) m_1^{np} + \frac{m_3^{np}}{t_{32}^{np}} - \frac{m_3^{np}}{t_{23}^{np}}; \\ \frac{dm_3^{np}}{dt} &= -\lambda_{32}^{np} m_2^{np} + \lambda_{23}^{np} m_2^{np} - \lambda_{31}^{np} m_1^{np} = -\frac{m_2^{np}}{t_{32}^{np}} + \frac{m_1^{np}}{t_{23}^{np}} - \frac{m_1^{np} (1 - P^{np}) \left[ 1 - e^{-(X_3^{np} + X_3^{qc})} \right]}{X_3^{np} + X_3^{qc}}; \\ \frac{dm_1^{qc}}{dt} &= -\lambda_{12}^{qc} m_2^{qc} + \lambda_{31}^{qc} m_3^{qc} = -\lambda^{qc} \rho(X_1^{qc}) m_2^{qc} + \frac{m_3^{qc} (1 - P^{qc}) \left[ 1 - e^{-(X_3^{np} + X_3^{qc})} \right]}{X_3^{np} + X_3^{qc}}; \\ \frac{dm_2^{qc}}{dt} &= \lambda_{12}^{qc} m_1^{qc} + \lambda_{32}^{qc} m_3^{qc} - \lambda_{23}^{qc} m_3^{qc} = -\lambda^{qc} \rho(X_1^{qc}) m_1^{qc} + \frac{m_3^{qc}}{t_{32}^{qc}} - \frac{m_3^{qc}}{t_{23}^{qc}}; \\ \frac{dm_3^{qc}}{dt} &= -\lambda_{32}^{qc} m_2^{qc} + \lambda_{23}^{qc} m_2^{qc} - \lambda_{31}^{qc} m_1^{qc} = -\frac{m_2^{qc}}{t_{32}^{qc}} + \frac{m_1^{qc}}{t_{23}^{qc}} - \frac{m_1^{qc} (1 - P^{qc}) \left[ 1 - e^{-(X_3^{np} + X_3^{qc})} \right]}{X_3^{np} + X_3^{qc}}; \\ \frac{dm_4^{qc}}{dt} &= -\lambda_{42}^{qc} m_2^{qc} - \lambda_{43}^{qc} m_3^{qc} = -\frac{m_2^{qc} (1 - P^{qc}) \left[ 1 - e^{-(X_3^{np} + X_4^{qc})} \right]}{X_3^{np} + X_4^{qc}} - \frac{m_3^{qc} (1 - P^{qc}) \left[ 1 - e^{-(X_3^{np} + X_3^{qc} + X_4^{qc})} \right]}{X_3^{np} + X_3^{qc} + X_4^{qc}}. \end{aligned} \right. \quad (14)$$

Используя разработанную математическую модель, можно оценивать деятельность должностных лиц органов управления МЧС России в режимах повседневной деятельности и ЧС. Полученные результаты являются исходными данными для последующей автоматизации системы поддержки приня-

тия решений по оценке деятельности должностных лиц органов управления МЧС России.

Одним из направлений дальнейших исследований авторов является также алгоритмизация и последующая программная реализация полученных результатов.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антохов В. И., Остудин Н. В. Методика выявления и анализа проблемных вопросов в деятельности должностных лиц центров управления в кризисных ситуациях МЧС России // Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России : научно-аналитический журнал. — 2016. — № 1. — С. 97–106.
2. Sniezek J. A., Wilkins D. C., Wadlington P. L., Baumann M. R. Training for crisis decision-making: psychological issues and computer-based solutions // Journal of Management Information Systems. — 2002. — Vol. 18, No. 4. — P. 147–168.
3. Plotnikov S. G., Tatarova A. A. The relation between the students' stylistic peculiarities in decision-making and the cognitive anchoring effect // Science today: from theory to practice. Proceedings of the 7<sup>th</sup> International Academic Conference. — Saint-Louis, Missouri, USA : Publishing House Science and Innovation Center, Ltd., 2016. — P. 61–62.

4. *Калякин А. Н., Онов В. А., Чернышов Ю. Ю.* Математическое моделирование работы современных технических средств информирования и оповещения // Проблемы управления рисками в техносфере. — 2015. — № 4(36). — С. 95–100.
5. *Иванов А. Ю., Скребов В. Н., Алексеева Е. В.* Анализ существующих систем поддержки принятия решений и их информационного базиса // Проблемы управления рисками в техносфере. — 2011. — № 4(20). — С. 120–129.
6. *Малыгин И. Г.* Применение метода системного иерархического выбора конкурентоспособных решений при проектировании пожарной техники // Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России : научно-аналитический журнал. — 2003. — № 1. — С. 15–18.
7. *Иванов А. Ю., Крылов А. В.* Необходимость создания информационной системы для поддержки принятия решения руководителем ликвидации чрезвычайной ситуации // Проблемы управления рисками в техносфере. — 2015. — № 1(33). — С. 98–103.
8. *Арифджанов С. Б.* Концептуальная модель принятия управленческих решений на ликвидацию чрезвычайных ситуаций Центром управления в кризисных ситуациях Комитета по чрезвычайным ситуациям МВД Республики Казахстан // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. — 2016. — № 1(28). — С. 52–58.
9. *Минкин Д. Ю.* Система автоматизированного управления профессиональной адаптацией персонала в коллективах // Региональная информатика-2006 : сборник трудов юбилейной X Международной конференции, Санкт-Петербург, 24–26 октября 2006 г. — СПб. : Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН, 2006. — С. 45–49.
10. *Галишев М. А., Моторыгин Ю. Д.* Стохастические методы принятия решений для уменьшения вероятности возникновения чрезвычайных ситуаций // Проблемы управления рисками в техносфере. — 2013. — № 4(28). — С. 59–64.
11. *Courtney J. F.* Decision making and knowledge management in inquiring organizations: toward a new decision-making paradigm for DSS // Decision Support Systems. — 2001. — Vol. 31, No. 1. — P. 17–38. DOI: 10.1016/s0167-9236(00)00117-2.
12. *Мещеряков Е. М.* Модель экспертной системы поддержки принятия решений по действиям сил МЧС России при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций на объектах метрополитена, возникших в результате совершения террористических актов // Технологии гражданской безопасности. — 2008. — Т. 5, № 1-2. — С. 85–94.
13. *Крупкин А. А., Максимов А. В., Матвеев А. В.* Программное обеспечение системы поддержки принятия решений по управлению силами и средствами гарнизона пожарной охраны // Проблемы управления рисками в техносфере. — 2015. — № 4(36). — С. 75–81.

*Материал поступил в редакцию 22 ноября 2017 г.*

**Для цитирования:** *Онов В. А., Остудин Н. В., Сафонов Д. П., Иванов А. Ю.* Модель информационной поддержки принятия решения при оценке деятельности сотрудников МЧС России // Пожаровзрывобезопасность. — 2017. — Т. 26, № 2. — С. 5–13. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.02.5-13.

## MODEL OF INFORMATION SUPPORT OF DECISION-MAKING IN ASSESSING OF THE ACTIVITY OF THE RUSSIAN EMERGENCIES MINISTRY EMPLOYEES

**ONOV V. A.**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of Department of Systems Analysis and Crisis Management, Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia (Moskovskiy Avenue, 149, Saint Petersburg, 196105, Russian Federation; e-mail: Fripe@ya.ru)

**OSTUDIN N. V.**, Postgraduate Student of Faculty Training of Highly Qualified Personnel, Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia (Moskovskiy Avenue, 149, Saint Petersburg, 196105, Russian Federation)

**SAFONOV D. P.**, Postgraduate Student of Faculty Training of Highly Qualified Personnel, Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia (Moskovskiy Avenue, 149, Saint Petersburg, 196105, Russian Federation)

**IVANOV A. Yu.**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of Department of Systems Analysis and Crisis Management, Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia (Moskovskiy Avenue, 149, Saint Petersburg, 196105, Russian Federation; e-mail: alexandr.y@mail.ru)

## ABSTRACT

The work is devoted to building a model of information support of decision-making in assessing of the activity of the Russian Emergencies Ministry employees. Tasks officials divided management functions (planning tasks; tasks of accounting, control objectives; the operational management tasks). Each of the tasks defined by the properties, and then performance. In the aggregate figures there are formed effectiveness criteria, carried out the valuation criteria according to certain rules and formed a generalized criterion of efficiency of solving the problem of the combined properties. As a result, it becomes possible to estimate the effectiveness of the division of tasks. For further evaluation it is necessary to determine the effectiveness of a set of properties for the relevant tasks assigned to the control functions. For a given performance indicators determined by the outcome of the operation, which will allow to evaluate the effectiveness of the official. To date, evaluation was carried out primarily by property "Efficiency". The presented method allows to make multi-criteria assessment. Thus, the method makes possible to assess the effectiveness of the performance of any official task SLM. After determining of the effectiveness of the implementation of all the tasks on providing a level it can be estimated effectiveness of the implementation of tasks by officials at higher levels.

For the mathematical modeling are invited to provide information system support in assessing the activity of CMC employees of Emercom of Russia as a system of heterogeneous elements, which examines the activities of the official in the regime daily activities and in emergency mode. Next it's compiled state graph elements. State system count consists of two subgraphs — subgraph of states elements of the system in the mode of daily activities and the subgraph of states in emergency mode. The developed model is a system of differential equations for the average number of states.

Using the developed mathematical model, it is possible to evaluate the activities of officials of Emercom of Russia controls in the mode of everyday activities and emergency mode. The results obtained are the initial data for further automation of decision support system for evaluation of the Russian Emergency Situations Ministry officials controls.

**Keywords:** informational support of decision-making; employees evaluation; professional activities management; performance indicators; mathematical modeling.

## REFERENCES

1. Antyukhov V. I., Ostudin N. V. Methods of identification and analysis of challenging issues in the activities of officers of crisis management centers of Emercom of Russia. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta Gosudarstvennoy protivopozharnoy sluzhby MChS Rossii. Nauchno-analiticheskiy zhurnal (Herald of Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia. Scientific and Analytical Magazine)*, 2016, no. 1, pp. 97–106 (in Russian).
2. Sniezek J. A., Wilkins D. C., Wadlington P. L., Baumann M. R. Training for crisis decision-making: psychological issues and computer-based solutions. *Journal of Management Information Systems*, 2002, vol. 18, no. 4, pp. 147–168.
3. Plotnikov S. G., Tatarova A. A. The relation between the students' stylistic peculiarities in decision-making and the cognitive anchoring effect. In: *Science today: from theory to practice. Proceedings of the 7<sup>nd</sup> International Academic Conference*. Saint-Louis, Missouri, USA, Publishing House Science and Innovation Center, Ltd., 2016, pp. 61–62.
4. Kalyakin A. N., Onov V. A., Chernyshov Yu. Yu. Mathematical modeling of modern technical means of informing and warning. *Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere (Problems of Technosphere Risk Management)*, 2015, no. 4(36), pp. 95–100 (in Russian).

5. Ivanov A. Yu., Skrebov V. N., Alekseeva E. V. Analysis of existing decision support systems and information basis. *Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere (Problems of Technosphere Risk Management)*, 2011, no. 4(20), pp. 120–129 (in Russian).
6. Malygin I. G. Application of the method of system hierarchical choice of competitive solutions in the design of fire fighting equipment. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta Gosudarstvennoy protivopozharnoy sluzhby MChS Rossii. Nauchno-analiticheskiy zhurnal (Herald of Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia. Scientific and Analytical Magazine)*, 2003, no. 1, pp. 15–18 (in Russian).
7. Ivanov A. Yu., Krylov A. V. Need of creation of information system for support of decision-making by the head of elimination of an emergency. *Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere (Problems of Technosphere Risk Management)*, 2015, no. 1(33), pp. 98–103 (in Russian).
8. Arifdzhанov S. B. Conceptual model management decision making to Emergencies by Centre Crisis Management, Committee of Emergency Situations of Ministry of Internal Affairs of the Republic of Kazakhstan. *Nauchnyye i obrazovatelnyye problemy grazhdanskoy zashchity (Scientific and Educational Problems of the Civil Defence)*, 2016, no. 1(28), pp. 52–58 (in Russian).
9. Minkin D. Yu. System of automated management of professional adaptation of personnel in collectives. In: *Regional informatics-2006. Proceedongs of Anniversary X International Conference, Saint Petersburg, 24–26 October, 2006*. Saint Peterburg, Saint Petersburg Institute for Informatics and Automation of the Russian Academy of Sciences Publ., 2006, pp. 45–49 (in Russian).
10. Galishev M. A., Motorygin Yu. D. Stochastic methods of decision-making for decreases probability of emergencies. *Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere (Problems of Technosphere Risk Management)*, 2013, no. 4(28), pp. 59–64 (in Russian).
11. Courtney J. F. Decision making and knowledge management in inquiring organizations: toward a new decision-making paradigm for DSS. *Decision Support Systems*, 2001, vol. 31, no. 1, pp. 17–38. DOI: 10.1016/s0167-9236(00)00117-2.
12. Meshcheryakov E. M. Model of expert decision making support system on actions and means of Emercom of Russia during the liquidation of emergency situations consequences on metro objects as a result of terrorist acts. *Tekhnologii grazhdanskoy bezopasnosti (Technologies of Civil Safety)*, 2008, vol. 5, no. 1-2, pp. 85–94 (in Russian).
13. Krupkin A. A., Maksimov A. V., Matveev A. V. Software of system of support of decision-making on management of forces and means of garrison of fire protection. *Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere (Problems of Technosphere Risk Management)*, 2015, no. 4(36), pp. 75–81 (in Russian).

**For citation:** Onov V. A., Ostudin N. V., Safonov D. P., Ivanov A. Yu. Model of information support of decision-making in assessing of the activity of the Russian Emergencies Ministry employees. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2017, vol. 26, no. 2, pp. 5–13. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.02.5-13.

**С. Н. САВИН**, д-р техн. наук, профессор кафедры техносферной безопасности, Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет (Россия, 190005, г. Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., 4; e-mail: tsb@spbgasu.ru)

**И. Л. ДАНИЛОВ**, канд. физ.-мат. наук, доцент, профессор кафедры физико-технических основ обеспечения пожарной безопасности, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России (Россия, 196105, г. Санкт-Петербург, Московский просп., 149; e-mail: il\_dan@mail.ru)

УДК 69.04;624.001.4

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ МЕРОПРИЯТИЙ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ АЭС

Проведен анализ проектных решений по обеспечению защиты АЭС от экстремальных воздействий. Представлены результаты серии экспериментальных исследований конструкций с бесстыковыми стыками арматуры для использования их в защитной оболочке реактора. Установлены нормативные и предельные моменты для испытуемых образцов. Построены диаграммы "нагрузка — прогиб" для различных схем нагружения. Дано описание экспериментальных установок для воспроизведения статических и динамических воздействий на элементы железобетонных конструкций.

**Ключевые слова:** защитная оболочка; сейсмическое воздействие; удар самолета; система противопожарной защиты; огнестойкость; предел огнестойкости; безопасность АЭС; предотвращение разрушений; бесстыковые стыки арматуры; гидростатический стенд; динамический стенд.

**DOI:** 10.18322/PVB.2017.26.02.14-21

### Краткий обзор современных проблем проектирования АЭС

В последние годы в мировой и отечественной практике проектирования атомных электростанций (АЭС) существует общая тенденция к ужесточению требований по защищенности строительных конструкций, внутреннего оборудования и персонала при действии особых динамических нагрузок с учетом повышения их прогнозируемой интенсивности. К подобным особым видам нагрузок можно отнести: сейсмическое воздействие, удар самолета, пожар, нагружение конструкций воздушными ударными волнами, несанкционированные вооруженные атакующие действия и т. п. Эти обстоятельства обуславливают необходимость выявления запасов конструктивной прочности, детального описания особенностей формирования зон разрушения, распространения возмущений в реальных конструкциях, в том числе оснащенных средствами ударо-, вибро- и пожарозащиты, а также реакции оборудования и персонала [1–7].

В основу обеспечения безопасности в большинстве проектов отечественных атомных электростанций заложен принцип глубоко эшелонированной защиты на пути распространения ионизирующих излучений [8–14].

Система организационных и технических мер по обеспечению защиты АЭС состоит из пяти уровней защиты. При этом для чрезвычайных аварийных ситуаций предусмотрены защитные, управляющие и локализирующие системы безопасности, которые предусматриваются в проекте для предотвращения развития отказов в случае ошибок персонала и экстремальных внешних воздействий.

К таким системам безопасности относятся:

- двойная защитная оболочка реактора;
- устройство локализации расплава активной зоны реактора;
- система пассивной противопожарной защиты (СППЗ);
- система пассивных каталитических рекомбинаторов водорода.

Двойная защитная оболочка реактора состоит из внутренней герметичной оболочки и наружной защитной железобетонной оболочки с куполом и плитой основания.

Система пассивной противопожарной защиты включает в себя систему пассивного отвода тепла (СПОТ). СПОТ состоит из четырех независимых контуров естественной циркуляции среды второго контура, предназначенных для долговременного

отвода остаточных тепловыделений от реактора при потере всех источников электроснабжения, включая аварийные, как при плотном первом контуре, так и при течах теплоносителя первого контура. Отвод тепла от СПОТ к конечному поглотителю осуществляется также пассивным способом, за счет естественной циркуляции воздуха. СПОТ спроектирована таким образом, что она способна функционировать во всех режимах эксплуатации АЭС как независимо, так и в комбинации с другими системами безопасности.

Система пассивных каталитических рекомбинаторов водорода призвана предотвращать накопление водорода, происходящее при пароциркониевой реакции и наряду с системами аварийного паро- и газоудаления является эффективной системой предотвращения взрыва внутри оболочки реактора (рис. 1) [12].

Центральным элементом конструктивной защиты современной АЭС является герметичная оболочка реактора, способная выдерживать не только экстремальные внешние механические воздействия (землетрясения, ураганы, падение самолета и т. п.), но и внутреннее давление до 0,4 МПа.

В работе А. Н. Бирбраера и А. Ю. Роледера [3] обоснованы проектные требования по учету удара легкого самолета массой до 5000 кг, используемого на внутренних авиалиниях. Учет такого удара позволяет одновременно обеспечить защиту от летящих тел другой природы с близкими массами и скоростями (например, поднятых в воздух ураганом

или торнадо; образовавшихся при обрушении строительных конструкций, вследствие злонамеренных действий людей и т. п.).

Анализ необходимости учета в проекте более тяжелого самолета основан на использовании понятий *величина дистанции отбора* (ВДО) и *уровень отбора событий по вероятности* (УОВ).

Процедура анализа воздушной обстановки вокруг АЭС изложена в [15, 16]. Анализ начинается с установления вероятности падения самолета на АЭС в результате общего воздушного движения в регионе. Если она меньше УОВ, то в проекте учитывается падение малого самолета по нормам [16]. В противном случае необходимо установить все потенциально опасные места (“источники”), откуда может упасть самолет, и сравнить расстояние до них с ВДО. Если площадка АЭС расположена за пределами ВДО, то падение самолета из данного источника можно не учитывать, а если в пределах ВДО, то следует вычислить вероятность падения самолета из этого источника. Если полученная вероятность меньше УОВ, то событие не учитывается, в противном случае оно должно быть учтено в проекте. Для этого необходимо установить типы и характеристики всех самолетов, падение которых возможно из данного места.

Для случая падения самолета на оболочку ядерного реактора современной АЭС рассмотрим только механические нагрузки. При этом действуют два вида нагрузок — от разрушения фюзеляжа и от удара относительно твердого двигателя (турбины). Натурный эксперимент с самолетом “Phantom” RF-4E показал, что при ударе 94 % энергии было затрачено на его собственное разрушение и только 6 % — на деформацию преграды.

Обломок самолета, в качестве которого часто принимают турбину двигателя, считается абсолютно твердым телом. Характер повреждения конструкции определяется по эмпирическим формулам. Следует учитывать тот факт, что разрушения строительных конструкций при падении объекта с относительно небольшой массой, но с высокой скоростью будут более значительными, чем от удара тяжелого, но относительно медленно движущегося тела. При заданной скорости и характеристиках снаряда повреждение будет тем меньше, чем выше прочность бетона, больше толщина преграды или выше степень податливости оболочки.

Что касается теплового воздействия на оболочку реактора при возможном горении авиационного топлива, то расчеты, проведенные специалистами Литовского энергетического института [5], показали, что деградации прочности материалов оболочки в случае пожара на крыше Игналинской АЭС не происходит, если отсутствует разрушение бетон-



Рис. 1. Оболочка реактора на АЭС “Фукусима” после взрыва водорода

ных конструкций. Структурная прочность бетона и стали арматурных стержней при нагреве ухудшается незначительно.

Учет степени повреждения железобетонных конструкций при пожарах затруднителен в силу неоднородности материалов, входящих в состав железобетона. Нагрев приводит к разным температурным деформациям цементного связующего, наполнителя и арматуры. Как следствие, происходит изменение механических свойств элементов железобетона, уменьшение модулей сжатия и кручения материалов, что вызывает снижение прочности конструкций и возникновение дополнительных прогибов.

Состояние железобетонных конструкций при воздействии высоких температур в случае интенсивного пожара активно исследуется как в России [17, 18], так и за рубежом [19–21]. При этом для получения информации о прочностных характеристиках структуры бетона и арматуры в железобетонных плитах и колоннах, наряду с прямыми измерениями степени нагрузки материалов [17–19], применяются и методы линейного и нелинейного резонанса [20, 21].

Однако в случае наличия разломов конструкций, разброса обломков различных материалов значительно повышается вероятность возникновения многочисленных очагов пожаров, вызванного разливом авиационного топлива и образованием топливно-воздушной смеси, которые в случае непринятия своевременных мер могут достигать крупных размеров.

При повреждении строительных конструкций из-за появления трещин, сквозных отверстий, раскрытия арматурного слоя механическая прочность и предел их огнестойкости могут значительно меняться [17–22].

Таким образом, сохранение целостности строительных конструкций зданий и сооружений АЭС становится одним из решающих факторов для обеспечения безопасности эксплуатации реактора в условиях чрезвычайной ситуации.

### Экспериментальные исследования железобетонных элементов

В настоящее время разрабатываются новые подходы к повышению конструктивной защиты оболочек АЭС, в рамках которых проведены испытания перспективных железобетонных изделий с “бесконтактными” стыками арматуры. Принципиальные возможности применения “бесконтактных” соединений арматурных конструкций (типа петлевых стыков, а также прямых или гнутых перепусков с различными анкерными устройствами) были доказаны в ходе предварительной серии экспериментов. Окончательное внедрение этих конструкций сдерживается из-за отсутствия или неполноты нормативно-методической базы для их расчета и проектирования.

В рамках экспериментальных исследований были проведены полномасштабные испытания железобетонных линейных элементов с бессварными стыками арматуры в различных условиях.

В процессе испытаний был выполнен комплекс измерений и наблюдений, который позволил:

- определить значения редуцированных множителей к нормативным критериям прочности и трещиностойкости нормальных и наклонных сечений, содержащих бессварные стыки стержневой арматуры при повторных и режимных нагружениях;
- провести сопоставительный анализ трещиностойкости, несущей способности и живучести (способности к функционированию в поврежденном состоянии) элементов с различными конструкциями арматурных стыков;
- сформулировать рекомендации по применению, расчетному обоснованию и конструированию железобетонных элементов с различными типами стыков стержневой арматуры.

Испытания проводились на гидростатическом стенде ООО “Стройдинамика”. Модели размером 4700×400×400 мм были запроектированы и изготовлены на производственной площадке Управления промышленных предприятий. Заявленный изготовителем класс прочности бетона железобетонных моделей — В25.

Ниже приведены результаты испытаний по двухточечной схеме нагрузки линейных элементов, содержащих два петлевых стыка, арматуру Ø28A400 и усиленных со стороны “растянутой зоны” дополнительным армированием Ø40A400. На рис. 2 приведен вид экспериментальной установки с линейным элементом, опертым по краям, и двумя гидродомкратами, создающими нагрузки вблизи петлевых стыков.

На рис. 3 представлен линейный элемент на первом этапе воздействия на него нагрузкой, равной 70 % от максимальной разрушающей. На фотографии трещины в бетоне выделены мелом, а положение стыка условно обозначено крестом. На рис. 3 хорошо просматриваются трещины в зоне растяжения и внутри бетонного ядра петлевого стыка.

Обобщенные результаты испытаний для варианта многократного знакопеременного механического воздействия на одну из опор приведены на диаграмме “нагрузка – перемещение”, представленной на рис. 4 [23].

Диаграмма знакопеременного нагружения для другой опоры не приводится. Максимальные значения нагрузки на обеих опорах в каждом цикле нагружения практически совпадают. Отличается характер кривой для финального цикла нагружения (до разрушения). Для приведенной диаграммы уро-

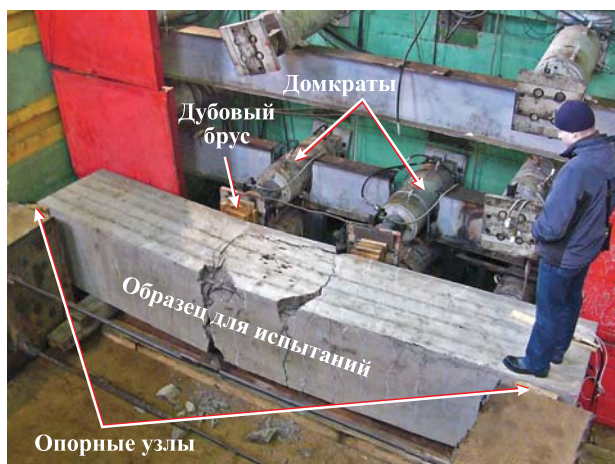


Рис. 2. Оснастка для испытаний и образец в камере нагружения



Рис. 3. Характерные трещины при разрушении бетона вблизи петлевого стыка

вень нагрузки остается высоким вплоть до разрушения образца.

В ходе испытаний впервые удалось исследовать особенности разрушения петлевого стыка по косому сечению. Они заключаются в том, что разрушение достигается только при одностороннем нагружении в условиях приложения нагрузки непосредственно вблизи стыка. Трещина возникает при нагрузках 0,7–0,8 от максимальной.

Характер диаграммы нагружения при разрушении петлевого стыка по косому сечению существенно отличается от аналогичной зависимости при отсутствии такого разрушения. В последнем случае не происходит резкого снижения нагрузки даже при существенных деформациях (см. рис. 4).

При создании знакопеременной нагрузки образец выдерживает не менее двух циклов нагружения. В случае испытания по трехточечной схеме изгиба (приложения сосредоточенной нагрузки в центре плиты) образец был разрушен вне зоны петлевого стыка.

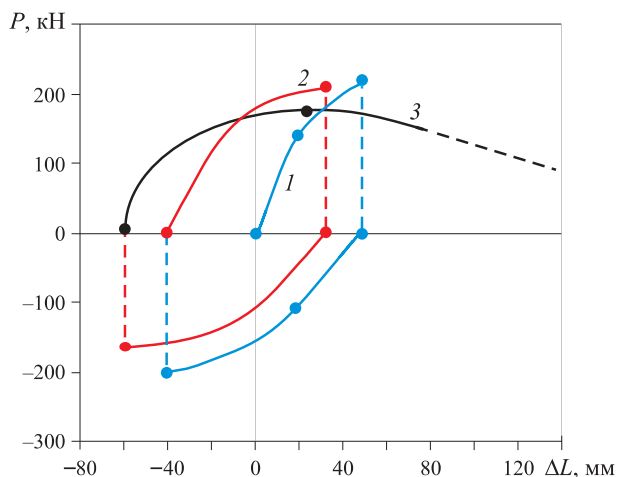


Рис. 4. Зависимость знакопеременного нагружения образца  $P$  на одной из опор от перемещения центра пролета  $\Delta L$ : 1, 2 — первый и второй циклы нагружения; 3 — третий цикл нагружения (разрушение)



Рис. 5. Копровой стэнд для динамических испытаний

Для разработки рекомендаций по применению, расчетному обоснованию и конструированию предложенных вариантов стыка начались испытания конструкций на динамическую однонаправленную и знакопеременную нагрузку (рис. 5). Эти испытания призваны дать ответ на вопрос об эффективности использования петлевых стыков арматуры для снижения интенсивности разрушений при ударе и взрыве. В случае получения удовлетворительных результатов можно обоснованно рекомендовать новые решения проектным организациям для внедрения на объектах ЛАЭС.

### Заключение

К настоящему времени российскими и иностранными специалистами сформированы в основном

теоретические подходы к исследованию существенно нелинейных задач, связанных с возможными разрушениями, пожаром и взрывом при падении самолета или иного летящего тела на оболочку реактора АЭС. Положено начало экспериментальным исследова-

ниям стойкости железобетонных конструкций к взрыву и удару. Результаты исследований позволяют надеяться на дальнейшее повышение безопасности АЭС и создание новых эффективных проектных решений их конструктивной защиты.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Safety of nuclear power plants: design. Specific safety requirements No. SSR-2/1. — Vienna : International Atomic Energy Agency, 2012.
2. *Ramana M. V.* Nuclear power: economic, safety, health, and environmental issues of near-term technologies // *Annual Review of Environment and Resources*. — 2009. — Vol. 34, Issue 1. — P. 127–152. DOI: 10.1146/annurev.enviro.033108.092057.
3. *Бирбраер А. Н., Роледер А. Ю.* Безопасность атомных электрических станций при экстремальных внешних воздействиях // *Биосфера*. — 2010. — Т. 2, № 2. — С. 197–213.
4. *Бирбраер А. Н., Роледер А. Ю.* Экстремальные воздействия на сооружения. — СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2009.
5. *Дундулис Г., Ушпурас У.* Анализ безопасности АЭС при падении самолета // Международная конференция “Научно-техническая поддержка при регулировании ядерной и радиационной безопасности”, Киев, Украина, 22 марта 2012 г. URL: [sstc.kiev.ua/documents/doc/conference/2012/12.ppt](http://sstc.kiev.ua/documents/doc/conference/2012/12.ppt) (дата обращения: 09.12.2016).
6. *Мишуев А. В., Казеннов В. В., Хуснутдинов Д. З.* Взрывная опасность для АЭС, запроектированных и построенных в России без учета взрывной опасности // *Пожаровзрывобезопасность*. — 2011. — Т. 20, № 7. — С. 21–25.
7. *Савин С. Н., Данилов И. Л.* Сейсмобезопасность зданий и территорий. — СПб. : Изд-во “Лань”, 2015. — С. 156–163.
8. НПБ 114–2002. Противопожарная защита атомных станций. Нормы проектирования. — М. : ВНИИПО МЧС России, 2003.
9. НП-001–15. Общие положения обеспечения безопасности атомных станций. URL: <http://docs.cntd.ru/document/420329007> (дата обращения: 09.12.2016).
10. СП 2.6.1.28–2000. Правила радиационной безопасности при эксплуатации атомных станций (ПРБ АС-99). — М. : Минздрав России, 1999.
11. НП-026–16. Требования к управляющим системам, важным для безопасности атомных станций. URL: <http://docs.cntd.ru/document/420383903> (дата обращения: 09.12.2016).
12. НП-040–02. Правила обеспечения водородной взрывозащиты на атомной станции. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200034921> (дата обращения: 09.12.2016).
13. ПИН АЭ-5.6. Нормы строительного проектирования АС с реакторами различного типа. — М. : Минатом, 1986.
14. ППБ-АС-2011. Правила пожарной безопасности при эксплуатации атомных станций. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200094269> (дата обращения: 09.12.2016).
15. External human-induced events in site evaluation for nuclear power plants. IAEA Safety Standards Series. Safety Guide No. NS-G-3.1. — Vienna : IAEA, 2002.
16. НП-064–05. Учет внешних воздействий природного и техногенного происхождения на объекты использования атомной энергии. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200043834> (дата обращения: 09.12.2016).
17. *Курлапов Д. В.* Воздействие высоких температур пожара на строительные конструкции // *Инженерно-строительный журнал*. — 2009. — № 4. — С. 41–43.
18. *Тамразян А. Г., Аветисян Л. А.* Прочность и несущая способность сжатых железобетонных элементов при динамическом нагружении в условиях повышенных температур // *Промышленное и гражданское строительство*. — 2016. — № 7. — С. 56–60.
19. *Hui Lu, Lin-Hai Han, Xiao-Ling Zhao.* Fire performance of self-consolidating concrete filled double skin steel tubular columns: Experiments // *Fire Safety Journal*. — 2010. — Vol. 45, No. 2. — P. 106–115. DOI: 10.1016/j.firesaf.2009.12.001.
20. *Sun-Jong Park, Hong Jae Yim, Hyo-Gyoung Kwak.* Nonlinear resonance vibration method to estimate the damage level on heat-exposed concrete // *Fire Safety Journal*. — 2014. — Vol. 69. — P. 36–42. DOI: 10.1016/j.firesaf.2014.07.003.

21. Payan C., Ulrich T. J., Le Bas P. Y., Saleh T., Guimaraes M. Quantitative linear and nonlinear resonance inspection techniques and analysis for material characterization: Application to concrete thermal damage // Journal of the Acoustical Society of America. — 2014. — Vol. 136, No. 2. — P. 537–546. DOI: 10.1121/1.4887451.
22. Savin S. N., Smirnova E. E. Evaluation of mechanical safety of building structures using elastic vibrations varying in wave length // World Applied Sciences Journal. — 2013. — Vol. 23, No. 11. — P. 1448–1454. DOI: 10.5829/idosi.wasj.2013.23.11.13161.
23. Беляев В. С., Савин С. Н., Демичин С. В. Экспериментальные исследования экономичных вариантов стыков арматуры на действие статической нагрузки // Будивельные конструкции. — Вып. 74, кн. 1. — Киев : ДП НДИБК, 2011. — С. 357–364.

*Материал поступил в редакцию 20 декабря 2016 г.*

**Для цитирования:** Савин С. Н., Данилов И. Л. Экспериментальное обоснование мероприятий по совершенствованию проектных решений строительных конструкций зданий и сооружений АЭС // Пожаровзрывобезопасность. — 2017. — Т. 26, № 2. — С. 14–21. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.02.14-21.

English

## EXPERIMENTAL JUSTIFICATION OF ACTIONS FOR IMPROVEMENT OF DESIGN SOLUTIONS OF BUILDING CONSTRUCTIONS OF THE NUCLEAR POWER PLANT

**SAVIN S. N.**, Doctor of Technical Sciences, Professor of Technical Sphere Safety Department, Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering (2-ya Krasnoarmeyskaya St., 4, Saint Petersburg, 190005, Russian Federation; e-mail: tsb@spbgasu.ru)

**DANILOV I. L.**, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Docent, Professor of Physical and Technical Basement of Fire Safety Ensuring Department, Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia (Moskovskiy Avenue, 149, Saint Petersburg, 196105, Russian Federation; e-mail: il\_dan@mail.ru)

### ABSTRACT

In recent time requirements for security of building constructions, an internal inventory and personnel at action of special inertial reaction taking into account increase in their predicted intensity are toughened.

It is possible to carry to similar special types of loadings: seismic influence, blow of the plane, the fire, a loading of designs air shockwaves, the unauthorized armed attacking actions and so forth. These circumstances cause need of identification of stocks of design durability, the detailed description of features of formation of zones of destruction, distribution of indignations for the actual designs including equipped with tools shock-, vibration- and fire-protection.

The central element of design protection of the modern NPP is the pressure-tight cover of the reactor (containment) capable to maintain not only extreme external mechanical influences (earthquakes, hurricanes, plane crash, etc.), but also intrinsic pressure up to 0,4 MPa.

However, at damage of building constructions because of emergence of cracks, through holes, a dehiscence of a reinforcing layer mechanical strength and a limit of their fire proofness can change considerably.

Thus, preservation of a wholeness of building constructions of the NPP becomes one of decisive factors for safety of operation of the reactor in the conditions of emergency situation.

Now new approaches to increase in design protection of envelopes of the NPP are developed. In particular, tests of perspective concrete goods with “non-contact” joints of fittings are carried out (like loopback joints, and also direct or bent restart-up with various anchor devices).

Within the pilot studies full-scale tests of reinforced concrete linear elements with unwelding joints of metal mountings in various conditions were carried out.

Tests were carried out at the hydrostatic stand of LLC “Stroydinamika”. Sizes of models 4700×400×400 mm. The class of durability of concrete of reinforced concrete models declared by the manufacturer is B25. The generalized test data for option of multiple sign-variable mechanical influence are provided on the chart “loading movement”.

During tests for the first time it was succeeded to investigate features of destruction of a loopback joint on slanting section. Destruction of a loopback joint on slanting section is reached only at a unilateral loading in the conditions of the application of loading immediately near a joint. The crack arises at loadings 0,7–0,8 from maximal.

For development of recommendations about application, calculated justification and designing of the offered options of a joint tests of designs on the inertial unidirectional and reversal load began. These tests are intended to give the answer to a question of effectiveness of use of loopback joints of metal mountings for decrease in intensity of destructions at shock and explosion.

**Keywords:** protective shell; seismic impact; aircraft shock; fire protection system; fire resistance limit; Nuclear safety; damage prevention; contactless joints reinforcement; hydrostatic stand; dynamic stand.

## REFERENCES

1. *Safety of nuclear power plants: design. Specific safety requirements No. SSR-2/1*. Vienna, International Atomic Energy Agency, 2012.
2. Ramana M. V. Nuclear power: economic, safety, health, and environmental issues of near-term technologies. *Annual Review of Environment and Resources*, 2009, vol. 34, issue 1, pp. 127–152. DOI: 10.1146/annurev.enviro.033108.092057.
3. Birbraer A. N., Roleder A. Yu. Safety of the nuclear power plants at extreme external influences. *Biosfera (Biosphere)*, 2010, vol. 2, no. 2, pp. 197–213 (in Russian).
4. Birbraer A. N., Roleder A. Yu. *Extreme influences on buildings*. Saint Petersburg, Publishing House of Polytechnic Institute, 2009 (in Russian).
5. Dundulis G., Ushpurus U. Analysis of safety NPP at falling of airplane. In: *International Conference “Scientific and Technical Support at Adjusting of Nuclear and Radiation Safety”*, Kiev, Ukraine, 22 March 2012. Available at: [sstc.kiev.ua/documents/doc/conference/2012/12.ppt](http://sstc.kiev.ua/documents/doc/conference/2012/12.ppt) (Accessed 9 December 2016).
6. Mishuev A. V., Kazennov V. V., Khusnutdinov D. Z. Explosion hazard of nuclear power plants that have been planned and built in Russia without meeting the explosion safety requirements. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2011, vol. 20, no. 7, pp. 21–25 (in Russian).
7. Savin S. N., Danilov I. L. *Seismic safety of buildings and areas*. Saint Petersburg, Publishing House “Lan”, 2015, pp. 156–163 (in Russian).
8. *Fire Safety Standards 114–2002. Fire protection of nuclear power plant*. Standards of desing. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 2003 (in Russian).
9. *NP-001–15. General safety of nuclear power plants* (in Russian). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/420329007> (Accessed 9 December 2016).
10. *Set of rules 2.6.1.28–2000. Radiation safety rules for operation of nuclear power plants (PRB AS-99)*. Moscow, Ministry of Health of Russia Publ., 1999 (in Russian).
11. *NP-026–16. Requirements to control systems important to safety of nuclear power plants* (in Russian). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/420383903> (Accessed 9 December 2016).
12. *NP-040–02. Rules to ensure the hydrogen explosion at the nuclear power station* (in Russian). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200034921> (Accessed 9 December 2016).
13. *PiN AE-5.6. Construction design norms of nuclear power station with reactors of various type*. Moscow, Ministry of Nuclear Industry Publ., 1986 (in Russian).
14. *PPB-AS–2011. Fire safety regulations in the operation of nuclear plants* (in Russian). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200094269> (Accessed 9 December 2016).
15. *External human-induced events in site evaluation for nuclear power plants. IAEA Safety Standards Series. Safety Guide No. NS-G-3.1*. Vienna, IAEA, 2002.
16. *NP-064–05. Accounting for external effects of natural and technogenic origin on nuclear facilities* (in Russian). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200043834> (Accessed 9 December 2016).
17. Kurlapov D. V. Influence of high temperatures of fire on building structures. *Inzhenerno-stroitelnyy zhurnal (Magazine of Civil Engineering)*, 2009, no. 4, pp. 41–43 (in Russian).

18. Tamrazyan A. G., Avetisyan L. A. Strength and bearing capacity of compressed reinforced concrete elements under dynamic loading at high temperatures. *Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitelstvo (Industrial and Civil Engineering)*, 2016, no. 7, pp. 56–60 (in Russian).
19. Hui Lu, Lin-Hai Han, Xiao-Ling Zhao. Fire performance of self-consolidating concrete filled double skin steel tubular columns: Experiments. *Fire Safety Journal*, 2010, vol. 45, no. 2, pp. 106–115. DOI: 10.1016/j.firesaf.2009.12.001.
20. Sun-Jong Park, Hong Jae Yim, Hyo-Gyoung Kwak. Nonlinear resonance vibration method to estimate the damage level on heat-exposed concrete. *Fire Safety Journal*, 2014, vol. 69, pp. 36–42. DOI: 10.1016/j.firesaf.2014.07.003.
21. Payan C., Ulrich T. J., Le Bas P. Y., Saleh T., Guimaraes M. Quantitative linear and nonlinear resonance inspection techniques and analysis for material characterization: Application to concrete thermal damage. *Journal of the Acoustical Society of America*, 2014, vol. 136, no. 2, pp. 537–546. DOI: 10.1121/1.4887451.
22. Savin S. N., Smirnova E. E. Evaluation of mechanical safety of building structures using elastic vibrations varying in wave length. *World Applied Sciences Journal*, 2013, vol. 23, no. 11, pp. 1448–1454. DOI: 10.5829/idosi.wasj.2013.23.11.13161.
23. Belyaev V. S., Savin S. N., Demishin S. V. Experimental studies of economical options for reinforcement of joints on the effects of static load. *Budivelnyye konstruksii (Building Constructions)*, issue 74, book 1. Kiev, 2011, pp. 357–364 (in Russian).

**For citation:** Savin S. N., Danilov I. L. Experimental justification of actions for improvement of design solutions of building constructions of the nuclear power plant. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2017, vol. 26, no. 2, pp. 14–21. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.02.14-21.



## Издательство «ПОЖНАУКА»

Представляет книгу



### Д. Г. Пронин, Д. А. Корольченко ДЕЛЕНИЕ ЗДАНИЙ НА ПОЖАРНЫЕ ОТСЕКИ : учебное пособие.

— М. : Издательство "ПОЖНАУКА", 2014. — 40 с. : ил.

В учебном пособии изложены базовые основы, действующие требования и современные представления о целях, задачах и способах ограничения распространения пожара по зданиям и сооружениям путем их разделения на пожарные отсеки.

Пособие предназначено для студентов Московского государственного строительного университета. Оно может быть использовано также другими образовательными учреждениями и практическими работниками, занимающимися вопросами обеспечения пожарной безопасности.

121352, г. Москва, а/я 43; тел./факс: (495) 228-09-03; e-mail: info@fire-smi.ru

**Е. А. АНОХИН**, старший научный сотрудник научно-исследовательского отдела Учебно-научного комплекса пожарной и аварийно-спасательной техники, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: dzhefa@inbox.ru)

**Е. Ю. ПОЛИЩУК**, канд. техн. наук, докторант, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: epyur@ya.ru)

**А. Б. СИВЕНКОВ**, д-р техн. наук, доцент, ученый секретарь, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: sivenkov01@mail.ru)

УДК 614.8:699.8

## ПРИМЕНЕНИЕ ОГНЕЗАЩИТНЫХ ПРОПИТОЧНЫХ КОМПОЗИЦИЙ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ С РАЗЛИЧНЫМИ СРОКАМИ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Представлены результаты исследования по разработке огнезащитных пропиточных композиций для снижения пожарной опасности ограждающих деревянных конструкций (ДК) с различными сроками эксплуатации. Показано, что разработанные огнезащитные составы способны снижать тепловой эффект (на 20–80 °С) на всем протяжении эксперимента и интенсивность обугливания ДК (в 1,07–1,29 раза) в условиях огневых испытаний по ГОСТ 30403–2012. Изучено влияние средств огнезащиты на особенности поведения длительно эксплуатируемой древесины с использованием методов термического анализа и электронной микроскопии. Показано, что механизм огнезащитного действия составов проявляется не только в изменении основных стадий термического разложения древесины, но и в их способности оказывать влияние на структуру и свойства образующегося угольного слоя, что приводит в целом к снижению окислительной способности и теплового эффекта в условиях огневых испытаний ДК. Установлено, что данные механизмы огнезащитного действия антипиренов являются эффективными в снижении пожарной опасности и повышении огнестойкости ДК со сроком эксплуатации до 200 лет.

**Ключевые слова:** пожарная опасность; огнестойкость; древесина; деревянные конструкции; срок эксплуатации; тепловой эффект; скорость обугливания; антипирен; огнезащита.

**DOI:** 10.18322/PVB.2017.26.02.22-35

### Введение

Современное строительство в мире ознаменовано бурными темпами развития с применением различных композиционных материалов и конструкций индустриального назначения. Особое место в сфере строительства по своей популярности и эксплуатационным характеристикам занимают деревянные конструкции (ДК). Им присущи уникальные физико-механические показатели, природная эстетичность, повышенная устойчивость к воздействию агрессивных сред и длительный срок службы. Долговечность ДК зависит от многих внешних и внутренних факторов, среди которых наиболее важными являются условия и продолжительность воздействия окружающей среды.

Срок службы жилых и общественных зданий с использованием несущих и ограждающих деревянных конструкций устанавливается нормативно-техническими документами и варьируется в среднем от 30 до 100 лет. Как показывает практика, бла-

годаря повышенной устойчивости ДК к воздействию окружающей среды и их удовлетворительному техническому состоянию, эти здания и сооружения имеют более длительный период эксплуатации и составляют одну из наиболее распространенных категорий жилого, общественного и промышленного фонда многих стран мира. Наиболее представительное количество этих объектов имеют срок эксплуатации от 50 до 150 лет. Все это определяет актуальность периодической оценки технического состояния, а также проведения системных исследований, направленных на повышение их долговечности и пожарной безопасности.

По результатам отечественных исследований было установлено, что в условиях естественного старения может наблюдаться повышение пожарной опасности древесины и деревянных конструкций по ряду показателей, таких как степень термического повреждения (обугливания) и наличие значительного теплового эффекта [1–3]. В связи с достаточно

высокой пожароопасностью конструкций из древесины с различными сроками эксплуатации приобретают актуальность вопросы снижения их пожарной опасности с применением различных способов и видов огнезащиты. Этому направлению было посвящено достаточно большое количество исследований, однако объектом основной части из них являлись современные материалы и конструкции из древесины [4–7]. Лишь немногочисленные работы рассматривают разработку эффективных огнезащитных составов для древесины длительного естественного старения, в том числе для памятников деревянного зодчества [8–10].

Вопросы снижения пожарной опасности конструкций из древесины с различными сроками эксплуатации с применением огнезащитных средств, а также их влияния на пожароопасные показатели ДК в нормативно-технической и научной литературе также остаются без должного внимания. Ранее отмечалось [11], что действующие в Российской Федерации нормативные требования в области обеспечения пожарной безопасности зданий и сооружений с конструкциями из древесины и материалов на ее основе не учитывают влияния обработки их огнезащитными составами поверхностного действия на квалификационное отнесение этих конструкций и материалов к тому или иному классу пожарной опасности. Кроме того, исследователи, как правило, ограничиваются либо элементами ДК, либо небольшими образцами древесины с размерами, предусмотренными конкретной методикой огневых испытаний [12, 13].

Только незначительную часть исследований можно отнести к работам, в которых рассматриваются вопросы исследования пожарной опасности и огнестойкости ДК с огнезащитной обработкой [14–16].

Вышесказанное свидетельствует о малоизученности особенностей поведения в условиях пожара массивных ДК, подверженных длительному воздействию окружающей среды, а также эффективных подходов к снижению их пожарной опасности с учетом этих особенностей. Это обстоятельство определяет актуальность настоящих исследований.

В данной работе представлялось важным выявить возможность снижения пожарной опасности ДК с различными сроками эксплуатации путем обработки их эффективными огнезащитными пропиточными композициями (антипиренами). Необходимо было установить степень влияния разработанных антипиренов на особенности поведения таких ДК в условиях огневых испытаний, эквивалентных развитому пожару.

## Результаты исследования и их обсуждение

Практика применения средств огнезащиты материалов на основе древесины показывает, что основным способом защиты является поверхностная обработка пропитывающими составами различного действия. Теоретические представления о технологии снижения горючести древесины включают три основных механизма [17]:

- термодинамический;
- кинетический;
- технический.

Большинство пропитывающих составов реализуют два первых механизма, действие которых направлено на ускорение процесса термического разложения обработанного (поверхностного) слоя древесины, со смещением равновесия протекания реакций горения в сторону образования продуктов полного сгорания диоксида углерода и воды ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ).

Технический механизм предполагает создание над поверхностью защищаемого материала физического барьера, в том числе за счет формирования вспученного карбонизированного слоя. И хотя в последние десятилетия в области синтеза огнезащитных средств комбинированного действия [18, 19], реализующих все три механизма защиты, достигнуты значительные успехи, на практике в основном используются “классические” составы, содержащие различные смеси органических и неорганических соединений, образующих при огневом воздействии газообразные продукты, флегматизирующие процесс горения продуктов разложения, а также кислотные соединения — катализаторы процесса карбонизации древесины.

При разработке огнезащитных пропиточных композиций в целях снижения пожарной опасности деревянных конструкций с различными сроками эксплуатации были учтены изменения в химическом составе и морфологической структуре древесины длительного естественного старения, особенности поведения ДК в условиях продолжительного огневого воздействия, в том числе высокая энергетика процесса горения и значительная степень термического повреждения ДК [20, 21]. Для разработки огнезащитных пропиточных составов были выбраны “классические” антипирены [22, 23] в сочетании с реакционноспособными соединениями, позволяющими модифицировать не только углеводную часть древесины, но и ароматический комплекс древесного композита, а также изменять свойства и структуру угольного остатка и оказывать влияние на интенсивность процесса обугливания. Рассматриваемая задача по разработке и подбору огнезащитных составов и веществ для ДК с различными сроками

эксплуатации решается в подобной постановке впервые.

В качестве основы для разработки первой огнезащитной пропиточной композиции с  $rH = 4,5$  был выбран комплекс веществ и соединений, включающий традиционные антипирены — соли аммония (сульфат аммония  $(NH_4)_2SO_4$  и аммоний фосфорнокислый однозамещенный  $(NH_4H_2PO_4)$ ) и модифицирующие добавки (далее — состав 2).

Для разработки второй огнезащитной композиции с  $rH = 2,0$  был выбран комплекс веществ и соединений, включающий диметилфосфит  $(C_2H_7PO_3)$ , аммоний фосфорнокислый однозамещенный  $(NH_4H_2PO_4)$  и модифицирующие добавки (далее — состав 2К).

Для первичной оценки эффективности и механизма огнезащитного действия антипиренов был использован стандартный метод по оценке огнезащитной эффективности составов и веществ для древесины согласно ГОСТ 53292–2009, а также методы термического анализа: термогравиметрия (ТГ), дифференциальная термогравиметрия (ДТГ), дифференциальная сканирующая калориметрия (ДСК). Исследования проводились на термоанализаторе “DuPont 9900” с использованием термовесов ТГА-951.

Условия проведения термоаналитических экспериментов: скорость нагревания —  $20\text{ }^\circ\text{C}/\text{мин}$ ; среда — при нагревании до  $500\text{ }^\circ\text{C}$  азот, свыше  $500\text{ }^\circ\text{C}$  — воздух; расход газа —  $50\text{ мл}/\text{мин}$ ; масса навески —  $4...7\text{ мг}$ .

Для анализа ДСК-кривых исследуемых образцов был использован высокоточный термоанализатор типа “Q 600”. Условия проведения эксперимента были следующие: скорость нагревания —  $5\text{ }^\circ\text{C}/\text{мин}$ , среда — при нагревании до  $500\text{ }^\circ\text{C}$  азот, свыше  $500\text{ }^\circ\text{C}$  — воздух.

Для установления качественных изменений в структуре угольного остатка древесины с антипиренами использовали метод электронной микроскопии. Оценка качественных изменений в структуре угольного остатка выполняли на сканирующем цифровом электронном микроскопе JSM-5610LV (Япония) в отраженных электронах (BSECOMP). На образцы древесины предварительно была напылена тонкая пленка углерода для обеспечения стекания электростатического заряда, возникающего при взаимодействии образца с пучком электронов. Съемка изображений осуществлялась при увеличении в  $80...1500$  раз.

Для установления эффективности разработанных огнезащитных пропиточных композиций в снижении пожарной опасности ограждающих ДК были проведены огневые испытания по ГОСТ 30403–2012.

Исследования оценки эффективности огнезащитных пропиточных композиций проводились

на образцах деревянных конструкций, отобранных на объектах с ДК со сроком эксплуатации 81 год и 200 лет (с. Кедское и с. Красный Октябрь Ярославской обл., Борисоглебского района). Здания были построены в 1935 и 1816 гг. из деревянных сосновых бревен диаметром от 220 до 240 мм. Элементы ДК сохранились в удовлетворительном состоянии, без механических и биологических повреждений.

В качестве элементов для огневых испытаний по оценке пожарной опасности современных ДК использовался брус сосны сечением  $140\times 140\text{ мм}$ . Средняя плотность образцов древесины со сроком эксплуатации 81 год составила  $554\text{ кг}/\text{м}^3$ , 200 лет —  $482\text{ кг}/\text{м}^3$ , а образцов современной древесины —  $459\text{ кг}/\text{м}^3$ . После нанесения огнезащитных составов на деревянные элементы проводили их естественную сушку до влажности  $15,1...16,8\%$ , а затем сборку ограждающих ДК шириной 1300 мм и длиной 2400 мм. Далее их помещали в огневую печь по ГОСТ 30403–2012 (рис. 1).

По результатам огневых испытаний было установлено, что предложенные огнезащитные пропиточные композиции с расходом поверхностного нанесения не менее  $400\text{ г}/\text{м}^2$  обеспечивают I группу огнезащитной эффективности (потеря массы менее  $9,0\%$ ). Термический анализ исследуемых образцов проводили в среде азота с последующей сменой на воздушную при температуре  $500\text{ }^\circ\text{C}$  со скоростью  $20\text{ }^\circ\text{C}/\text{мин}$ . Полученные кривые ТГ и ДТГ для образцов современной древесины с антипиренами представлены на рис. 2.

Результаты термического анализа показали, что образцы исследуемых материалов имеют три выраженных интервала деструкции:

- 1-й ( $30...150\text{ }^\circ\text{C}$ ) — выход влаги в пределах  $3,5...5,79\%$  по массе;
- 2-й ( $150...450\text{ }^\circ\text{C}$ ) — активная деструкция собственно древесины сосны, потеря массы — при-

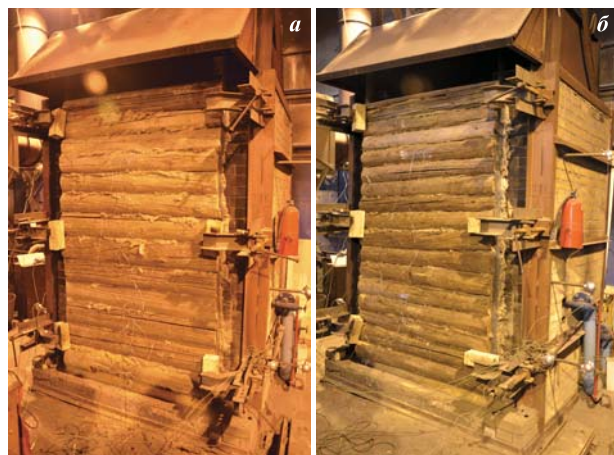
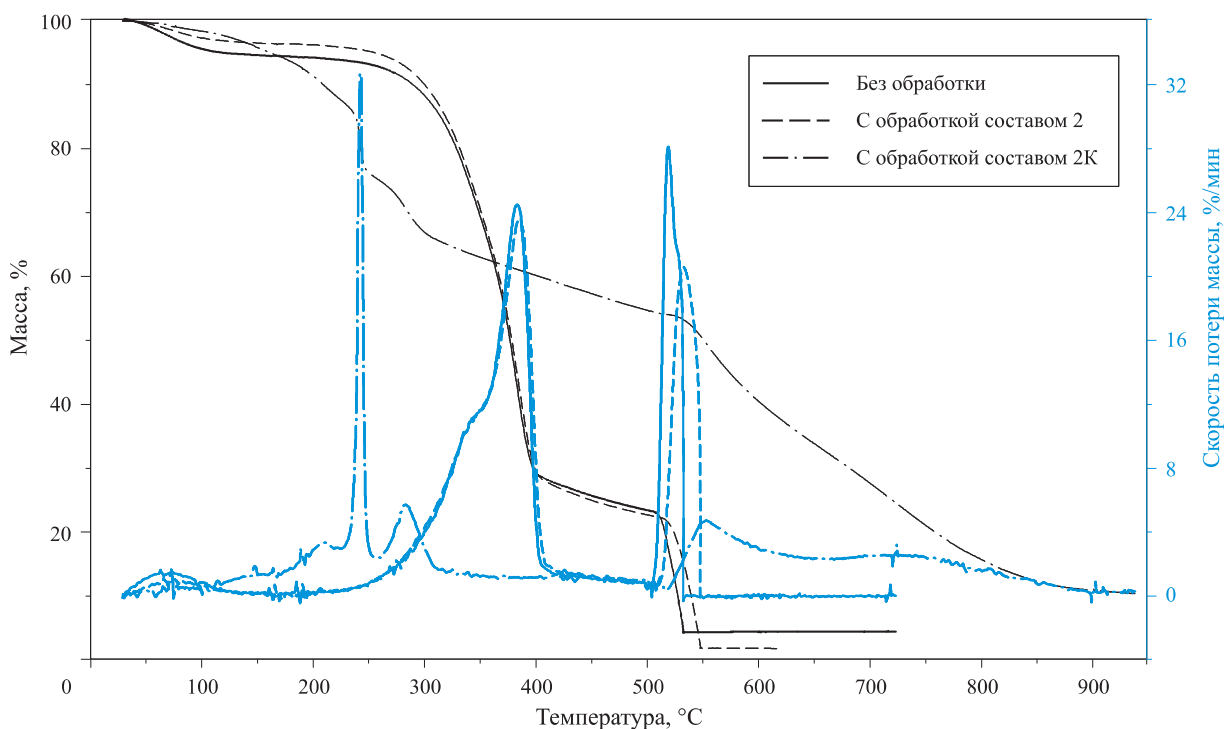


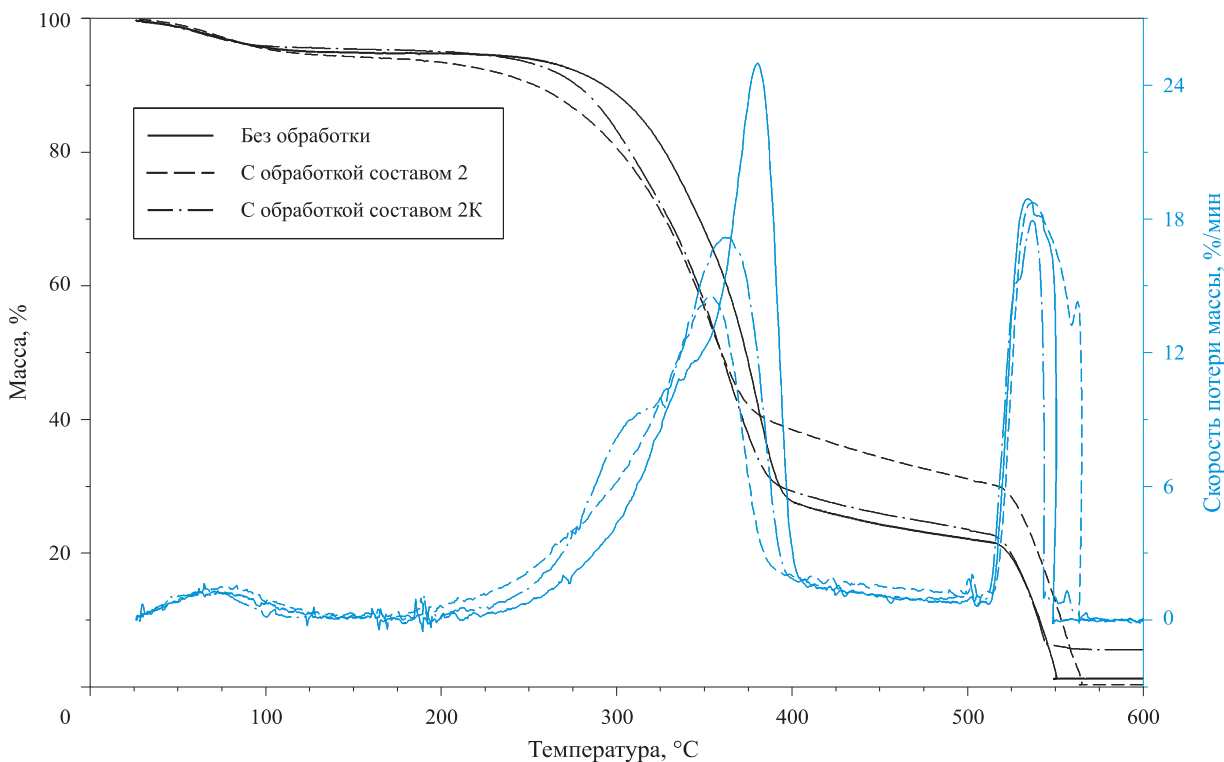
Рис. 1. Фрагменты ограждающей деревянной стены с длительным сроком эксплуатации (81 год) с огнезащитным составом 2 (а) и 2К (б)



**Рис. 2.** ТГ- и ДТГ-кривые для образцов современной древесины сосны без обработки и с обработкой составами 2 и 2К (20 °С/мин, среда — до 500 °С азот, далее — воздух)

мерно 60...70 %; при обработке составами 2 и 2К смещение максимума реакции разложения в область более низких температур, в том числе по амплитуде (с 24,9 до 23,6 и 5,7 %/мин соответственно);

- 3-й — после смены среды азота на воздух (при 500 °С) окисление угольного остатка, скорость которого при использовании огнезащитных составов 2 и 2К снижается соответственно с 28,6 до 20,6 и 4,72 %/мин).



**Рис. 3.** ТГ- и ДТГ-кривые для образцов древесины сосны с длительным сроком эксплуатации без обработки и с обработкой составами 2 и 2К (20 °С/мин, среда — до 500 °С азот, далее — воздух)

Обращает на себя внимание то, что огнезащитный состав 2К, активно модифицируя компоненты древесного композита, резко изменил основные характеристики процесса термодеструкции. Наибольшие изменения претерпели образцы на второй стадии в интервале температур 150...450 °С: значительное смещение максимума ДТГ с 380 °С (у нативного материала) до 283 °С, а также заметное снижение потери массы образца — с 70,05 до 38,5 %. Результаты анализа кривых ТГ и ДТГ свидетельствуют о том, что наибольшая потеря массы образца древесины, обработанной составом 2К, наблюдается при температуре порядка 215 °С. Исходя из теоретических представлений о механизмах снижения горючести древесины, это можно связать с активным протеканием процессов дегидратации и карбонизации древесного субстрата.

Большой интерес представляет влияние огнезащитных пропиточных составов на особенности термического распада древесины с длительным сроком эксплуатации. На рис. 3 представлены ТГ- и ДТГ-кривые для образцов древесины сосны со сроком эксплуатации 81 год без огнезащитной обработки и с обработкой составами 2 и 2К.

Анализ ТГ- и ДТГ-кривых для древесины длительного естественного старения показывает наличие трех ярко выраженных интервалов деструкции, как и в случае с образцами современной древесины. Температурные стадии имеют аналогичные интервалы. Визуально по изменению ТГ- и ДТГ-кривых можно сделать вывод о том, что состав 2 (исходя из классических представлений об эффективности и механизме огнезащитного действия антипиренов) является более эффективным по сравнению с составом 2К.

Более раннее начало процесса карбонизации приводит в итоге в интервале температур 150...450 °С

к наименьшей потере массы (60 %). Основные термические характеристики представлены в табл. 1.

Исходя из особенностей поведения ДК с длительным сроком эксплуатации, таких как высокая степень термического повреждения и значительное тепловыделение при горении, важным является не просто снижение потери массы, но и структура образующегося угля, его окислительная и теплотворная способность. В этом плане применение состава 2К для древесины длительного естественного старения более предпочтительно с точки зрения его направленной способности к снижению скорости окисления угольного остатка (с 18,97 до 17,97 %/мин).

В целях установления возможности снижения тепловыделения окислительного процесса образующегося угля в присутствии огнезащитных составов были сняты кривые ДСК, показывающие, что эндо- и экзопроцессы термораспада исследуемых образцов находятся фактически в одном интервале темпера-

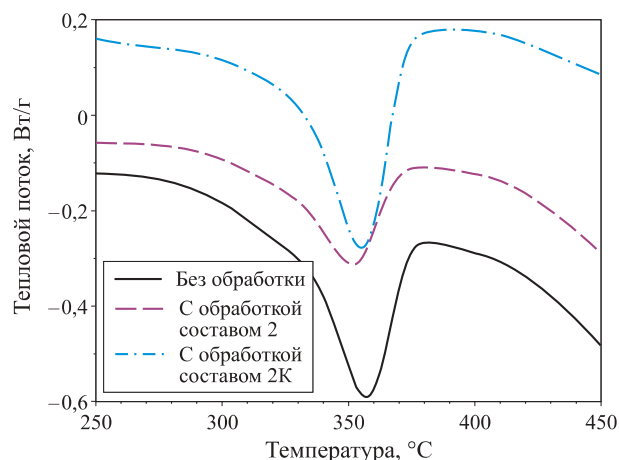


Рис. 4. ДСК-кривые для образцов древесины сосны с длительным сроком эксплуатации без обработки и с обработкой составами 2 и 2К в интервале 250...450 °С (среда — азот)

Таблица 1. Результаты термического анализа древесины со сроком эксплуатации 81 год, обработанной антипиренами

Интервал температур, °С	Характеристика	Образцы сосны		
		без обработки	с обработкой составом	
			2	2К
30...150	Потеря массы, %	4,78	5,6	4,28
150...450	Потеря массы, %	70,85	60,0	69,7
	Максимум ДТГ: — температура T, °С	380	353	362
	— амплитуда, %/мин	25,1	14,5	17,2
450...600	Скорость окисления угля, %/мин	18,97	18,74	17,97

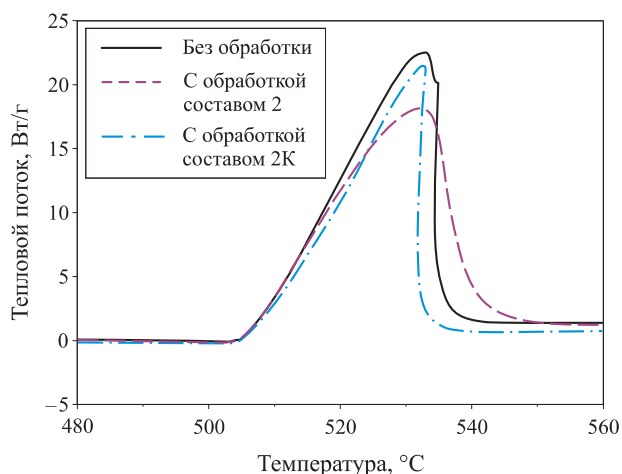


Рис. 5. ДСК-кривые для образцов древесины сосны с длительным сроком эксплуатации без обработки и с обработкой составами 2 и 2К в интервале 480...560 °С (среда — воздух)

**Таблица 2.** Результаты ДСК для образцов древесины со сроком эксплуатации 81 год с огнезащитными составами

Характеристика ДСК	Образцы сосны		
	без обработки	с обработкой огнезащитным составом	
		2	2К
Теплота пиролиза, Дж/г (азот)	-164,6	-102,5	-170,3
Теплота окисления угля, Дж/г (воздух)	+4315	+4442	+3374

тур. Наиболее важными температурными интервалами, характеризующимися поглощением и выделением тепла, являются диапазоны от 250 до 400 °С (эндоэффект) (рис. 4) и от 480 до 600 °С (экзоэффект) (рис. 5).

Несмотря на это количественные характеристики данных процессов, в частности теплота пиролиза и теплота окисления угля, при использовании предложенных огнезащитных составов заметно отличаются (табл. 2).

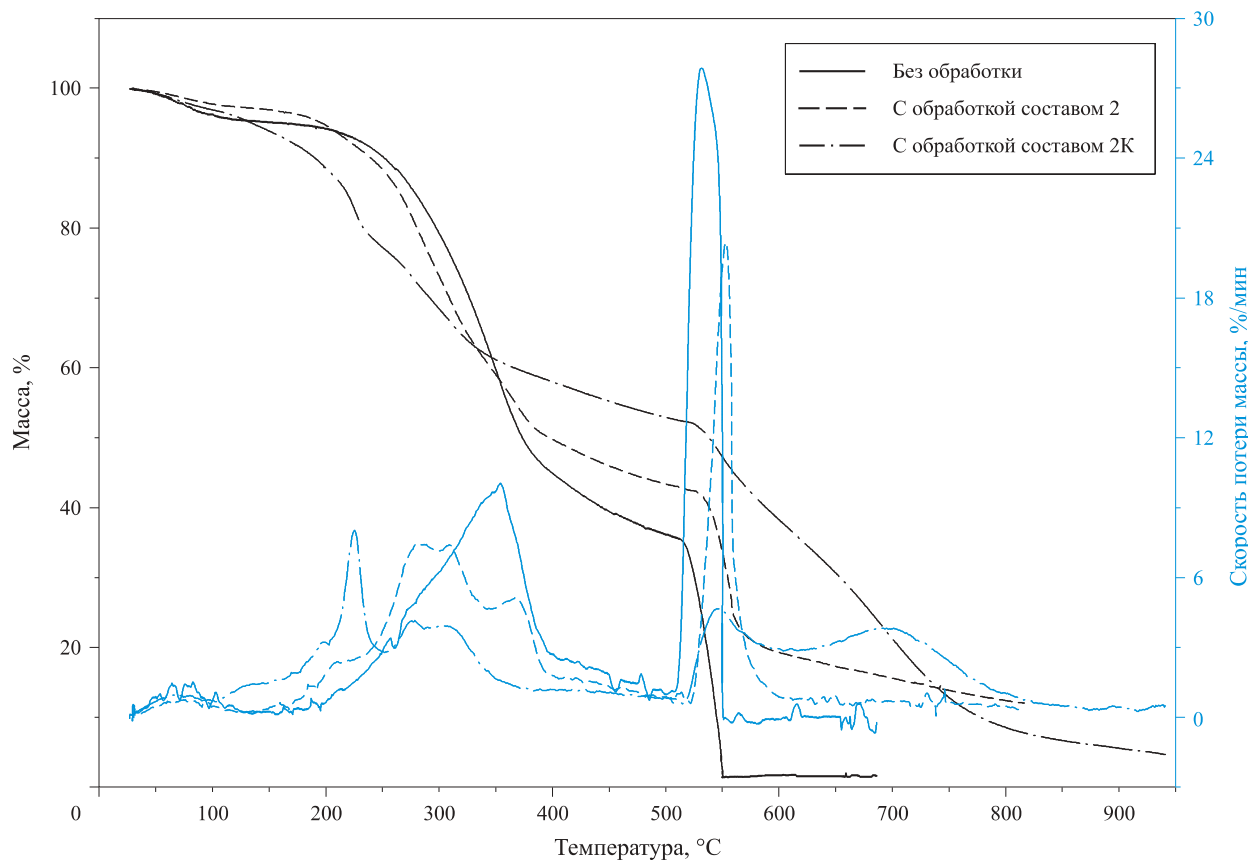
Заслуживает особого внимания снижение теплоты окисления угля для древесины с длительным сроком эксплуатации при обработке ее составом 2К в 1,27 раза. Важным является и то, что при более про-

**Таблица 3.** Результаты термического анализа древесины со сроком эксплуатации 200 лет, обработанной антипиренами

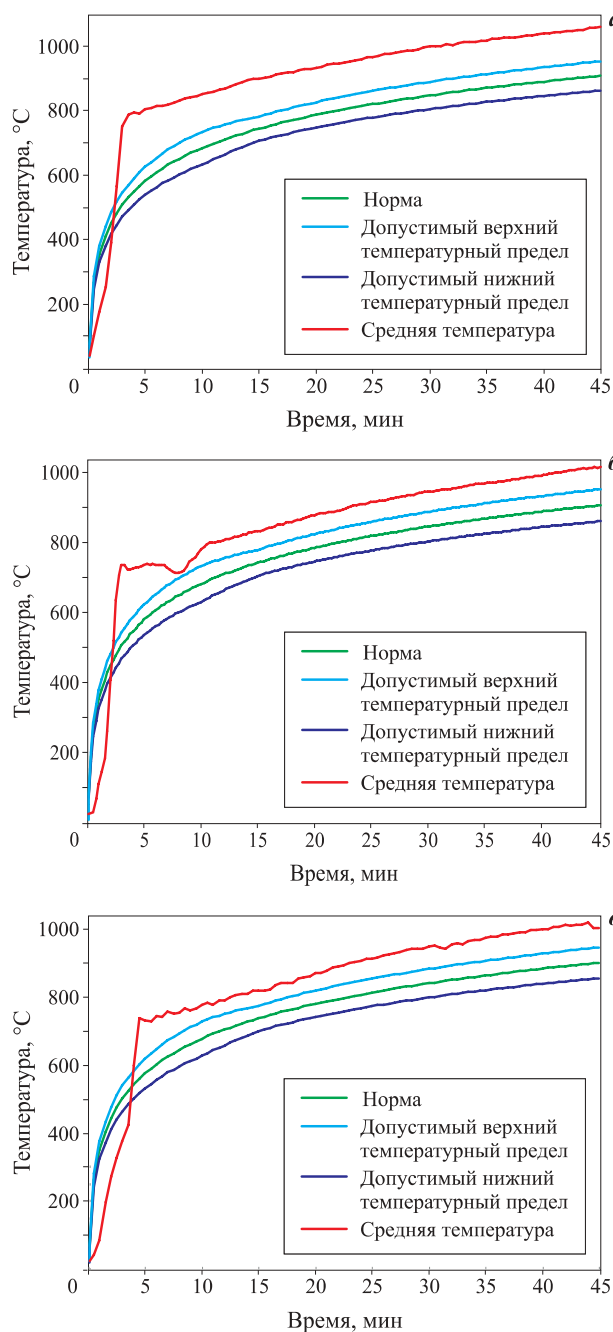
Интервал температур, °С	Характеристика	Образцы сосны		
		без обработки	с обработкой составом	
			2	2К
30...150	Потеря массы, %	4,84	3,0	6,0
150...450	Потеря массы, %	55,73	51,0	38,7
	Максимум ДТГ: – температура $T$ , °С	353	309	278
	– амплитуда, %/мин	9,9	7,3	4,1
450...600	Скорость окисления угля, %/мин	27,5	19,2	4,7

должительной эксплуатации деревянных конструкций (до 200 лет) данный состав сохраняет свою эффективность в снижении скорости окисления образующегося угольного остатка (рис. 6).

Обработка древесного материала огнезащитными составами способствует ускорению процессов его карбонизации, при этом максимум ДТГ смещается в область более низких температур — с 353 °С для



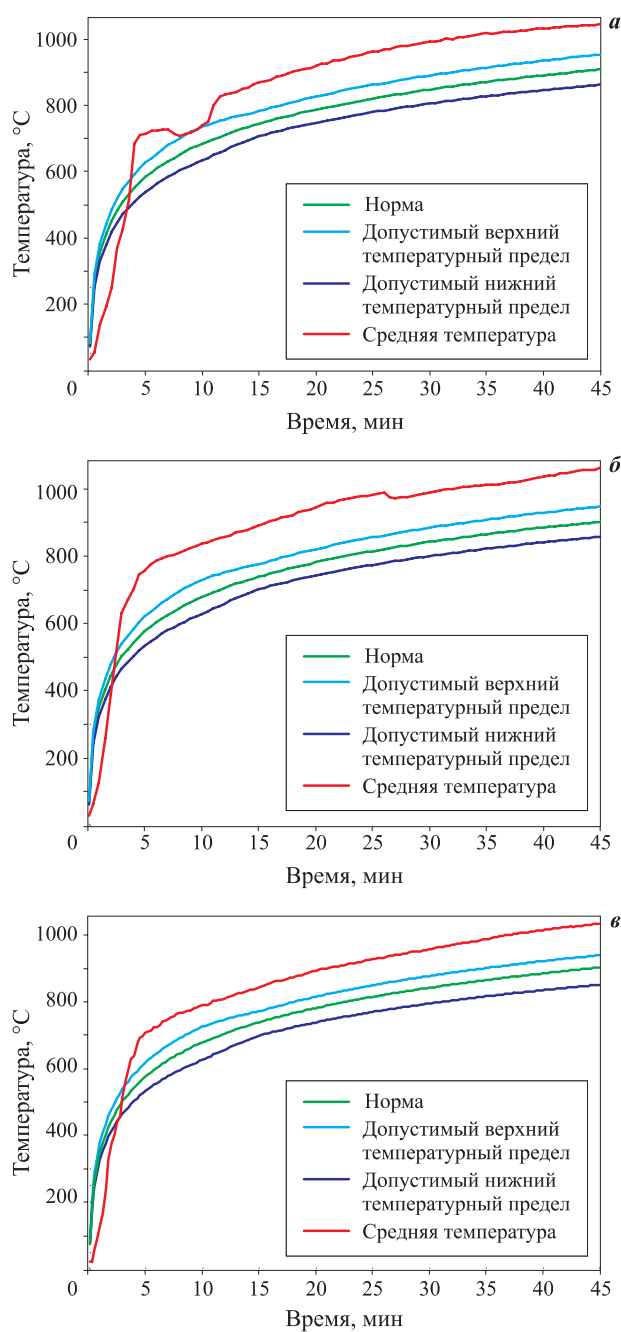
**Рис. 6.** ТГ- и ДТГ-кривые для образцов древесины со сроком эксплуатации 200 лет без обработки и с обработкой составами 2 и 2К (20 °С/мин, среда — до 500 °С азот, далее — воздух)



**Рис. 7.** Динамика нарастания температур в огневой камере при испытании современной деревянной конструкции без обработки (а) и с обработкой составами 2 (б) и 2К (в)

древесины длительного естественного старения без огнезащиты до 309 и 278 °С для той же древесины, обработанной огнезащитными составами 2 и 2К соответственно (табл. 3).

При этом на кривой ДТГ (см. рис. 6) наблюдается появление дополнительных пиков в интервале температур 150...450 °С, снижение скорости деструкции, а также расширение температурного интервала окисления в сторону более высоких температур. Кроме того, модификация структуры древесины используемыми составами привела к резкому сниже-



**Рис. 8.** Динамика нарастания температур в огневой камере при испытании конструкций из сосны со сроком эксплуатации 81 год без обработки (а) и с обработкой составами 2 (б) и 2К (в)

нию скорости окисления кокса с 27,5 до 19,2 %/мин (состав 2) и 4,7 %/мин (состав 2К).

Для проведения огневых испытаний по оценке эффективности исследуемых огнезащитных составов на пожарную опасность ДК по ГОСТ 30403–2012 были подготовлены конструкции из древесины сосны с различными сроками эксплуатации, в том числе с огнезащитными пропиточными составами.

В соответствии с существующей методикой испытательная печь разделена на огневую и тепловую камеры, каждая из которых имеет две зоны контроля

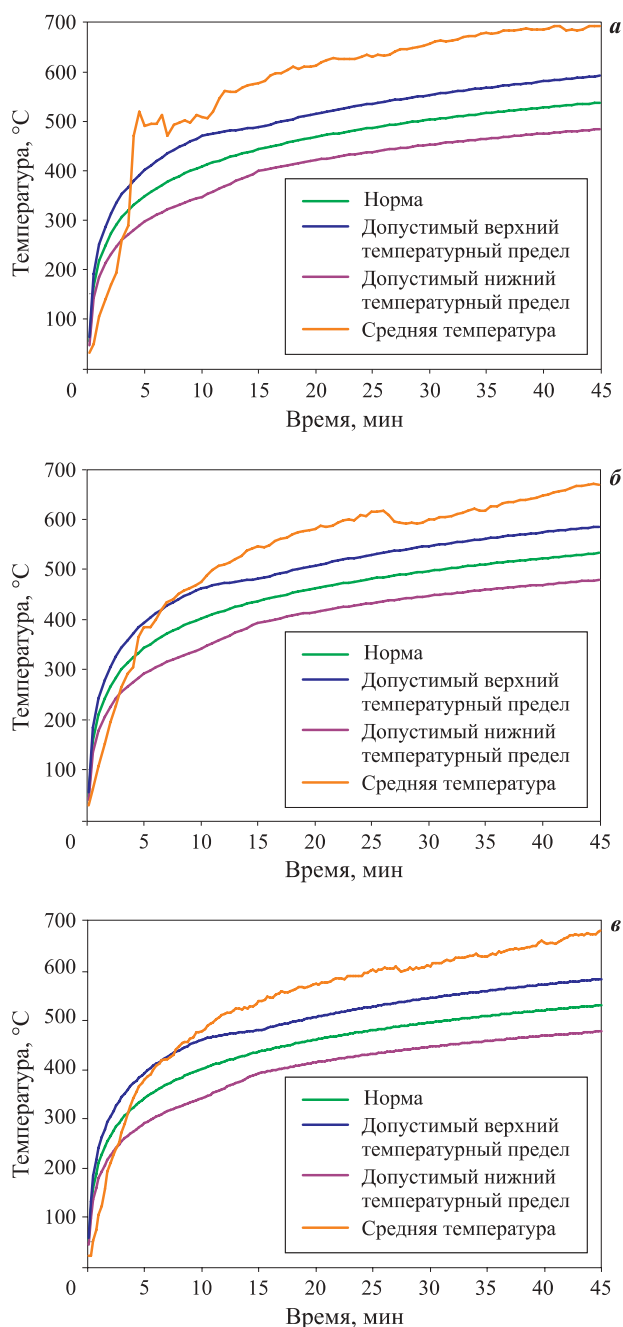
динамики изменения температур: в одной зоне проводится измерение средних температур в каждой из камер, в другой зоне — по объему сечения конструкции (20, 40, 60, 80 и 100 мм от поверхности, подвергаемой огневому воздействию) в ее геометрическом центре в огневой камере и в контрольной зоне в тепловой камере. Продолжительность огневого воздействия для всех видов конструкций составляла 45 мин.

Исходя из анализа интенсивности нарастания температур (рис. 7 и 8) при огневых испытаниях как для современных ДК, так и для ДК с длительным сроком эксплуатации, обработанных огнезащитными составами, можно отметить, что характерные отличия наблюдаются только на начальном этапе испытаний. Это обусловлено прежде всего незначительным количеством антипирена в поверхностном слое конструкции.

Основная научная концепция, заложенная в настоящую работу, связана с возможностью влияния огнезащитных составов (антипиренов) на особенности образования угольного остатка, его структуру и свойства в течение первых минут огневого воздействия с целью не только снижения пожароопасных свойств ДК на начальном этапе, но и сохранения термической устойчивости и целостности конструкций в условиях продолжительного пожара.

Предложенная научная концепция находит отражение в результатах проведенных огневых испытаний. Несмотря на незначительное количество антипирена в поверхностном слое конструкций, на всем протяжении огневых испытаний проявляется эффект снижения температуры в конструкциях с огнезащитными составами по сравнению с конструкциями из необработанной древесины. Независимо от срока эксплуатации на протяжении всего времени огневого испытания огнезащитные составы способны снижать температуру в огневой камере установки на 20...80 °С, т. е. в целом можно свидетельствовать о значительном снижении общего теплового эффекта.

Эффективность огнезащитных составов проявляется также при оценке времени воспламенения современной ограждающей ДК в условиях стандартного температурного режима пожара. Визуально было установлено, что воспламенение образца современной ДК происходит через 2,5 мин после начала стандартного температурного воздействия. Огнезащитная обработка ДК составами 2 и 2К позволяет повысить устойчивость конструкций к воспламеняемости соответственно в 1,4 и 1,8 раза. Визуальные наблюдения за состоянием поверхности испытываемой конструкции показывают, что карбонизация и последующее обугливание поверхностного слоя ДК с огнезащитой в среднем на 1–2 мин опережают ана-



**Рис. 9.** Динамика нарастания температур в тепловой камере при испытании конструкций сосны с длительным сроком эксплуатации без обработки (а) и с обработкой составами 2 (б) и 2К (в)

логичные процессы для необработанной древесины, что согласуется с “классической” теорией снижения горючести древесины.

Для конструкций с длительным сроком эксплуатации огнезащитная эффективность состава 2 снижается по сравнению с конструкциями из современной древесины. На некоторых временных участках испытаний значение температуры сопоставимо с тепловым эффектом для образца ДК с длительным сроком эксплуатации без огнезащитной обработки. В сравнении с этим эффективность огнезащитного

**Таблица 4.** Средние значения скоростей обугливания деревянных ограждающих конструкций с различными сроками эксплуатации

Место испытания	Современная ДК (сосна)			ДК со сроком эксплуатации 81 год		
	Без обработки	Состав 2	Состав 2К	Без обработки	Состав 2	Состав 2К
Тепловая камера	0,61	0,52	0,41	0,75	0,69	0,61
Огневая камера	0,72	0,67	0,57	1,06	0,95	0,82

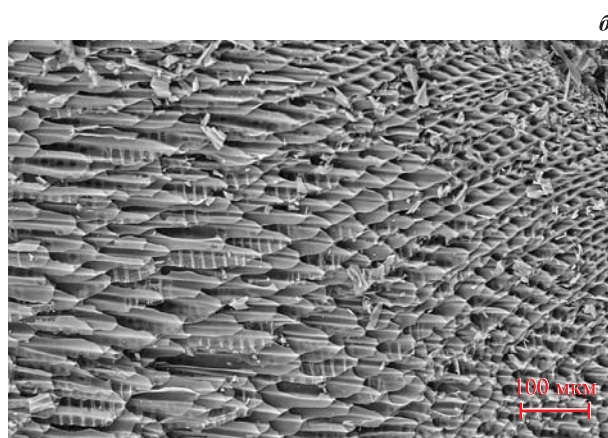
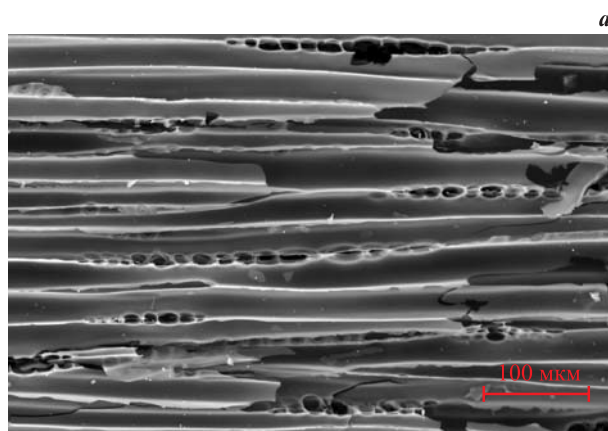
Примечание. Представлены средние значения скорости обугливания в камерах установки по результатам не менее 30 замеров глубины обугливания в каждой камере.

состава 2К в снижении температурных показателей для ДК со сроком эксплуатации 81 год сохраняется. На всем протяжении огневых испытаний значение температуры в огневой камере в среднем меньше на 50 °С по сравнению с результатами испытаний конструкции из нативной древесины. По всей видимости, сказывается способность огнезащитного состава 2К снижать окислительную и теплотворную способность угольного слоя, образующегося фактически уже на первых минутах огневых испытаний. Как и в случае испытаний современной ограждающей ДК с огнезащитными составами, для конструкций со сроком эксплуатации 81 год было визуально обнаружено более раннее начало характерного потемнения и карбонизации поверхностного слоя образца. Это подтверждается также результатами, полученными с использованием методов термического анализа.

Эффект снижения прироста температуры для конструкция с огнезащитными составами во время огневых испытаний был установлен и в тепловой камере установки как для образца современной ДК, так и для конструкции с длительным сроком эксплуатации с огнезащитными составами.

На рис. 9 представлены кривые изменения температуры во время огневых испытаний ДК со сроком эксплуатации 81 год. Огнезащитное действие составов, так же как и при прямом огневом воздействии, визуально проявляется на начальном этапе теплового воздействия. Через 5 мин после начала испытания температура в тепловой камере при испытании необработанной конструкции достигала 500 °С (см. рис. 9,а), обработанной составом 2 — 460 °С (см. рис. 9,б) и 2К — 450 °С (см. рис. 9,в).

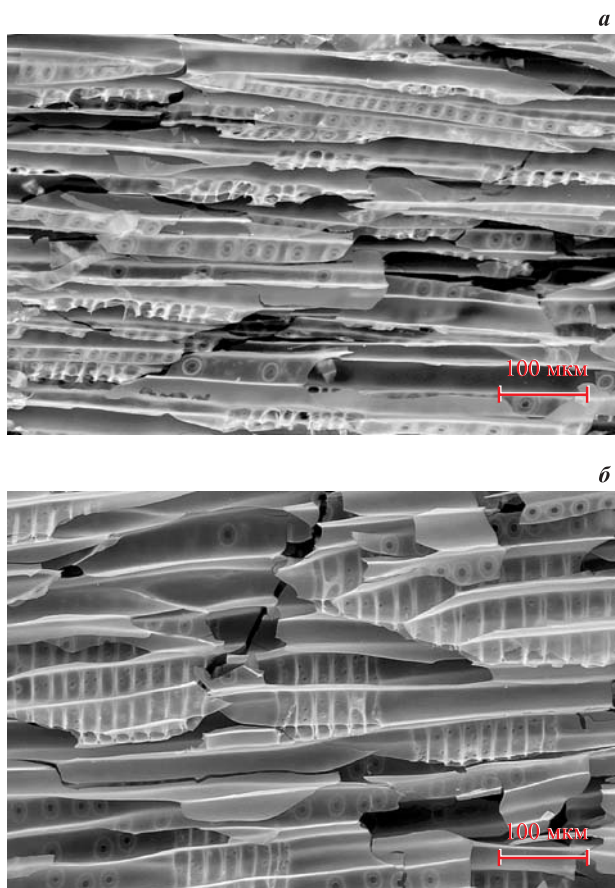
Важным при разработке огнезащитных составов является не только их способность к снижению пожарной опасности ДК, но и к повышению огнестойкости конструкций. Особый интерес представляет оценка влияния разработанных огнезащитных составов на интенсивность обугливания — главного процесса, определяющего огнестойкость ДК. Средние значения скоростей обугливания ДК с различными сроками эксплуатации в огневой и тепловой камерах установки приведены в табл. 4.



**Рис. 10.** Структура угольного слоя современной ограждающей ДК (а) и ДК со сроком эксплуатации 81 год (б) на момент выключения газовой горелки (увеличение  $\times 500$  раз)

Как видно из представленных результатов, огнезащитный состав 2К является наиболее эффективным в снижении скорости обугливания ДК с различными сроками эксплуатации. Так, значения скоростей обугливания для образцов ДК с составом 2К в огневой камере установки ниже в 1,26...1,29 раза по сравнению с конструкциями без огнезащиты.

Огнезащитный состав 2 является менее эффективным в снижении интенсивности обугливания ДК. Так, снижение скорости обугливания образцов конструкций с огнезащитным составом 2 в 1,07 раза ниже по сравнению с конструкцией без огнезащиты и в 1,1 раза ниже по сравнению с ДК с длительным сроком эксплуатации. Анализ представленных дан-



**Рис. 11.** Структура угольного слоя образцов ограждающих ДК с длительным сроком эксплуатации после огневых испытаний с обработкой ДК огнезащитными пропиточными составами 2 (а) и 2К (б) (увеличение  $\times 500$  раз)

ных показывает, что скорость обугливания ДК, обработанных огнезащитными составами, не является постоянной величиной, а зависит от вида антипирена и механизма его огнезащитного действия. Это должно учитываться при расчетной оценке пределов огнестойкости ДК с различными сроками эксплуатации и выборе огнезащитных составов.

В целях качественного установления степени термического повреждения исследуемых образцов ДК, а также целостности угольного слоя в работе был использован метод электронной микроскопии. Прежде всего, необходимо было понять, как изменяется структура угольного слоя для ДК при увеличении срока их эксплуатации. На рис. 10 представлены реплики поверхности угольного остатка для образцов современной ДК и ДК со сроком эксплуатации 81 год.

Представленные реплики поверхностей угольного остатка свидетельствуют о том, что для угольного слоя древесины с длительным сроком эксплуатации характерна более развитая и открытая внутренняя поверхность по сравнению с образцом современной древесины. Это во многом объясняет

повышенную окислительную способность угля для ДК с длительным сроком эксплуатации.

Результаты, полученные методом электронной микроскопии, позволили установить характерные изменения в структуре угольного остатка исследуемых образцов с огнезащитными составами. В качестве примера на рис. 11 представлены реплики поверхности угольного слоя образцов ограждающих ДК с длительным сроком эксплуатации, обработанных антипиренами, после огневых испытаний.

Реплики структуры угольного слоя для ДК с огнезащитными составами, полученные с помощью метода электронной микроскопии, во многом объясняют эффективность огнезащиты в снижении пожарной опасности конструкций с длительным сроком эксплуатации. По всей видимости, антипирены оказывают влияние на формирование угольного слоя с меньшей удельной площадью поверхности. Обугленный плотный слой, формирующийся на поверхности древесины при испытании, характеризуется большей однородностью и отсутствием ярко выраженной “сотоподобной” открытой структуры по сравнению с обугленной поверхностью необработанной древесины.

Обнаруженная у антипиренов способность к изменению структуры угольного слоя позволяет обеспечить его более высокую устойчивость к выгоранию и окислению, что благоприятно сказывается на снижении теплового эффекта во время огневых испытаний. Это обстоятельство является определяющим для огнезащиты ДК с длительным сроком эксплуатации, пожарная опасность и огнестойкость которых во многом характеризуются свойствами и структурой угольного слоя, его высокой окислительной и теплотворной способностью.

## Заключение

В работе предложены пропиточные огнезащитные композиции для снижения пожарной опасности деревянных конструкций с различными сроками эксплуатации. С использованием методов термического анализа показано, что при разработке и применении антипиренов для древесины с длительным сроком эксплуатации определяющими характеристиками являются скорость и теплота окисления угольного остатка. Разработанные составы позволяют эффективно снизить данные характеристики, особенно огнезащитный состав на основе диметилфосфита и модифицирующих добавок. Так, теплота окисления угольного остатка для древесины со сроком эксплуатации 81 год, обработанной этим антипиреном, снижается в 1,27 раза по сравнению с современной древесиной. Показано, что при повышении срока эксплуатации ДК до 200 лет эффективность данного

антипирена в снижении указанных характеристик термического анализа сохраняется.

В условиях продолжительного огневого воздействия на установке по ГОСТ 30403–2012 показано, что огнезащитные составы способны оказывать влияние на особенности образования угольного остатка, его структуру и свойства в течение первых минут огневого воздействия с целью не только снижения пожароопасных свойств ДК на начальном этапе, но и сохранения термической устойчивости и целостности ДК в условиях продолжительного пожара. Важным является то, что разработанные огнезащитные композиции являются эффективными в снижении интенсивности обугливания — главного процесса, определяющего огнестойкость конструкций из древесины. Так, например, значения скоростей обугливания для образцов ДК с составом 2К в огневой камере установки ниже в 1,26...1,29 раза по сравнению с конструкциями без огнезащиты. Способность предложенных огнезащитных составов

снижать скорость обугливания обусловлена механизмом их огнезащитного действия.

Анализируя полученные реплики поверхностей углей, авторы пришли к выводу, что высокая окислительная способность угольного остатка для древесины с длительным сроком эксплуатации обусловлена его более развитой и открытой внутренней поверхностью по сравнению с образцом современной древесины. Разработанные огнезащитные композиции (антипирены) способны не только изменять основные стадии термического разложения древесины, но и оказывать влияние на структуру и свойства образующегося угольного слоя, снижение его окислительной способности и теплового эффекта в условиях огневых испытаний ДК.

Это, в конечном счете, позволит снизить степень термического повреждения, скорость обугливания и интенсивность тепловыделения при горении конструкций, определяющих в итоге их пожарную опасность и огнестойкость.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анохин Е. А., Полищук Е. Ю., Сивенков А. Б. Пожарная опасность ограждающих деревянных конструкций с длительным сроком эксплуатации // Пожаровзрывобезопасность. — 2016. — Т. 25, № 10. — С. 30–40. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.10.30-40.
2. Асеева Р. М., Барботько С. Л., Серков Б. Б., Сивенков А. Б., Дегтярев Р. В., Тарасов Н. И. Влияние времени эксплуатации древесины на ее пожароопасные свойства // Энциклопедия инженера-химика. — 2010. — № 3. — С. 27–33.
3. Покровская Е. Н., Пищик И. И., Смирнов Н. В., Нагановский Ю. К. Термическая устойчивость древесины различной длительности эксплуатации // Строительные материалы. — 2000. — № 9. — С. 34–35.
4. Тычино Н. А. Современные огнезащитные средства для древесины: результаты исследований // Пожаровзрывобезопасность. — 1999. — Т. 8, № 3. — С. 13–20.
5. Покровская Е. Н., Кобелев А. А., Нагановский Ю. К. Механизм и эффективность огнезащиты фосфоркремнийорганических систем для древесины // Пожаровзрывобезопасность. — 2009. — Т. 18, № 3. — С. 44–48.
6. Афанасьев С. В., Коротков Р. В., Кузьмин И. В., Триполицын А. А. Исследование эффективности огнезащитных составов на основе амидофосфата // Пожаровзрывобезопасность. — 2007. — Т. 16, № 3. — С. 28–31.
7. Балакин В. М., Литвинцев Ю. И., Полищук Е. Ю., Рукавишников А. В. Изучение огнезащитной эффективности азотфосфорсодержащих составов для древесины // Пожаровзрывобезопасность. — 2007. — Т. 16, № 5. — С. 39–41.
8. Тычино Н. А., Федосеев И. Г., Баранов А. В. Особенности строения и огнебиозащиты археологической древесины // Пожаровзрывобезопасность. — 2007. — Т. 16, № 1. — С. 19–25.
9. Покровская Е. Н., Нагановский Ю. К. Огнебиозащита памятников деревянного зодчества // Пожаровзрывобезопасность. — 2004. — Т. 13, № 6. — С. 33–36.
10. Покровская Е. Н. Химико-физические основы увеличения долговечности древесины. Сохранение памятников деревянного зодчества с помощью элементоорганических соединений : монография. — М. : Изд-во АСВ, 2003. — 104 с.
11. Полищук Е. Ю., Сивенков А. Б., Бирюков Е. П. Нормативные требования к огнезащите древесины и экспертная оценка ее качества // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. — 2016. — № 2. — С. 77–80.
12. Асеева Р. М., Серков Б. Б., Сивенков А. Б., Кулаков В. С., Крашенинникова Н. Н., Сахаров А. М., Сахаров П. А. Эффективность и механизм действия двух огнезащитных систем для древесины // Пожаровзрывобезопасность. — 2007. — Т. 16, № 5. — С. 23–30.
13. Трушкин Д. В., Корольченко О. Н., Бельцова Т. Г. Горючесть древесины, обработанной огнезащитными составами // Пожаровзрывобезопасность. — 2008. — Т. 17, № 1. — С. 29–33.

14. Харитонов В. С. Несущая способность изгибаемых клееных деревянных конструкций массивного сечения при тепловом воздействии : дис. ... канд. техн. наук / ВНИИПО МВД России. — М., 1992. — 190 с.
15. Гаращенко Н. А. Исследования эффективности огнезащиты деревоклееных конструкций : дис. ... канд. техн. наук / МГСУ. — М., 2007. — 152 с.
16. Кулаков В. С., Крашенинникова Н. Н., Сивенков А. Б., Серков Б. Б., Демидов И. А. Снижение пожарной опасности деревянных строительных конструкций способом глубокой пропитки древесины огнебиозащитным составом КСД-А (марка 1) // Пожаровзрывобезопасность. — 2012. — Т. 21, № 3. — С. 31–38.
17. Васильев В. В., Леонович А. А. Обеспечение огнезащитности древесно-стружечных плит с помощью амидофосфата КМ // Деревообрабатывающая промышленность. — 1997. — № 5. — С. 6–7.
18. Афанасьев С. В., Балакин В. М. Теория и практика огнезащиты древесины и древесных изделий : монография. — Самара : Изд-во СамНЦ РАН, 2012. — 138 с.
19. Асеева Р. М., Серков Б. Б., Сивенков А. Б. Горение древесины и ее пожароопасные свойства : монография. — М. : Академия ГПС МЧС России, 2010. — 262 с.
20. Aseeva R. M., Serkov B. B., Sivenkov A. B. Fire behavior and fire protection in timber buildings. — Dordrecht : Springer Science + Business Media, 2014. — 280 p. DOI: 10.1007/978-94-007-7460-5.
21. Макишев Ж. К., Сивенков А. Б. Огнестойкость деревянных конструкций с длительным сроком эксплуатации // Пожаровзрывобезопасность. — 2016. — Т. 25, № 3 — С. 34–44. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.03.34-44.
22. Lowden L. A., Hull T. R. Flammability behaviour of wood and a review of the methods for its reduction // Fire Science Reviews. — 2013. — Vol. 2, Issue 1. — P. 4. DOI: 10.1186/2193-0414-2-4.
23. Terzi E., Kartal S. N., White R. H., Shinoda K., Imamura Y. Fire performance and decay resistance of solid wood and plywood treated with quaternary ammonia compounds and common fire retardants // European Journal of Wood and Wood Products. — 2011. — Vol. 69, Issue 1. — P. 41–51. DOI: 10.1007/s00107-009-0395-0.

*Материал поступил в редакцию 10 января 2017 г.*

**Для цитирования:** Анохин Е. А., Полищук Е. Ю., Сивенков А. Б. Применение огнезащитных пропиточных композиций для снижения пожарной опасности деревянных конструкций с различными сроками эксплуатации // Пожаровзрывобезопасность. — 2017. — Т. 26, № 2. — С. 22–35. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.02.22-35.

English

## USE OF FIRE-RETARDANT IMPREGNATING COMPOSITIONS FOR REDUCING FIRE HAZARD OF WOODEN STRUCTURES OF VARIOUS LIFETIMES

**ANOKHIN E. A.**, Senior Researcher, Research Department of Research Complex Fire and Rescue Equipment, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail: dzhefa@inbox.ru)

**POLISHCHUK E. Yu.**, Candidate of Technical Sciences, Head of Department of Fire Investigation, Ural Institute of State Fire Service of Emercom of Russia (Mira St., 22, Yekaterinburg, 620062, Russian Federation; e-mail: epyur@ya.ru)

**SIVENKOV A. B.**, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Academic Secretary, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail: sivenkov01@mail.ru)

### ABSTRACT

The article presents the results of a study on the development of fire-retardant impregnating compositions for reducing fire hazard of protecting wooden structures (WS) of different lifespan. Basic scientific notion in the present work, connected with the possibility of influence of fire retardants (fire

retardants) on the formation of coal residue, its structure and properties within the first minutes of fire exposure with the aim of reducing fire hazard properties of WS is not only at the initial stage, but maintaining the thermal stability and the cohesiveness of WS in conditions of prolonged fire.

The results of the study using thermal analysis showed that during the development and application of fire retardants for wood long life the defining characteristics are speed and the heat of oxidation of the coal residue. This is due to the specific behavior of the long-term operation wood under fire conditions. Designed compounds effectively reduce these characteristics. So the heat of coal oxidation residue for long — term operation wood (81 years) with the composition containing dimetilfosfit and modifying additives, is reduced to 1.27 times in comparison with coal modern wood. It is shown that with increasing period of operation of WS up to 200 years, the effectiveness of this flame retardant in the reduction of the characteristics of thermal analysis is preserved.

It is determined that the flame retardants can have an impact on the formation of coal residue, its structure and properties and also to reduce heat effect (20–80 °C) throughout the experiment and intensity of WS charring (1.07–1.29 times) in the conditions of fire tests according to GOST 30403–2012, despite a small amount of flame retardant in the surface layer of the structure.

The effectiveness of flame retardants is also evident in the reduction of ignition time by WS in standard temperature conditions of a fire. Fire-retardant treatment of WS compounds allows to increase the resistance of structures to flammability to 1.4–1.8 times.

Mechanism of fire retardant effect is evident in change of main phases of wood thermal decomposition as well as in impact on the structure and properties of formed coal layer and it's oxidizing capacity and heat effect in term of WS fire testing. This is extremely important because these characteristics are closely interrelated with the extent of thermal damage, charring, and the intensity of heat dissipation WS, which determine ultimately their fire danger and fire resistance.

**Keywords:** fire danger; fire; wood; wooden constructions; lifespan; thermal effect; speed of charring; flame retardant; fire protection.

## REFERENCES

1. Anokhin E. A., Polishchuk E. Yu., Sivenkov A. B. Fire danger protecting wooden structures long term operation. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2016, vol. 25, no. 10, pp. 30–40 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2016.25.10.30-40.
2. Aseeva R. M., Barbotko S. L., Serkov B. B., Sivenkov A. B., Degtyarev R. V., Tarasov N. I. Influence of wood operation time on its fire-hazard properties. *Entsiklopediya inzhenera-khimika (Encyclopaedia of Chemical Engineer)*, 2010, no. 3, pp. 27–33 (in Russian).
3. Pokrovskaya E. N., Pishchik I. I., Smirnov N. V., Naganovskiy Yu. K. Thermal stability of wood with different duration of use. *Stroitelnyye materialy (Construction Materials)*, 2000, no. 9, pp. 34–35 (in Russian).
4. Tychino N. A. Modern fire retardant means for wood: study results. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 1999, vol. 8, no. 3, pp. 13–20 (in Russian).
5. Pokrovskaya E. N., Kobelev A. A., Naganovskiy Yu. K. Mechanism and efficiency of flame retardance of phosphorussiliconorganic systems for wood. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2009, vol. 18, no. 3, pp. 44–48 (in Russian).
6. Afanasyev S. V., Korotkov R. V., Kuzmin I. V., Tripolitsin A. A. Investigation of effectiveness of fire retardant on the base of amidphosphat. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2007, vol. 16, no. 3, pp. 28–31 (in Russian).
7. Balakin V. M., Litvinets Yu. I., Polishchuk E. Yu., Rukavishnikov A. V. Investigation of fire retardance effectiveness of nitrogen containing composition for wood. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2007, vol. 16, no. 5, pp. 39–41 (in Russian).
8. Tychino N. A., Fedoseenko I. G., Baranov A. V. Features of the structures and bio- and fire retardance of ancient wood. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2007, vol. 16, no. 1, pp. 19–25 (in Russian).
9. Pokrovskaya E. N., Naganovskiy Yu. K. Fire and biological protection of wood architecture monuments. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2004, vol. 13, no. 6, pp. 33–36 (in Russian).

10. Pokrovskaya E. N. *Chemical and physical bases of increase the durability of the wood. Saving of wood buildings monuments with usage of elementorganic compositions*. Moscow, ASV Publ., 2003. 104 p. (in Russian).
11. Polishchuk E. Yu., Sivenkov A. B., Biryukov E. P. Regulatory requirements to wood protection from fires and its quality expert assessment. *Pozhary i chrezvychaynyye situatsii: predotvrashcheniye, likvidatsiya (Fire and Emergencies: Prevention, Elimination)*, 2016, no. 2, pp. 77–80 (in Russian).
12. Aseeva R. M., Serkov B. B., Sivenkov A. B., Kulakov V. S., Krashennnikova N. N., Sakharov A. M., Sakharov P. A. Effectiveness and mechanism of action of two fire retardant system for wood. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2007, vol. 16, no. 5, pp. 23–30 (in Russian).
13. Trushkin D. V., Korolchenko O. N., Beltsova T. G. Combustion of fire retardanted wood. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2008, vol. 17, no. 1, pp. 29–33 (in Russian).
14. Kharitonov V. S. *Bearing capacity of bent laminated wood structures of solid cross section under thermal influence*. Diss. cand. tech. sci. Moscow, 1992. 190 p. (in Russian).
15. Garashchenko N. A. *Investigation of effectiveness of fire retardance of laminated timber construction*. Diss. cand. tech. sci. Moscow, 2007. 152 p. (in Russian).
16. Kulakov V. S., Krashennnikova N. N., Sivenkov A. B., Serkov B. B., Demidov I. A. Fire danger decrease for wooden building construction by means of deep with fire and bioprotective composition KSD-A (Type 1). *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 3, pp. 31–38 (in Russian).
17. Vasilyev V. V., Leonovich A. A. Ensuring fire protection of chipboards with amidophosphate KM. *De-revoobratyvyayushchaya promyshlennost (Woodworking Industry)*, 1997, no. 5, pp. 6–7 (in Russian).
18. Afanasyev S. V., Balakin V. M. *Theory and practices of fire retardance of wood and wood products*. Samara, Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences Publ., 2012. 138 p. (in Russian).
19. Aseeva R. M., Serkov B. B., Sivenkov A. B. *Burning wood and its fire behavior*. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2010. 262 p. (in Russian).
20. Aseeva R. M., Serkov B. B., Sivenkov A. B. *Fire behavior and fire protection in timber buildings*. Dordrecht, Springer Science+Business Media, 2014. 280 p. DOI: 10.1007/978-94-007-7460-5.
21. Makishev Zh. K., Sivenkov A. B. Fire resistance of wooden structures a long life span. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2016, vol. 25, no. 3, pp. 34–44. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.03.34-44 (in Russian).
22. Lowden L. A., Hull T. R. Flammability behaviour of wood and a review of the methods for its reduction. *Fire Science Reviews*, 2013, vol. 2, issue 1, p. 4. DOI: 10.1186/2193-0414-2-4.
23. Terzi E., Kartal S. N., White R. H., Shinoda K., Imamura Y. Fire performance and decay resistance of solid wood and plywood treated with quaternary ammonia compounds and common fire retardants. *European Journal of Wood and Wood Products*, 2011, vol. 69, issue 1, pp. 41–51. DOI: 10.1007/s00107-009-0395-0.

**For citation:** Anokhin E. A., Polishchuk E. Yu., Sivenkov A. B. Use of fire-retardant impregnating compositions for reducing fire hazard of wooden structures of various lifetimes. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2017, vol. 26, no. 2, pp. 22–35. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.02.22-35.

**С. В. ПУЗАЧ**, д-р техн. наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, начальник кафедры инженерной теплофизики и гидравлики, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: puzachsv@mail.ru)

**НГУЕН ТАТ ДАТ**, адъюнкт кафедры инженерной теплофизики и гидравлики, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: nguyentatdat1308@gmail.com)

УДК 614.841

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К РАСЧЕТУ КОНЦЕНТРАЦИЙ МОНОКСИДА УГЛЕРОДА И ПОКАЗАТЕЛЯ ТОКСИЧНОСТИ ПРИ ПОЖАРЕ В УСЛОВНО ГЕРМЕТИЧНОМ ПОМЕЩЕНИИ

Предложен новый теоретико-экспериментальный подход к расчету концентраций токсичных газов и показателя токсичности при пожаре в помещении на примере монооксида углерода. Предложены формулы для расчета среднеобъемной плотности СО и показателя токсичности по совместному влиянию концентраций СО и  $O_2$ . Обнаружено, что зависимости среднеобъемной плотности СО монооксида углерода и показателя токсичности от среднеобъемной плотности кислорода не содержат геометрических размеров помещения и поверхностей горючих материалов и, следовательно, являются справедливыми в условиях как мелкомасштабного, так и крупномасштабного пожара. Получены экспериментальные зависимости среднеобъемной плотности монооксида углерода и показателя токсичности от среднеобъемной плотности кислорода в мелкомасштабной экспериментальной установке. Показано, что среднеобъемная плотность монооксида углерода и показатель токсичности по совместному воздействию СО и  $O_2$  при горении твердых и жидких веществ и материалов в условно герметичном объеме произвольных размеров могут быть рассчитаны с использованием только среднеобъемной плотности кислорода, а также удельных коэффициентов выделения СО и поглощения  $O_2$ .

**Ключевые слова:** пожар; моделирование; интегральная модель; монооксид углерода; кислород; показатель токсичности.

**DOI:** 10.18322/PVB.2017.26.02.36-43

### Введение

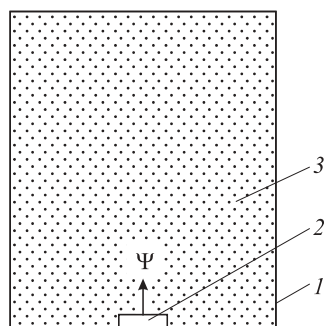
По статистике более чем в 80 % случаев пожаров причиной смерти людей является отравление продуктами горения [1–3], поэтому математическое моделирование распространения токсичных продуктов горения при пожаре представляет собой актуальную задачу [4, 5].

В настоящее время математические модели расчета динамики опасных факторов пожара в помещении, в том числе концентраций токсичных продуктов горения, получили достаточно широкое применение для решения практических задач пожарной безопасности, в частности расчета величины пожарных рисков [5–9].

Исходные данные по выделению токсичных продуктов горения представлены, например, в работах [10] и [4]. Удельные коэффициенты выделения токсичных газов приняты постоянными, не зависящими от термогазодинамической картины развития пожара (концентрации кислорода, температуры и т. д.).

Однако в работах [11, 12] показано, что удельные коэффициенты выделения СО значительно изменяются в зависимости от времени с начала горения, и их средние значения существенно зависят от периода осреднения по времени испытаний. Здесь же предложен новый подход к расчету концентраций токсичных продуктов горения, который заключается в определении среднеобъемных плотностей токсичных газов в каждый момент времени по их экспериментальным зависимостям от среднеобъемной температуры, полученным в разработанной экспериментальной установке. При этом отпадает необходимость в решении дифференциальных уравнений законов сохранения масс токсичных газов и, следовательно, в определении удельных коэффициентов выделения газов.

Точность предложенного в [11, 12] подхода в значительной степени зависит от погрешности определения коэффициента теплопотерь в экспериментальной мелкомасштабной установке и реальном полномасштабном помещении.



**Рис. 1.** Схема теплообмена в условно герметичном мелкомасштабном объеме: 1 — ограждающие конструкции; 2 — горючий материал; 3 — смесь продуктов горения и воздуха;  $\Psi$  — массовая скорость газификации горючего материала

В настоящей работе с использованием экспериментальных данных, полученных на мелкомасштабной установке [11, 12], предложен другой подход, основанный на применении теоретических и экспериментальных зависимостей среднеобъемных плотностей токсичных газов от среднеобъемной плотности кислорода. При этом отсутствует необходимость в определении коэффициента теплопотерь и решении дифференциальных уравнений законов сохранения масс токсичных газов.

### Постановка задачи

Рассмотрим процесс горения в условно герметичном мелкомасштабном объеме (рис. 1). В качестве токсичного газа будем рассматривать монооксид углерода.

Необходимо получить экспериментальные и теоретические зависимости среднеобъемной плотности монооксида углерода и показателя токсичности от среднеобъемной плотности кислорода в рассматриваемой мелкомасштабной экспериментальной установке.

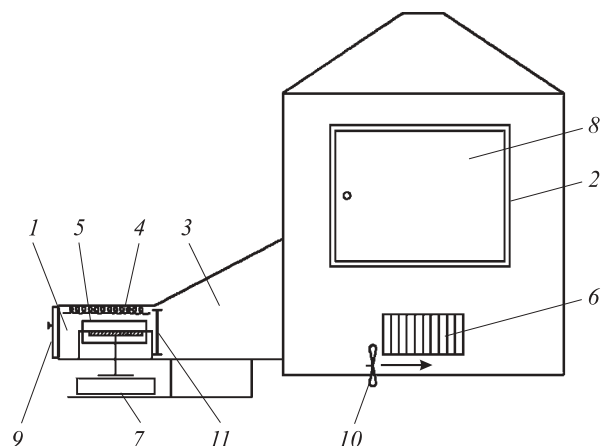
### Экспериментальная установка и методика проведения экспериментов

Схема экспериментальной установки, приведенной в работах [11, 12], представлена на рис. 2.

Камера сгорания 1 соединена с экспозиционной камерой 2 переходным рукавом 3, оснащенным устройством теплового блокирования. В камере сгорания установлен экранированный электронагревательный излучатель 4 и держатель образца 5 на подвижной основе.

Камера сгорания объемом  $3 \times 10^{-3} \text{ м}^3$  выполнена из листовой нержавеющей стали толщиной  $(2,0 \pm 0,1) \text{ мм}$ . На боковой стенке камеры имеется окно из кварцевого стекла для наблюдения за образцом при испытаниях, а также шиберные отверстия 6 для изменения режимов испытания.

Экспозиционная камера представляет собой кубический объем ( $0,5887 \text{ м}^3$ ) с конусообразной верхней частью и шиберными отверстиями на двух боковых стенках.



**Рис. 2.** Схема экспериментальной установки: 1 — камера сгорания; 2 — экспозиционная камера; 3 — переходной рукав; 4 — электронагревательный излучатель; 5 — держатель образца; 6 — шиберные отверстия; 7 — столик с весами; 8 — дверца экспозиционной камеры; 9 — дверца камеры сгорания; 10 — вентилятор; 11 — заслонка (перегородка) переходного рукава

Держатель образцов размещен на электронных весах с погрешностью не более  $\pm 1 \text{ мг}$ , расположенных на специальном подвижном столе 7.

Для непрерывного контроля температуры в экспозиционной камере использовались 32 низкоинерционные бронированные термодпары с диапазоном измерений от минус 40 до  $+1100 \text{ }^\circ\text{C}$  с погрешностью не более  $\pm 1,5t \text{ (}^\circ\text{C)}$ .

Для контроля плотности теплового потока, падающего на испытуемый образец, используется водоохлаждаемый датчик типа Гордона и регистрирующий прибор с диапазоном измерений от 0 до 100 мВ. Погрешность измерения плотности теплового потока не превышает  $\pm 8 \%$ .

Для непрерывного контроля состава газовой среды в экспозиционной камере используется многоканальный газоанализатор, измеряющий с допустимой погрешностью  $\pm 10 \%$  концентрацию оксида углерода в диапазоне от 0 до 1 % об., диоксида углерода — от 0 до 5 % об., кислорода — от 0 до 21 % об.

Горючие материалы испытывали в режиме пламенного горения, который обеспечивался при температуре испытания  $750 \text{ }^\circ\text{C}$  и плотности падающего теплового потока  $60 \text{ кВт/м}^2$ .

Предварительно взвешенный образец материала, имеющий комнатную температуру, помещали в держатель образца (вкладыш). С момента выхода электронагревательного излучателя на стабилизированный режим открывали заслонку переходного рукава и дверцу камеры сгорания. Вкладыш с образцом без задержки помещали в держатель образца, после чего дверцу камеры сгорания закрывали.

В процессе испытаний в режиме постоянного мониторинга фиксировали показания концентраций CO (% об.), CO<sub>2</sub> (% об.), O<sub>2</sub> (% об.), температуры и изменение (потери) массы образца.

### Зависимость плотности монооксида углерода от температуры

В работах [11, 12] показано, что среднеобъемная плотность CO может быть описана зависимостью

$$\rho_{CO} = \rho^* L_{CO}, \quad (1)$$

где  $\rho_{CO}$  — среднеобъемная плотность CO, кг/м<sup>3</sup>;  
 $\rho^*$  — характерная плотность, зависящая только от схемы термогазодинамической картины пожара, теплофизических параметров пожара и горючего материала, кг/м<sup>3</sup>;  $\rho^* = K/Q_H^P$ ;  
 $K$  — коэффициент пропорциональности между среднеобъемной плотностью токсичного газа и отношением  $L_{CO}/Q_H^P$ , Дж/м<sup>3</sup>;  $K = f(T_{cp}, T_B, \varphi)$ ;  
 $T_{cp}$  — среднеобъемная температура газовой среды, К;  
 $T_B$  — температура воздуха в помещении, К;  
 $\varphi$  — коэффициент теплопотерь, равный доле теплоты, выделившейся в очаге горения и поступающей в ограждающие конструкции помещения из всего его объема;  
 $L_{CO}$  — удельный коэффициент выделения монооксида углерода [9];  
 $Q_H^P$  — низшая рабочая теплота сгорания горючего материала, Дж/кг.  
 Для рассматриваемой схемы пожара [13]

$$K = \frac{2,5 \cdot 10^5}{1 - \varphi} \frac{T_{cp} - T_B}{T_B}. \quad (2)$$

Формула (1), выражающая зависимость среднеобъемной плотности CO от среднеобъемной температуры, не содержит геометрических размеров помещения и поверхностей горючих материалов и, следовательно, является справедливой в условиях как мелкомасштабного, так и крупномасштабного пожара в помещении. Этот вывод экспериментально подтвержден в работе [12] путем сопоставления результатов расчетов среднеобъемной плотности монооксида углерода, полученных для полномасштабного помещения с использованием аналитического решения интегральной модели и полной системы уравнений зонной математической модели, с экспериментальными данными по проточной схеме термогазодинамики пожара [12].

К основному недостатку такого подхода относится высокая погрешность определения коэффициента теплопотерь в экспериментальной мелко-масштабной установке и реальном полномасштабном помещении.

### Зависимость плотности монооксида углерода от плотности кислорода

Дифференциальное уравнение закона сохранения массы оксида углерода имеет вид [10]:

$$V \frac{d\rho_{CO}}{dt} = \eta L_{CO} \Psi, \quad (3)$$

где  $V$  — внутренний объем установки, м<sup>3</sup>;

$t$  — время, с;

$\eta$  — коэффициент полноты сгорания;

$\Psi$  — массовая скорость выгорания горючего материала, кг/с.

Удельный коэффициент выделения монооксида углерода в экспериментальной установке в каждый момент времени определяется из формулы (3):

$$L_{CO} = \frac{V}{\eta \Psi} \frac{d\rho_{CO}}{dt}. \quad (4)$$

Дифференциальное уравнение закона сохранения массы кислорода [10] имеет вид:

$$V \frac{d\rho_{O_2}}{dt} = -\eta L_{O_2} \Psi, \quad (5)$$

где  $\rho_{O_2}$  — среднеобъемная плотность кислорода, кг/м<sup>3</sup>;

$L_{O_2}$  — удельный коэффициент поглощения кислорода.

Удельный коэффициент поглощения кислорода в экспериментальной установке рассчитывается с использованием выражения (5):

$$L_{O_2} = \left| \frac{V}{\eta \Psi} \frac{d\rho_{O_2}}{dt} \right|. \quad (6)$$

Зависимость плотности монооксида углерода от плотности кислорода в каждый момент времени от начала горения может быть получена из совместного интегрирования уравнений (3) и (5) от  $t = 0$  до рассматриваемого момента времени  $t$ :

$$\rho_{CO} = L_{CO}/L_{O_2} (\rho_{O_2B} - \rho_{O_2}), \quad (7)$$

где  $\rho_{O_2B}$  — плотность кислорода в атмосферном воздухе, кг/м<sup>3</sup>.

Из выражения (7) видно, что для расчета плотности CO необходимо использовать значения плотности кислорода и удельных коэффициентов поглощения O<sub>2</sub> и выделения CO.

Основным достоинством предложенной формулы (7) по сравнению с выражением (1) является отсутствие необходимости экспериментального или теоретического определения коэффициента теплопотерь  $\varphi$ .

**Показатель токсичности**

Будем рассматривать показатель токсичности  $H_T$  по совместному влиянию концентраций CO и O<sub>2</sub>. В соответствии с работами [2, 13] можно записать:

$$H_T = \frac{\rho_{CO}}{\rho_{CO_{кр}}} + \frac{\rho_{O_2в} - \rho_{O_2}}{\rho_{O_2в} - \rho_{O_2_{кр}}}, \quad (8)$$

где  $\rho_{CO_{кр}}$  — предельно допустимая для человека (критическая) плотность монооксида углерода, кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_{O_2_{кр}}$  — предельно допустимая для человека (критическая) плотность кислорода, кг/м<sup>3</sup>.

Критическое значение показателя токсичности больше единицы и требует обоснования [2, 13].

Используя формулу (7), выражение (8) можно представить в виде зависимости показателя  $H_T$  только от плотности кислорода:

$$H_T = (\rho_{O_2в} - \rho_{O_2}) \left( \frac{L_{CO}}{L_{O_2}} \frac{1}{\rho_{CO_{кр}}} + \frac{1}{\rho_{O_2в} - \rho_{O_2_{кр}}} \right) \quad (9)$$

или

$$H_T = H_{T_{CO}} + H_{T_{O_2}}, \quad (10)$$

где  $H_{T_{CO}}$  — показатель токсичности по воздействию монооксида углерода;  $H_{T_{CO}} = \frac{L_{CO}}{L_{O_2}} \frac{\rho_{O_2в} - \rho_{O_2}}{\rho_{CO_{кр}}}$ ;

$H_{T_{O_2}}$  — показатель токсичности по воздействию кислорода;  $H_{T_{O_2}} = \frac{\rho_{O_2в} - \rho_{O_2}}{\rho_{O_2в} - \rho_{O_2_{кр}}}$ .

**Исходные данные**

Рассматриваются следующие горючие материалы [10]:

- а) твердая горючая нагрузка:
  - хвойные древесные стройматериалы:  $Q_n^p = 13,8$  МДж/кг,  $\Psi_{уд} = 0,0063$  кг/(м<sup>2</sup>·с),  $L_{CO} = 0,024$ ;  $L_{O_2} = 1,15$ ;
  - оболочка кабелей ПВХ:  $Q_n^p = 25$  МДж/кг,  $\Psi_{уд} = 0,0244$  кг/(м<sup>2</sup>·с),  $L_{CO} = 0,109$ ;  $L_{O_2} = 2,19$ ;
- б) жидкая горючая нагрузка — масло трансформаторное:  $Q_n^p = 41,9$  МДж/кг,  $\Psi_{уд} = 0,03$  кг/(м<sup>2</sup>·с),  $L_{CO} = 0,122$ ;  $L_{O_2} = 2,82$ ;

где  $\Psi_{уд}$  — удельная массовая скорость выгорания горючего материала, кг/(м<sup>2</sup>·с).

В соответствии с работой [10] предельно допустимые (критические) значения плотности составляют:  $\rho_{CO_{кр}} = 1,16 \cdot 10^{-3}$  кг/м<sup>3</sup>,  $\rho_{O_2_{кр}} = 0,226$  кг/м<sup>3</sup>.

Значения  $L_{CO}$  определялись также по результатам экспериментов осреднением по времени выражения (4).

**Результаты численных и натурных экспериментов и их анализ**

Эксперименты осуществлялись до температур газовой смеси внутри помещений, не превыша-

Результаты экспериментов

Горючий материал	Условия проведения эксперимента	Среднее значение $L_{CO}$	$L_{CO}$ [9]	Газ*	$H_{T,кр}$
Хвойные древесные стройматериалы	$F = 0,0072$ м <sup>2</sup>	0,024	0,024	CO	1,90
	$F = 0,0145$ м <sup>2</sup>	0,011		O <sub>2</sub>	1,29
Оболочка кабелей ПВХ	$F = 0,0067$ м <sup>2</sup>	0,100	0,109	CO	1,54
	$F = 0,0122$ м <sup>2</sup>	0,096		CO	1,65
Масло трансформаторное	$F = 0,01$ м <sup>2</sup> $\delta = 1,15$ мм	0,056	0,122	CO	1,93
	$F = 0,01$ м <sup>2</sup> $\delta = 7,3$ мм	0,020		O <sub>2</sub>	1,57

\* Газ, плотность которого раньше другого газа достигла критического значения.

Пр и м е ч а н и е.  $F$  — площадь поверхности образца, м<sup>2</sup>;  $\delta$  — толщина слоя трансформаторного масла в кювете, мм;  $H_{T,кр}$  — критическое значение показателя токсичности, при котором плотность CO или O<sub>2</sub> достигает критической величины.

ющих критического для человека значения, равного 70 °С [10].

Средние по времени проведения экспериментов значения  $L_{CO}$  представлены в таблице.

Зависимости среднеобъемной плотности монооксида углерода от изменения среднеобъемной плотности кислорода представлены на рис. 3 для случая горения хвойных древесных стройматериалов, на рис. 4 — трансформаторного масла и на рис. 5 — оболочки кабелей ПВХ.

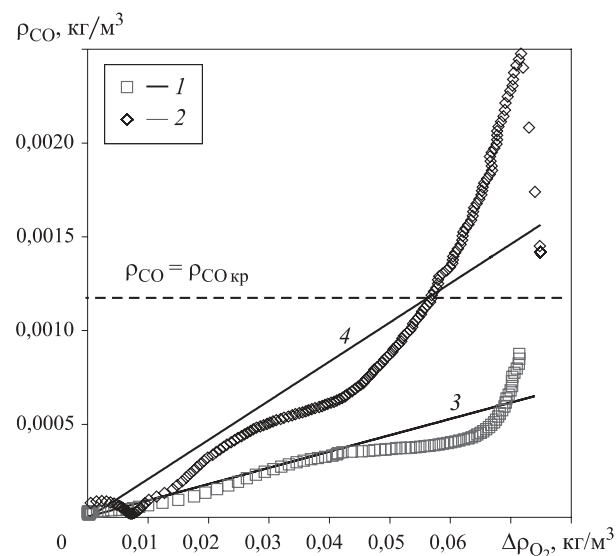
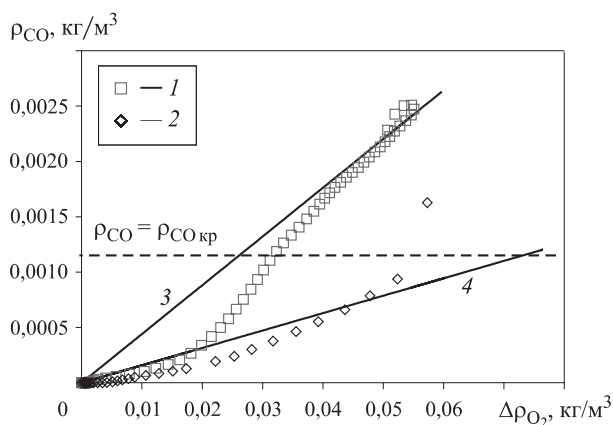
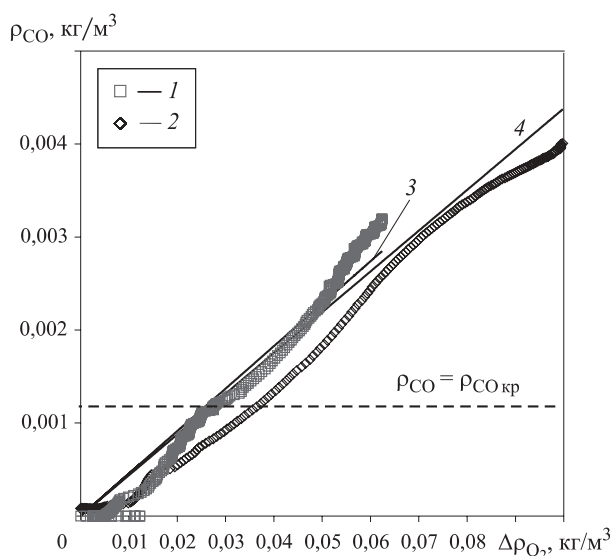


Рис. 3. Зависимости среднеобъемной плотности оксида углерода от изменения среднеобъемной плотности кислорода  $\Delta\rho_{O_2}$  при горении хвойных древесных стройматериалов, полученные экспериментально (1, 2) и расчетом по формуле (3, 4): 1, 3 —  $F = 0,0145$  м<sup>2</sup>; 2, 4 —  $F = 0,0072$  м<sup>2</sup>



**Рис. 4.** Зависимости среднеобъемной плотности оксида углерода от изменения среднеобъемной плотности кислорода  $\Delta\rho_{O_2}$  при горении трансформаторного масла на площади  $F = 0,01 \text{ м}^2$ , полученные экспериментально (1, 2) и расчетом по формуле (7) (3, 4): 1, 3 —  $\delta = 1,15 \text{ мм}$ ; 2, 4 —  $\delta = 7,3 \text{ мм}$

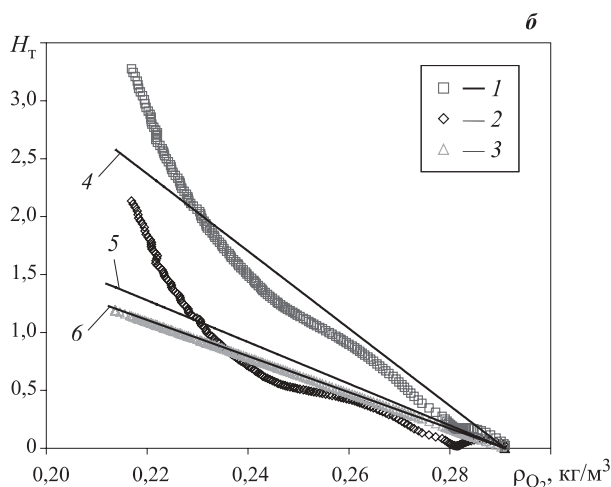
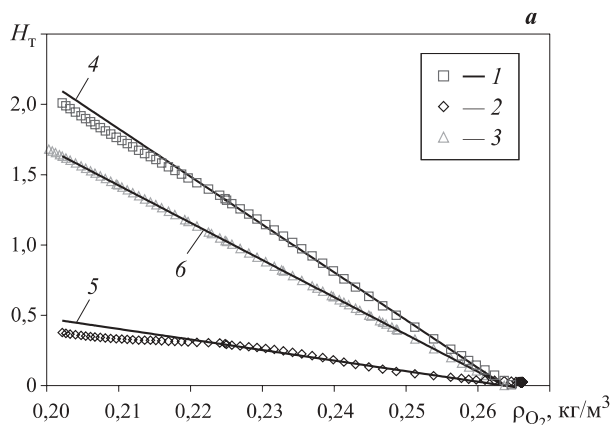


**Рис. 5.** Зависимости среднеобъемной плотности оксида углерода от изменения среднеобъемной плотности кислорода  $\Delta\rho_{O_2}$  при горении оболочки кабелей ПВХ, полученные экспериментально (1, 2) и расчетом по формуле (7) (3, 4): 1, 3 —  $F = 0,0067 \text{ м}^2$ ; 2, 4 —  $F = 0,0122 \text{ м}^2$

Из рис. 3–5 видно, что теоретические значения среднеобъемной плотности CO, полученные с использованием выражения (7) и экспериментальных средних значений  $L_{CO}$ , достаточно точно для инженерного метода расчета совпадают с экспериментальными данными для всех рассматриваемых горючих материалов.

Зависимости показателя токсичности от среднеобъемной плотности кислорода при горении хвойных древесных стройматериалов приведены на рис. 6, трансформаторного масла — на рис. 7, оболочки кабелей ПВХ — на рис. 8.

Из рис. 6–8 видно, что теоретические значения показателей токсичности  $H_T$ ,  $H_{T_{CO}}$  и  $H_{T_{O_2}}$ , получен-



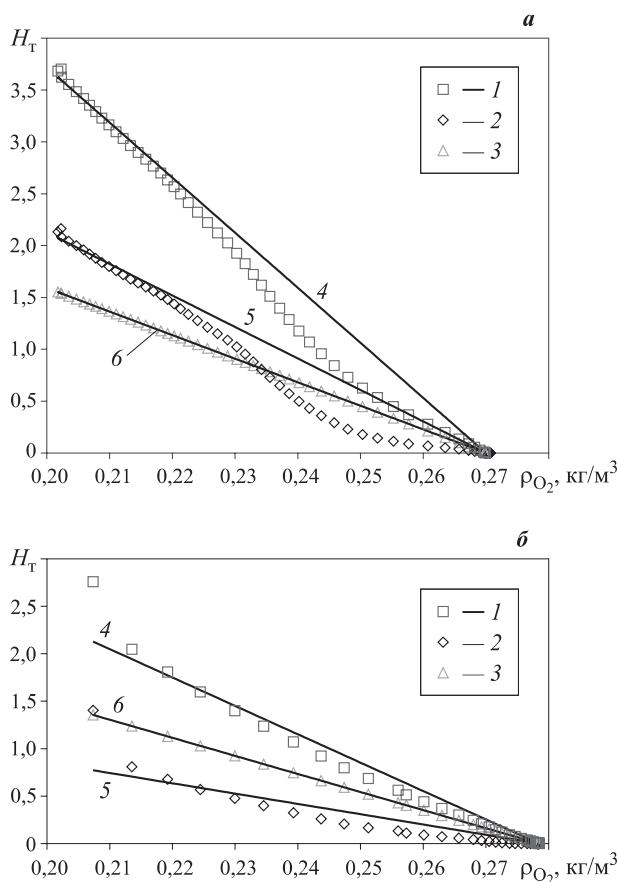
**Рис. 6.** Зависимости показателя токсичности  $H_T$  от среднеобъемной плотности кислорода при горении хвойных древесных стройматериалов на площади  $F = 0,0145 \text{ м}^2$  (а) и  $F = 0,0072 \text{ м}^2$  (б), полученные экспериментально (1–3) и расчетом по формуле (9) (4–6): 1, 4 —  $H_T$ ; 2, 5 —  $H_{T_{CO}}$ ; 3, 6 —  $H_{T_{O_2}}$

ные с использованием формулы (10) и экспериментальных средних значений  $L_{CO}$ , достаточно точно совпадают с соответствующими экспериментальными данными для случаев горения всех рассматриваемых материалов.

Теоретические значения  $\rho_{CO}$ ,  $H_T$ ,  $H_{T_{CO}}$  и  $H_{T_{O_2}}$  в начале процесса горения больше соответствующих экспериментальных значений (см. рис. 3–8), так как в расчетах по формулам (7) и (9) используется среднее значение коэффициента  $L_{CO}$ , а его локальное значение меньше среднего при плотности кислорода, близкой к его плотности в атмосферном воздухе [11, 12]. Таким образом, расчет с использованием выражений (7) и (9) дает некоторый запас по надежности оценки времени блокирования путей эвакуации монооксидом углерода.

Критические значения показателя токсичности, полученные в экспериментах, приведены в таблице.

Для рассматриваемых условий проведения экспериментов критическое значение показателя токсичности  $H_{T_{кр}}$  находится в диапазоне от 1,29 до 1,93.

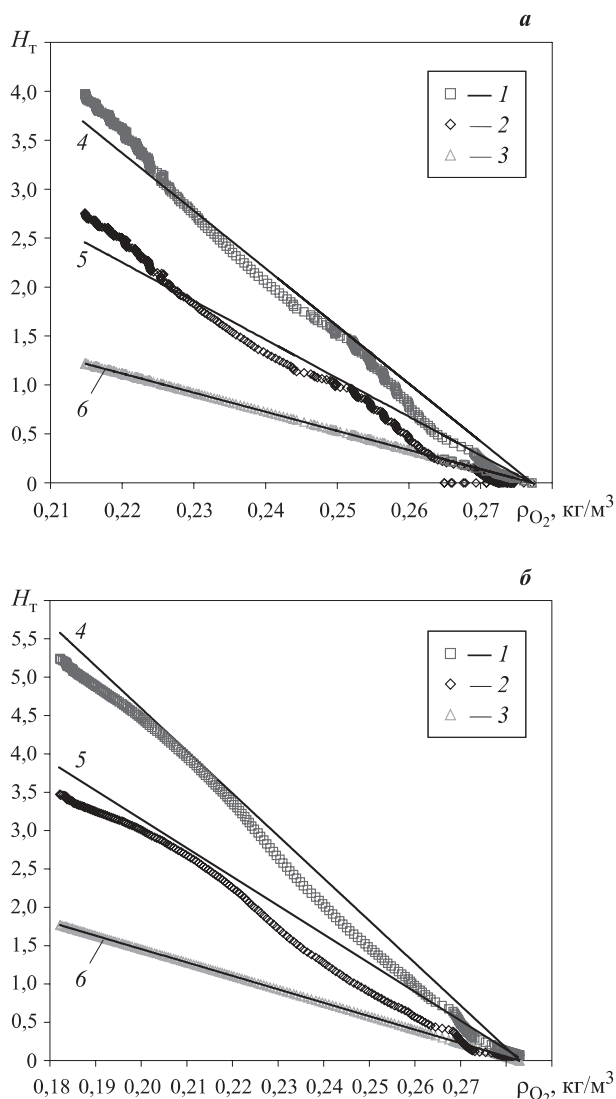


**Рис. 7.** Зависимости показателя токсичности  $H_T$  от среднеобъемной плотности кислорода при горении трансформаторного масла на площади  $F = 0,01 \text{ м}^2$ , полученные экспериментально (1–3) и расчетом по формуле (9) (4–6): а —  $\delta = 1,15 \text{ мм}$ ; б —  $\delta = 7,3 \text{ мм}$ ; 1, 4 —  $H_T$ ; 2, 5 —  $H_{T \text{ CO}}$ ; 3, 6 —  $H_{T \text{ O}_2}$

**Заклучение**

Среднеобъемная плотность монооксида углерода и показатель токсичности по совместному воздействию CO и O<sub>2</sub> при горении твердых и жидких веществ и материалов в условно герметичном объеме произвольных размеров могут быть рассчитаны с использованием только среднеобъемной плотности кислорода, а также удельных коэффициентов выделения монооксида углерода и поглощения кислорода.

Предложенная математическая модель позволяет проводить расчет динамики изменения среднеобъемной плотности CO при пожаре в реальном



**Рис. 8.** Зависимости показателя токсичности  $H_T$  от среднеобъемной плотности кислорода при горении оболочки кабелей ПВХ на площади  $F = 0,0067 \text{ м}^2$  (а) и  $F = 0,0122 \text{ м}^2$  (б), полученные экспериментально (1–3) и расчетом по формуле (9) (4–6): 1, 4 —  $H_T$ ; 2, 5 —  $H_{T \text{ CO}}$ ; 3, 6 —  $H_{T \text{ O}_2}$

полномасштабном помещении без решения дифференциального уравнения закона сохранения массы монооксида углерода, а с использованием экспериментальной зависимости плотности CO от плотности O<sub>2</sub> и расчетных значений среднеобъемной плотности O<sub>2</sub>.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Белешиников И. Л. Судебно-медицинская оценка содержания цианидов в органах и тканях людей, погибших в условиях пожара : автореф. дис. ... канд. мед. наук. — СПб., 1996. — 24 с.
2. Иличкин В. С. Токсичность продуктов горения полимерных материалов: принципы и методы определения. — СПб. : Химия, 1993. — 136 с.
3. NFPA 269. Standard test method for developing toxic potency data for use in fire hazard modeling. — Quincy, MA : National Fire Protection Association, 2016. — 29 p.
4. Пузач С. В., Смагин А. В., Лебедченко О. С., Абакумов Е. С. Новые представления о расчете необходимого времени эвакуации людей и об эффективности использования портативных фильтрующих самоспасателей при эвакуации на пожарах. — М. : Академия ГПС МЧС России, 2007. — 222 с.

5. Методика определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности. — М. : МЧС России, 2009. — 45 с.
6. NFPA 92B. Standard for Smoke Management Systems in Malls, Atria, and Large Spaces. — Quincy, MA : National Fire Protection Association, 2014.
7. McGrattan K., Klein B., Hostikka S., Floyd J. Fire Dynamics Simulator (Version 6). NIST Special Publication 1018. — Gaithersburg : National Institute of Standards and Technology, 2013. — 149 p.
8. Welch S., Rubini P. SOFIE: Simulation of fires in enclosures. User guide. — United Kingdom, Cranfield : Cranfield University, 1996. — 340 p.
9. Tanaka T., Yamada S. BRI2002: Two layer zone smoke transport model — Chapter 1. Outline of the model // Fire Science and Technology. — 2004. — Vol. 23, No. 1. — P. 1–44. DOI: 10.3210/fst.23.1.
10. Кошмаров Ю. А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении. — М. : Академия ГПС МВД России, 2000. — 118 с.
11. Пузач С. В., Сулейкин Е. В. Новый теоретико-экспериментальный подход к расчету распространения токсичных газов при пожаре в помещении // Пожаровзрывобезопасность. — 2016. — Т. 25, № 2. — С. 13–20. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.02.13-20.
12. Пузач С. В., Акперов П. Г. Экспериментальное определение удельного коэффициента образования монооксида углерода при пожаре в помещении // Пожаровзрывобезопасность. — 2016. — Т. 25, № 5. — С. 18–25. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.05.18-25.
13. Пузач С. В., Пузач В. Г., Доан В. М. К определению показателя токсичности продуктов горения горючих веществ и материалов в помещении // Пожаровзрывобезопасность. — 2011. — Т. 20, № 4. — С. 4–13.

*Материал поступил в редакцию 5 декабря 2016 г.*

**Для цитирования:** Пузач С. В., Нгуен Тат Дат. Экспериментально-теоретический подход к расчету концентраций монооксида углерода и показателя токсичности при пожаре в условно герметичном помещении // Пожаровзрывобезопасность. — 2017. — Т. 26, № 2. — С. 36–43. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.02.36-43.

English

## EXPERIMENTAL AND THEORETICAL APPROACH FOR CALCULATION OF CARBON MONOXIDE CONCENTRATION AND TOXICITY INDEX DURING FIRE IN CONVENTIONALLY HERMETIC ROOM

**PUZACH S. V.**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Honoured Scientist of the Russian Federation, Head of Thermal Physics and Hydraulic Department, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail: puzachsv@mail.ru)

**NGUYEN TAT DAT**, Postgraduated Student, Thermal Physics and Hydraulic Department, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail: nguyentatdat1308@gmail.com)

### ABSTRACT

**Introduction.** In previous works, the authors proposed a new approach to the calculation of the concentration of toxic products of combustion. The approach is based on determination the volume average density of toxic gases at any given time by using their experimental dependences on the mean volume temperature. The accuracy of this approach depends heavily on the error of determining the heat losses coefficients in small-scale experimental setup and real full scale room.

In this paper, using experimental data obtained on small-scale pilot plant, it is proposed a different approach, that uses the theoretical and experimental dependences between average volume densities of toxic gases and the mean volume density of oxygen. It is not necessary to determine the heat losses coefficient and also solve differential equations of the conservation laws of toxic gases masses.

**Materials and methods.** Coniferous wood building materials, transformer oil and PVC sheath cables are considered as combustible materials. Theoretical and experimental methods of gas dynamics and heat and mass transfer are used to determine the parameters of gases mixture during free convection.

**Theory and calculation.** A physical and mathematical model for calculating the mean volume density of carbon monoxide and toxicity index for the combined effects of CO and O<sub>2</sub> during the combustion of solid and liquid substances and materials in conventionally hermetic volume of arbitrary

sizes is proposed. The model is based on the integral method for calculating thermal and gas dynamics of fire in the room.

Formulas for calculating the mean volume density of CO and toxicity index for mutual effect of the action of CO and O<sub>2</sub> are obtained.

**Results.** Experimental dependencies of mean volume density of carbon monoxide and toxicity index from mean volume density of oxygen are obtained in a small-scale pilot plant.

A comparison of the theoretical values of mean volume density of CO and toxicity index derived using the proposed formulas with experimental values is made.

**Discussion.** It is shown that the volume average density of carbon monoxide and the toxicity index for the combined effects of CO and O<sub>2</sub> during combustion of solid and liquid materials in conventionally hermetic volume of arbitrary sizes can be calculated by using only the average volume oxygen density and specific coefficients of separation of CO and deleting O<sub>2</sub>.

The resulting formulas for calculating the mean density of CO and toxicity index of the mutual influence of CO and O<sub>2</sub> do not contain the geometric sizes of the room and combustible materials surfaces and, therefore, are fair in both small-scale and large-scale fire in the room.

**Conclusions.** The proposed physical and mathematical model allows calculation of mean volume density of CO and toxicity index for combined effects of CO and O<sub>2</sub> during fire in a real full-scale room without solving the differential equation of conservation law of carbon monoxide mass and using the experimental dependence between the mean volume densities of CO and O<sub>2</sub> and the calculated average volume density of O<sub>2</sub>.

**Keywords:** fire; modeling; integral model; carbon monoxide; oxygen; toxicity index.

## REFERENCES

1. Beleshnikov I. L. *Forensic medical assessment of the content of cyanide in the organs and tissues of people who died in a fire*. Abstr. cand. med. sci. diss. Saint Petersburg, 1996. 24 p. (in Russian).
2. Ilichkin V. S. *Toxicity of combustion products of polymeric materials: principles and methods of determination*. Saint Petersburg, Khimiya Publ., 1993. 136 p. (in Russian).
3. *NFPA 269. Standard test method for developing toxic potency data for use in fire hazard modeling*. Quincy, MA, National Fire Protection Association, 2016. 29 p.
4. Puzach S. V., Smagin A. V., Lebedchenko O. S., Abakumov E. S. *New ideas about the calculation of necessary time of evacuation of people and the effectiveness of using a portable filter self-rescuers during evacuation at fires*. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2007. 222 p. (in Russian).
5. *Method of determining the estimated values of the fire risk in buildings, construction and structures of various classes of functional fire hazard*. Moscow, Emercom of Russia Publ., 2009. 45 p. (in Russian).
6. *NFPA 92B. Standard for Smoke Management Systems in Malls, Atria, and Large Spaces*. Quincy, MA, National Fire Protection Association, 2014.
7. McGrattan K., Klein B., Hostikka S., Floyd J. *Fire dynamics simulator (version 6). NIST Special Publication 1018*. Gaithersburg, National Institute of Standards and Technology, 2013. 149 p.
8. Welch S., Rubini P. *SOFIE: Simulation of fires in enclosures. User guide*. United Kingdom, Cranfield, Cranfield University, 1996. 340 p.
9. Tanaka T., Yamada S. BRI2002: Two layer zone smoke transport model — Chapter 1. Outline of the model. *Fire Science and Technology*, 2004, vol. 23, no. 1, pp. 1–44. DOI: 10.3210/fst.23.1.
10. Koshmarov Yu. A. *Forecasting of fire hazards in the case of indoor fire*. Moscow, State Fire Academy of Ministry of Interior of Russia Publ., 2000. 118 p. (in Russian).
11. Puzach S. V., Suleykin E. V. New united theoretical and experimental approach to the calculation of the distribution of toxic gases in case of fire in the room. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2016, vol. 25, no. 2, pp. 13–20 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2016.25.02.13-20.
12. Puzach S. V., Akperov R. G. Experimental determination of the specific coefficient of release of carbon monoxide during a fire in the room. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2016, vol. 25, no. 5, pp. 18–25 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2016.25.05.18-25.
13. Puzach S. V., Puzach V. G., Doan V. M. To definition of toxic potency of combustion products of combustible materials in compartment. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2011, vol. 20, no. 4, pp. 4–13 (in Russian).

**For citation:** Puzach S. V., Nguyen Tat Dat. Experimental and theoretical approach for calculation of carbon monoxide concentration and toxicity index during fire in conventionally hermetic room. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2017, vol. 26, no. 2, pp. 36–43. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.02.36-43.

**Ф. А. АБДУЛАЛИЕВ**, канд. техн. наук, доцент кафедры криминалистики и инженерно-технических экспертиз, начальник отделения инновационных проектов и программ, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России (Россия, 196105, г. Санкт-Петербург, Московский просп., 149; e-mail: hasfarid@inbox.ru)

**А. В. ИВАНОВ**, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры пожарной безопасности технологических процессов и производств, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России (Россия, 196105, г. Санкт-Петербург, Московский просп., 149; e-mail: refox@mail.ru)

**А. А. УЛЬЯНОВСКИЙ**, адъюнкт кафедры пожарной безопасности зданий и автоматизированных систем пожаротушения, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России (Россия, 196105, г. Санкт-Петербург, Московский просп., 149; e-mail: campo1991@mail.ru)

УДК 614.841:517.958.536.2

## ВЕРоятностный подход к моделированию развития пожара на открытых территориях с применением перколяционного процесса и функции нейронной сети

Рассмотрен новый подход к прогнозированию распространения пожаров в сельских населенных пунктах. Показано, что динамика развития процессов (пожаров) и явлений носит нелинейный, а зачастую хаотичный (непредсказуемый) характер, что обуславливает необходимость поиска альтернативных методов моделирования с применением нестандартных математических аппаратов. Использована теория перколяции для получения модели процесса горения. При оценке пожарной опасности объектов, расположенных на открытых территориях, применена функция нейронных сетей. Показано, что описание развития пожара на основе перколяционного процесса с применением функции нейронной сети с учетом определенных данных позволит выполнить оценку пожарной опасности при проектировании строительных объектов.

**Ключевые слова:** методы прогнозирования пожаров; перколяционный процесс; развитие пожара; нейронная сеть; сельские населенные пункты.

**DOI:** 10.18322/PVB.2017.26.02.44-53

Прогнозирование возникновения и развития горения является актуальным вопросом с точки зрения обеспечения безопасности людей и сохранения материальных ценностей при пожарах на различных объектах. Специфика прогнозирования пожаров такова, что при оценке пожарной опасности, особенно для крупных и сложных объектов, требуется большой объем справочной информации и расчетных методов моделирования обстановки на пожаре.

Любой подход в моделировании представляет собой комплексную и сложную задачу. Понятие моделирования пожаров охватывает физико-математическое представление всех процессов, так или иначе связанных с возникновением и развитием пожара (воздействие опасных факторов пожара (ОФП) на человека, поведение людей в экстремальных ситуациях, стратегия и тактика пожаротушения, оценка потенциального и фактического ущерба от пожара).

Во многом выбор математических программ (будь то интегральные, зонные или полевые) зависит

от области применения расчета развития пожаров как для замкнутых пространств (помещений), так и на открытом воздухе (в основном лесные пожары), и воздействия на их развитие различных факторов [1–3]. Однако развитие пожаров на открытых территориях, особенно в сельских населенных пунктах, обусловлено конструктивными особенностями зданий и сооружений, удаленностью пожарных частей, наличием и расположением водоисточников, погодными условиями (максимальная и минимальная температура воздуха, атмосферные осадки, направление ветра) и т. д. [4–12], что не дает возможности точно детерминировать (определить или оценить) происходящие события во времени.

Предупреждение пожаров в сельских населенных пунктах, граничащих с лесными массивами, становится все более и более актуальной задачей. События жаркого лета наглядно показали, что пожарные подразделения не всегда способны предотвратить стихийное бедствие в сельских населенных пунктах,

особенно в условиях ограниченности сил и средств. Причина этого чаще всего заключается в отсутствии исследования системных связей противопожарного состояния объектов, расположенных на открытых территориях. При повышении эффективности таких объектов необходимо системно прорабатывать их противопожарную защиту, не допуская отступлений от нормативных требований, нарушение или несоблюдение которых, как правило, приводит к огромному материальному ущербу, человеческим жертвам, негативным социально-психологическим и экологическим последствиям.

Анализ доступной зарубежной и отечественной научной и нормативно-технической литературы в области пожарной безопасности показал, что вопрос прогнозирования развития пожаров в сельских населенных пунктах является, безусловно, актуальным (особенно в нашей стране). Пожары в деревнях, садоводствах и т. п. стали для нашей страны традиционными (табл. 1). Единая научная концепция создания математической модели для прогнозирования развития пожара в сельских населенных пунктах на данный момент отсутствует, поэтому возникает необходимость в совершенствовании методов прогнозирования пожаров при проектировании строительных объектов в сельских поселениях.

Основной целью моделирования является исследование различных объектов и предсказание результатов будущих наблюдений. Математическое моделирование и связанный с ним компьютерный эксперимент незаменимы в тех случаях, когда натурный эксперимент невозможен или затруднен по тем или иным причинам. Кроме того, все это вполне

можно сделать на компьютере, построив предварительно математические модели изучаемого явления.

В настоящей работе создан алгоритм (рис. 1) и разработана программа, по которой проводилось моделирование и связанная с ним серия компьютерных экспериментов.

Для получения модели процесса горения была использована теория перколяции [13–16], по которой вычислялась размерность и плотность заполнения пространства конкретного сельского населенного пункта. Для этого применялся алгоритм, основанный на вычислении пространственной меры  $P$ . Исследуемые объекты покрывались множеством точек  $N$ , образующих кластеры.

Тогда

$$P = \sum y(\delta_n) = y(\delta_n)N, \quad (1)$$

где  $y(\delta_n)$  — геометрический коэффициент, зависящий от выбора покрывающего объекта;

$\delta_n$  — размерность Хаусдорфа – Безиковича.

Теория перколяции (протекания) имеет дело с образованием связанных объектов в неупорядоченных (случайных) средах. Большинство результатов исследований с использованием теории перколяции получено в результате компьютерного моделирования. При этом приходится проводить множество компьютерных испытаний на больших объектах, что потребовало разработки эффективных алгоритмов.

При классическом подходе перколяционный процесс обычно рассматривают на различных типах решеток в различных пространствах, узлы которых “заняты” независимо друг от друга некоторыми объектами с вероятностью  $p < 1$  (рис. 2). В роли таких

**Таблица 1.** Характеристика обстановки на пожарах в сельских поселениях Ленинградской области (пример из анализа)

№ п/п	Характеристика	Дата пожара					
		27.03.11	02.04.11	24.04.11	04.05.11	02.06.11	08.07.11
1	Направление и скорость ветра, м/с, облачность	↑3 Ясно	→5 Пасмурно	→2 Ясно	↙6 Облачно	↘6 Облачно	↖2 Облачно
2	Температура воздуха, °С	±12	+6	+6	+4	+20	+22
3	Расстояние от ПЧ до пожара, км	8	40	17	15	10	16
4	Время следования $t_{\text{приб}} - t_{\text{сообщ}}$ , мин	14	37	19	15	18	20
5	Время подачи первых стволов $t_{\text{под}} - t_{\text{сообщ}}$ , мин	15	38	20	16	19	21
6	Время локализации $t_{\text{лок}} - t_{\text{приб}}$ , мин	26	36	20	77	102	16
7	Количество личного состава $N_{\text{ПА}}$ , 3	6	6	6	12	6	6
8	Общий расход воды $Q$ , л/с	14,8	14,8	14,8	26	14,8	14,8
9	Вид водоемисточника	ПГ	ПВ	ПВ	ПГ	ПВ	ПГ
10	Расстояние до водоемисточника, м	1000	400	150	700	1000	800
11	Степень огнестойкости	V	V	III	V	IV	V

Примечание. ПГ — пожарный гидрант; ПВ — пожарный водоем;  $N_{\text{ПА}}$  — количество пожарных автомобилей.

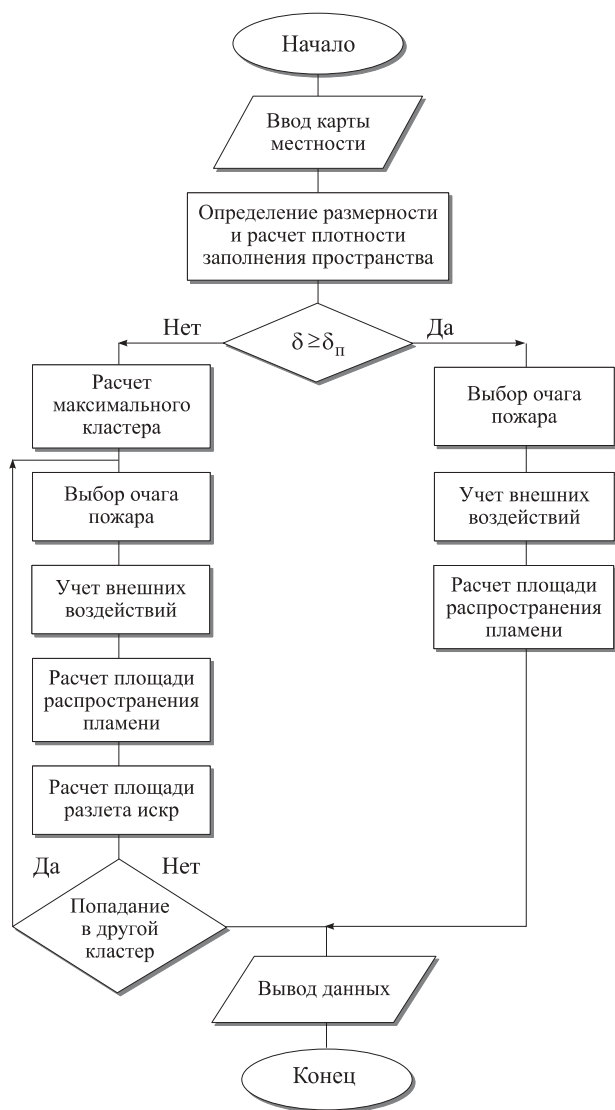


Рис. 1. Блок-схема алгоритма развития и распространения пожаров в сельских населенных пунктах

объектов могут выступать строения, деревья и т. п. Доля занятых (“пустых”) узлов решетки равна  $1 - p$ . При этом требуется определить, образуют ли занятые узлы непрерывный путь от нижнего края решетки до верхнего. Под непрерывным понимается путь, соединяющий один занятый узел решетки с соседним занятым узлом. Если такой путь существует, то говорят, что процесс “протекает” (в переводе с англ. *percolation process*). Наименьшая плотность  $x$  занятых узлов, по которому “протекает” процесс, является критической плотностью, или порогом перколяции  $x_c$  [13].

Таким образом, если рассматривать черные узлы в качестве горящих объектов, то образование цепочки горящих объектов (вероятность распространения пламени от горящего объекта к соседнему), проходящей через всю систему, соответствует образованию пожара в сельском населенном пункте.

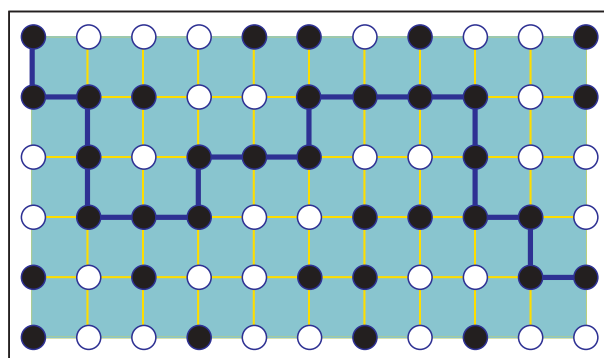


Рис. 2. Перколяционный процесс на двумерной решетке

Путь, представленный синей линией на рис. 2, указывает на то, что система выше порога перколяции. Самая важная черта физики всех критических явлений состоит в том, что вблизи критического состояния система распадается на блоки с отличающимися свойствами, причем размер отдельных блоков неограниченно растет при приближении к критической (пороговой) точке. Конфигурация блоков при этом случайна. В некоторых физических явлениях вся конфигурация меняется хаотически, в других — при переходе от образца к образцу. Блоки расположены беспорядочно, поэтому в процессе их формирования трудно увидеть какие-либо геометрические закономерности. Однако эти закономерности есть и обладают вполне определенными свойствами. Физические и химические свойства в системе неразрывно связаны с их геометрией.

При исследовании перколяции вводится понятие кластера, под которым понимается совокупность связанных узлов. Ими могут быть как удаленные (блокированные) узлы, так и узлы, участвующие в передаче огня. Если  $x < x_c$ , то в системе есть только кластеры из конечного числа узлов, поэтому развитие пожара будет локализовано и горение прекратится. Если  $x > x_c$ , то обязательно появятся узлы, принадлежащие бесконечному кластеру [13].

Порядок моделирования развития пожара заключался в следующем:

- строительные объекты располагали на квадратной решетке, которая соответствует сельскому населенному пункту, с учетом класса горючести: деревянные (IV и V степени огнестойкости), кирпичные постройки и конструкции (I и II степени огнестойкости) и кирпичные конструкции с деревянной отделкой (III степень огнестойкости);
- определяли размерность пространства Хаусдорфа – Безиковича путем генерирования случайных точек методом Монте-Карло (рис. 3);
- если отношение пожарной нагрузки (общей площади пространства) к общей площади строительных объектов на территории этого пространства больше или равно пределу перколяции (отношение количества точек к общему количеству попаданий точек на строительные объекты), то определяли площадь  $S$  распространения пламени с помощью компьютерного моделирования (рис. 4);
- если это отношение меньше предела перколяции, то вычисляли максимальные кластеры.

При моделировании применительно к сельским населенным пунктам учитывали внешние воздействия на процесс горения (направление и скорость ветра), рассчитывали линейную скорость распространения фронта пожара  $r(\theta)$  (м/мин) (распространение фронта пожара происходило в виде эллипса с точкой воспламенения, находящейся в одном из фокусов):

$$r(\theta) = \frac{r_h \left( 1 - \sqrt{1 - 1/B^2} \right)}{\left( 1 - \sqrt{1 + 1/B^2} \right)} \cos(\theta), \quad (2)$$

где  $\theta$  — угол отклонения распространения фронта от направления ветра, град;  
 $r_h$  — скорость распространения фронта в направлении ветра, м/мин;  
 $B$  — отношение длины строительного объекта к ширине.  
 Программа также учитывала характер развития пожара (по принципу лесного пожара): по поверх-

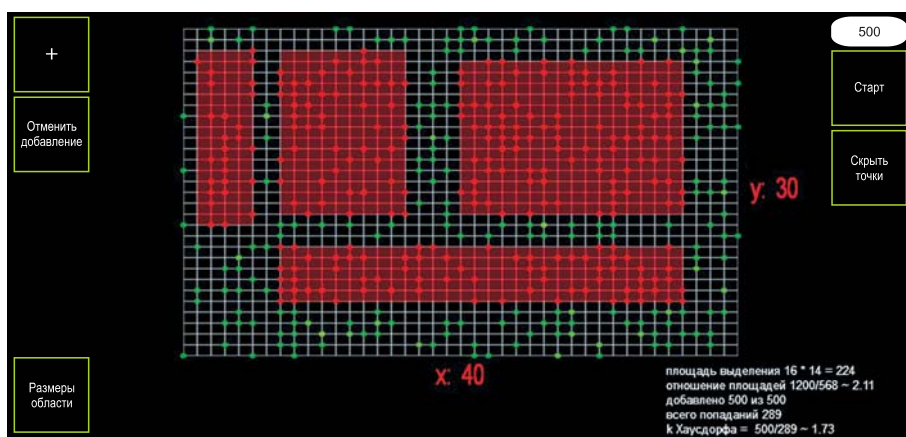


Рис. 3. Определение размерности пространства Хаусдорфа – Безиковича методом Монте-Карло

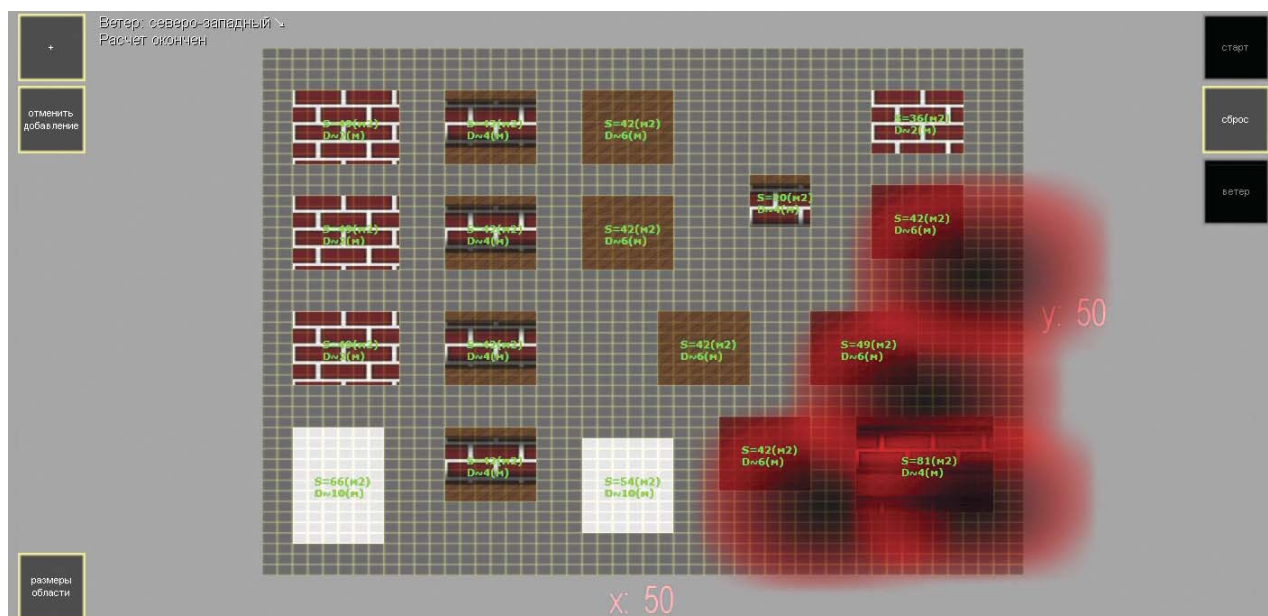


Рис. 4. Пример развития пожара на исследуемом участке

ности земли (“низовой” пожар), при котором горят трава, кустарники и стволы деревьев, находящиеся в непосредственной близости от строения); горение верхней части домов и близстоящих деревьев (“верховой” пожар); возникновение новых очагов пожара в результате выброса и переноса ветром горящих головней (количество искр зависит от множества случайных параметров, таких как территориальное расположение горючих объектов, рельеф местности, природные и погодные условия, время года).

Как правило, основным следствием распространения пожара является передача тепла в период активного горения. Количество тепла, выделившегося в единицу времени, зависит от мощности источника зажигания. В перколяционной модели территория, на которой расположены сельские поселения, представлена как система горючих (воспламеняющихся при внешнем термическом воздействии) участков (узлов), распределенных в пространстве. Возможные состояния различных (отдельных) участков (узлов) и переходы между этими состояниями можно привести к матрице согласно марковскому процессу [14]. План сельской местности моделируется в виде решетки. Узлы на решетке — это пожарная нагрузка, которая соответствует исследуемым объектам. Узлы соединены между собой связями, которые могут быть двух классов: одни соединяют участки, для которых существует вероятность того, что огонь между ними будет переноситься в результате передачи тепла; другие — пару участков, между которыми огонь будет распространяться посредством искр.

Весь промежуток времени с момента возникновения пожара до начала его тушения называют временем свободного развития пожара  $\tau_{св}$ :

$$\tau_{св} = \tau_{возн} + \tau_{обн} + \tau_{дисп} + \tau_{выезд} + \tau_{приб} + \tau_{н.т}, \quad (3)$$

Где  $\tau_{возн}$ ,  $\tau_{обн}$ ,  $\tau_{дисп}$ ,  $\tau_{выезд}$ ,  $\tau_{приб}$ ,  $\tau_{н.т}$  — время возникновения, обнаружения пожара, сообщения о нем,

выезда пожарных подразделений, прибытия их к месту и начала тушения пожара.

Именно с этого момента происходит активное горение несущих конструкций, перекрытий, элементов чердачного покрытия строительных объектов. В качестве примера были рассмотрены реальные пожары, происшедшие в сельских поселениях Ленинградской области (рис. 5).

В ходе анализа из статистических данных более чем по 50 пожарам были выбраны фактические площади пожаров  $S_{факт}$  на момент их локализации и на основании результатов моделирования определены расчетные площади пожаров  $S_{расч}$ , которые были сведены в табл. 2. В результате анализа был получен коэффициент применимости модели  $F_a$  ( $F_a = S_{расч} / S_{факт}$ ).

При оценке пожарной опасности объектов, расположенных на открытых территориях, возникло два вопроса. Первый вопрос связан с факторами окружающей среды, влияющими на развитие и распространение пожаров, второй — с точностью обработки данных. Решение этих вопросов было достигнуто путем использования *нейронных сетей* [17, 18].

Обучающиеся нейронные сети позволяют моделировать явления при затруднении или невозможности получения закономерностей происходящих процессов. Нарастив сложность такой нейронной сети, можно получить более точные и полные прогнозы. В основе данного подхода лежит нахождение удачной формализации изучаемого явления в терминах входных и выходных сигналов, подбор свойств нейронной сети и выбор набора данных для обучения. В работе проведен анализ применимости нейронных сетей к моделированию развития пожара с учетом погодной обстановки и участия пожарных подразделений (время прибытия, тушение).

Элементарной ячейкой нейронной сети является *нейрон*. Нейрон с одним вектором входа  $p$  с  $R$  эле-

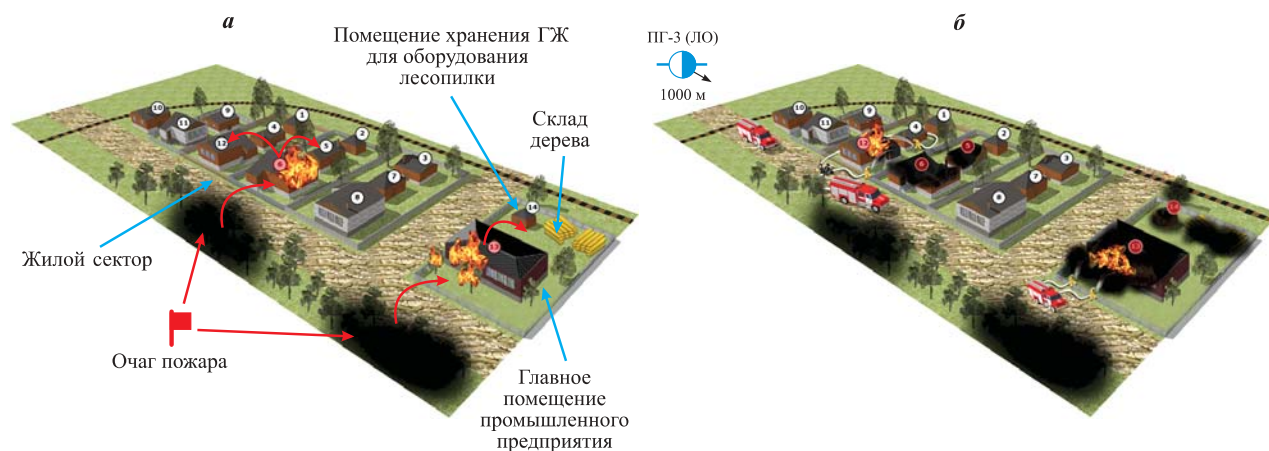


Рис. 5. Пожар в сельском населенном пункте Гатчинского района Ленинградской области (пример из анализа): а — время свободного развития пожара 20 мин; б — то же, 40 мин (локализация пожара)

Таблица 2. Пример из анализа пожаров в сельских поселениях Ленинградской области

№ п/п	Сельское поселение	фактическая на момент локализации $S_{факт}$	Площадь пожара, м <sup>2</sup>					Коэффициент применимости модели $F_a$ при времени свободного развития пожара, мин				
			расчетная $S_{расч}$ при времени свободного развития пожара, мин					0–20	20–40	40–60	60–90	90–120
			0–20	20–40	40–60	60–90	90–120					
1	Б. Колпанское (д. М. Колпаны, ул. Западная, 6)	108	–	*! 168	216	270	–	–	1,55	–	–	–
2	Элизаветинское (д. Раболово, 8)	170	–	–	*! 260	357	477	–	–	1,52	–	–
3	Таицкое (п. Тайцы, садоводство “Тайга”)	102	*!	226	388	–	–	–	–	–	–	–
4	Войковицкое (п. Войковицы)	250	*	* 116	* 460	!600	751	–	–	–	2,4	–
5	Б. Колпанское (д. М. Колпаны, ул. Центральная)	314	–	* 64	* 236	!520	–	–	–	–	1,65	–
6	Войковицкое (д. Тяглино, уч. 29)	100	*	! 170	268	268 (огонь перекинулся на лес)	–	–	1,7	–	–	–

Примечание. Символ \* означает приезд и/или боевые действия ПО, ! — локализацию пожара.

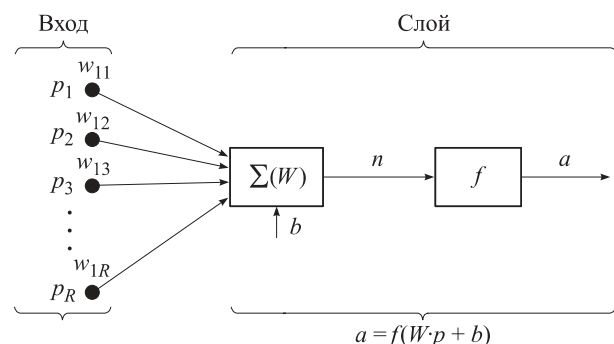


Рис. 6. Структурная схема нейронной сети

ментами  $p_1, p_2, \dots, p_R$  показан на рис. 6. Здесь все элементы входных сигналов умножаются на *весовые коэффициенты*  $w_{11}, w_{12}, \dots, w_{1R}$ , и взвешенные значения передаются на сумматор. Их сумма равна скалярному произведению вектора-строки  $w$  на вектор входа  $p$ . Нейрон дополняется скалярным *смещением*  $b$ , которое суммируется со взвешенной суммой входов. Получаем результирующую сумму  $n$ :

$$n = w_{11}p_1 + w_{12}p_2 + w_{1R}p_R + b, \tag{4}$$

которая служит *аргументом функции активации*  $f$ . Функцией активации  $f$ , как правило, является логическая функция активации  $\log \text{sig}(n) = 1/(1 + \exp(-n))$ . Сети обычно имеют несколько *слоев*, каждый из которых характеризуется своей матрицей весов  $W$ , смещением  $b$ , операциями умножения  $w \cdot p$ , суммирования, функцией активации  $f$  и вектором выхода  $a$ . В сети каждый элемент вектора входа соединен со

всеми входами нейрона, и это соединение задается матрицей весов  $W$ . При этом каждый нейрон включает суммирующий элемент, который формирует скалярный выход  $n$ . Совокупность скалярных функций  $n$  объединяется в вектор входа  $n$  функции активации слоя. Выходы слоя нейрона формируют вектор-столбец  $a$ . Таким образом, описание слоя нейронов имеет вид:

$$a = f(W \cdot p + b). \tag{5}$$

Количество входов  $R$  в слое может не совпадать с количеством нейронов  $S$ . В каждом слое, как правило, используется одна и та же функция активации. Каждый нейрон генерирует определенную часть выходов. Элементы вектора входа передаются в сеть через матрицу весов  $W$ , имеющую вид:

$$W = \begin{bmatrix} w_{11} & w_{12} & \dots & w_{1R} \\ w_{21} & w_{22} & \dots & w_{2R} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ w_{S1} & w_{S2} & \dots & w_{SR} \end{bmatrix}. \tag{6}$$

Заметим, что индексы строк матрицы  $W$  указывают адресаты (пункты назначения) весов нейронов, а индексы столбцов — источник, являющийся входом для этого веса. Таким образом, элементы матрицы весов  $w = W$  определяют коэффициент, на который умножается второй элемент входа при передаче его на первый нейрон.

Процесс обучения требует набора примеров поведения желаемых входов  $p$  и желаемых (целевых) выходов  $t$ . Во время этого процесса веса и смеще-

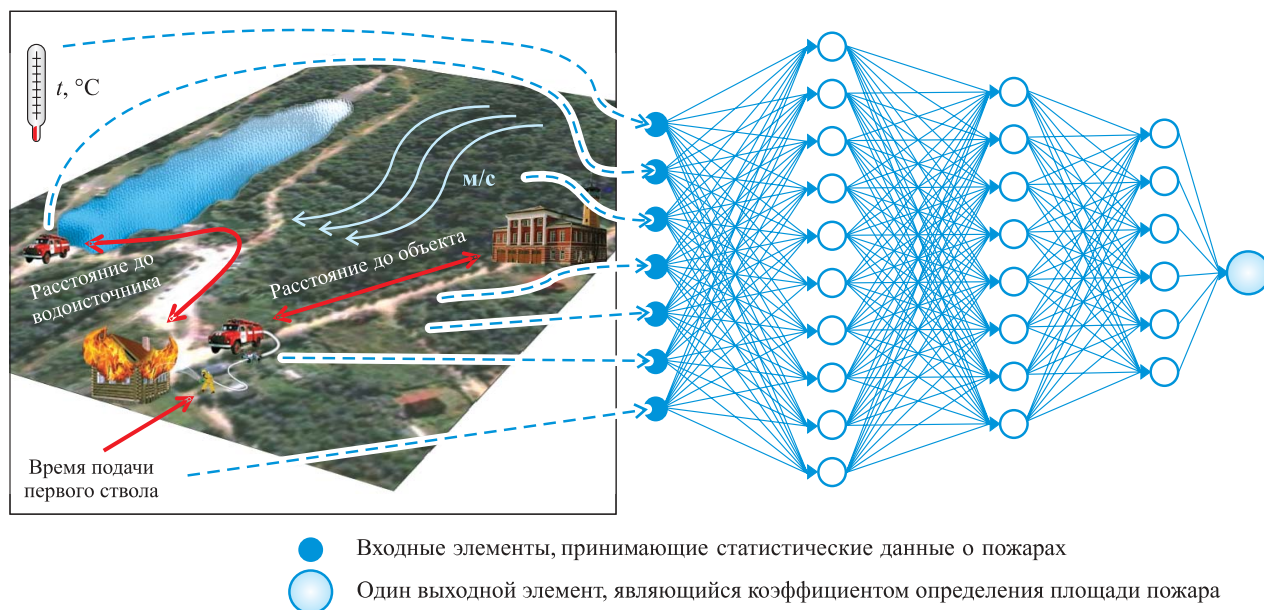


Рис. 7. Схема применения нейронной сети для оценки пожарной опасности в сельских населенных пунктах

ния настраивают так, чтобы минимизировать некоторый функционал ошибки. По умолчанию в качестве такого функционала для сетей принимается среднеквадратичная ошибка между векторами выхода  $a$  и  $t$ .

При обучении сети рассчитывается некоторый функционал, характеризующий качество обучения:

$$J = \frac{1}{2} \sum_{q=1}^Q \sum_{i=1}^{S^M} \left( t_i^q - a_i^{qS^M} \right)^2, \quad (7)$$

где  $J$  — функционал;

$Q$  — объем выборки;

$q$  — номер выборки;

$S^M$  — число нейронов выходного слоя;

$M$  — число слоев сети;

$a^q$  — вектор сигнала на выходе сети;  $a^q = [a_i^{qS^M}]$ ;

$t^q$  — вектор желаемых (целевых) значений сигнала на выходе сети для выборки с номером  $q$ ;

$t^q = [t_i^q]$ .

Для того чтобы обучить нейронную сеть, применяемую в исследовании процесса распространения пожаров на открытых территориях, использовался математический пакет MATLAB® (лицензия № 576818). В качестве входных характеристик были взяты статистические данные по пожарам в сельских населен-

ных пунктах, происшедшим в Ленинградской области (см. табл. 1).

В качестве входных данных модели использовали: скорость ветра, температуру, расстояние от ПЧ до пожара, время следования, время подачи первых стволов, время локализации, расстояние до водосточника (рис. 7).

В ходе исследования была построена многослойная нейронная сеть:

- 1-й слой — 10 нейронов;
- 2-й слой — 8 нейронов;
- 3-й слой — 6 нейронов;
- 4-й слой — 1 нейрон.

Слой выбирались путем экспертной оценки. Максимальное отклонение в обученной нейронной сети составило  $5,2 \cdot 10^{-5}$ , максимальное количество циклов обучения — 1200.

Таким образом, исследования показали, что прогнозирование развития пожаров в сельских населенных пунктах на основе перколяционного процесса с применением функции нейронной сети и с учетом определенных данных позволит выполнить оценку пожарной опасности сельских населенных пунктов. Данные рекомендации можно использовать для планирования противопожарных мероприятий и тактики пожаротушения.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кошмаров Ю. А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении. — М. : Академия ГПС МВД России, 2000. — 118 с.
2. Гришин А. М. О математическом моделировании природных пожаров и катастроф // Вестник Томского государственного университета. Математика и механика. — 2008. — № 2(3). — С. 105–114.
3. Доррер Г. А. Динамика лесных пожаров. — Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2008. — 404 с.

4. Лунд Э. Э., Федотов П. А. Пожарная тактика. Правила тушения пожаров в вопросах и ответах. — СПб. : Тип. “Товарищество М. О. Вольфъ”, 1907.
5. Повзик Я. С. Пожарная тактика : учебник. — М. : ЗАО “Спецтехника”, 2004. — 416 с.
6. Терехнев В. В. Пожарная тактика. Понятие о тушении пожара. — Екатеринбург : Изд-во “Калан”, 2010. — 348 с.
7. Методические рекомендации по действиям подразделений федеральной противопожарной службы при тушении пожаров и проведении аварийно-спасательных работ : утв. письмом МЧС России от 26.05.2010 № 43-2007-18. URL: <http://lawru.info/dok/2010/05/26/n220225.htm> (дата обращения: 05.06.2016).
8. Рекомендации по организации пожаротушения в сельской местности : утв. ГУГПС МВД России 26.12.2000; введ. 26.12.2000. — М. : ВНИИПО, 2001. — 135 с.
9. СП 53.13330.2011. Планировка и застройка территорий садоводческих (дачных) объединений граждан, здания и сооружения (актуал. ред. СНиП 30-02-97\*). — Введ. 20.05.2011. — М. : ОАО “ЦПП”, 2011.
10. СП 11.13130.2009. Места дислокации подразделений пожарной охраны. Порядок и методика определения. — Введ. 01.05.2009. — М. : ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2009.
11. Порядок привлечения сил и средств подразделений пожарной охраны, гарнизонов пожарной охраны для тушения пожаров и проведения аварийно-спасательных работ : утв. приказом МЧС РФ от 05.05.2008 № 240. URL: <http://base.garant.ru/193545/> (дата обращения: 05.06.2016).
12. Брушлинский Н. Н., Соколов С. В. О нормировании времени прибытия пожарных подразделений к месту пожара // Пожаровзрывобезопасность. — 2011. — Т. 20, № 9. — С. 42–48.
13. Абдулалиев Ф. А., Моторыгин Ю. Д. Описание развития пожара с помощью перколяционной модели // Пожаровзрывобезопасность. — 2011. — Т. 20, № 8. — С. 25–33.
14. Ramachandran G. Non-deterministic modelling of fire spread // Journal of Fire Protection Engineering. — 1991. — Vol. 3, No. 2. — P. 37–48. DOI: 10.1177/104239159100300201.
15. Эфрос А. Л. Физика и геометрия беспорядка. — М. : Наука, 1982. — 265 с.
16. Broadbent S. R., Hammersley J. M. Percolation processes: I. Crystals and mazes // Mathematical Proceedings of the Cambridge Philosophical Society. — 1957. — Vol. 53, No. 3. — P. 629–641. DOI: 10.1017/S0305004100032680.
17. Каллан Р. Основные концепции нейронных сетей / Пер. с англ. — М. : Изд-во “Вильямс”, 2001. — 290 с.
18. Медведев В. С., Потемкин В. Г. Нейронные сети. MATLAB 6. — М. : Изд-во “Диалог-МИФИ”, 2002. — 496 с.

*Материал поступил в редакцию 14 июня 2016 г.*

**Для цитирования:** Абдулалиев Ф. А., Иванов А. В., Ульяновский А. А. Вероятностный подход к моделированию развития пожара на открытых территориях с применением перколяционного процесса и функции нейронной сети // Пожаровзрывобезопасность. — 2017. — Т. 26, № 2. — С. 44–53. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.02.44-53.

English

## PROBABILISTIC APPROACH TO THE MODELING OF FIRE DEVELOPMENT ON OPEN LAND BY THE USE PERCOLATION PROCESS AND FUNCTION OF THE NEURAL NETWORK

**ABDULALIEV F. A.**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Criminology and Technical Engineering Expertise Department, Head of Department of Innovative Projects and Programs, Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia (Moskovskiy Avenue, 149, Saint Petersburg, 196105, Russian Federation; e-mail: hasfarid@inbox.ru)

**IVANOV A. V.**, Candidate of Technical Sciences, Docent, Associate Professor of Fire Security of Technological Processes and Productions Department, Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia (Moskovskiy Avenue, 149, Saint Petersburg, 196105, Russian Federation; e-mail: refox@mail.ru)

**ULYANOVSKIY A. A.**, Postgraduate Student of Fire Safety of Buildings and Automated Fire Extinguishing Systems Department, Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia (Moskovskiy Avenue, 149, Saint Petersburg, 196105, Russian Federation; e-mail: campo1991@mail.ru)

## ABSTRACT

**Introduction.** Prevention of fires in rural settlements bordering forests, is becoming more and more urgent task. There is a problem of their prevention, containment and suppression. Fires in open territories are large in scale, the need to consider the weather conditions, design features of buildings and structures, the distance of fire stations, availability and location of water sources, etc.

**Purpose.** Development of models describing the development of the fires to assess the fire danger of objects located in open areas.

**Tasks:**

1. The development of the percolation model describing fire development.
2. The creation of a model fire hazard analysis facilities located in open areas, with the use of neural networks, based on expert data.

**Methods.** Stochastic analysis, mathematical modeling, percolation theory, neural networks.

**Theory.** To obtain a model of the combustion process, was used the theory of percolation, which is used to calculate the dimension and density of a space-filling (specific) rural settlement.

In the percolation model, the territory on which the rural settlement is represented as a system of combustible (flammable at external heat exposure) stations (nodes) distributed in space. Plan rural area modeled in the form of a lattice. The nodes on the grid is a fire load that corresponds to the test object. Nodes are interconnected by links. These relationships can be of two classes. Some of them connect the stations between which there is a probability that the fire will be transferred by the transfer of heat. When the other class connect a couple of sections, between which the fire will spread by means of sparks.

**Calculations.** The procedure of calculations was the following:

- construction facilities were located on a square lattice, which corresponds to rural settlements. Construction of objects, flammability class was divided into wood (IV and V degree of fire resistance), brick buildings and structures (I and II degree of fire resistance) and brick construction with wood trim (III degree of fire resistance);
- defining the dimension of the space of Hausdorff – Besicovitch, by generating random points Monte;
- if the ratio of the fire load (the total space) total area of construction facilities in the territory of that space is greater than or equal to the percolation limit (the ratio of the number of points to the total number of hit points to construction sites), determine the area  $S$  of flame propagation using a computer simulation;
- if not, calculated the maximum cluster.

**Results.** As a result, was modeled with the real fires that occurred in rural settlements of the Leningrad region.

**Discussion.** For the determination of fire hazard properties are located in open areas, two questions arose. The first question was associated with external environmental factors influencing the development and spread of fires. The second was associated with the accuracy of data processing. The solution to these questions obtained by the use of neural networks.

As the input characteristics there were taken statistics of fires in rural areas that occurred in Leningrad region: wind speed, temperature, distance from the inverter to the fire, journey time, time of following of the first barrels, while localized, the distance to the water source.

**Conclusions.** Thus, the study showed that the prediction of the development of fires in rural settlements on the basis of percolation process with the use of neural networks, will allow to assess the fire danger of objects located in open areas. These guidelines can be used for planning of fire-prevention actions and tactics of fire suppression.

**Keywords:** forecasting methods fires; percolation process; development of fire; neural network; rural settlements.

## REFERENCES

1. Koshmarov Yu. A. *Forecasting of fire hazards in the case of indoor fire*. Moscow, State Fire Academy of Ministry of Interior of Russia Publ., 2000. 118 p.
2. Grishin A. M. About mathematical modelling natural fires and catastrophes. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Matematika i mekhanika (Tomsk State University Journal of Mathematics and Mechanics)*, 2008, no. 2(3), pp. 105–114 (in Russian).
3. Dorrer G. A. *Dynamics of wildfires*. Novosibirsk, Publishing House of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 2008. 404 p. (in Russian).
4. Lund E. E., Fedotov P. A. *Fire tactics. Rules of fire extinguishing in questions and answers*. Saint Petersburg, Publishing House “Company of M. O. Wolff”, 1907 (in Russian).
5. Povzik Ya. S. *Fire tactic. Textbook*. Moscow, Spetstekhnika Publ., 2004. 416 p. (in Russian).
6. Terebnev V. V. *Fire tactic. Concept of fire extinguishing*. Yekaterinburg, Publishing House “Kalan”, 2010. 348 p. (in Russian).
7. *The methodical recommendations for the operations of State Fire Service units while extinguishing fire and carrying out wreckings* (in Russian). Available at: <http://lawru.info/dok/2010/05/26/n220225.htm> (Accessed 5 June 2016).
8. *Recommendations on the organization of fire extinguishing in rural areas*. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection, 2001. 135 p. (in Russian).
9. *Set of rules 53.13330.2011. Planing and occupation of territories of gardening (country's) unions of citizens, buildings and erections (updated edition of Construction Norms and Regulations 30-02–97\*)*. Moscow, TsPP Publ., 2011 (in Russian).
10. *Set of rules 11.13130.2009. Location of fire service divisions. Procedure and methods of determination*. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia, 2009 (in Russian).
11. *The mobilization order of Fire protection service forces, facilities and garrisons to extinguish fire and carry out wreckings* (in Russian). Available at: <http://base.garant.ru/193545/> (Accessed 5 June 2016).
12. Brushlinskiy N. N., Sokolov S. V. About regulations of response time of fire services. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2011, vol. 20, no. 9, pp. 42–48 (in Russian).
13. Abdulaliev F. A., Motorygin Yu. D. Percolation model of fire development. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2011, vol. 20, no. 8, pp. 25–33 (in Russian).
14. Ramachandran G. Non-deterministic modelling of fire spread. *Journal of Fire Protection Engineering*, 1991, vol. 3, no. 2, pp. 37–48. DOI: 10.1177/104239159100300201.
15. Efros A. L. *Physics and geometry of a disorder*. Moscow, Nauka Publ., 1982. 265 p. (in Russian).
16. Broadbent S. R., Hammersley J. M. Percolation processes: I. Crystals and mazes. *Mathematical Proceedings of the Cambridge Philosophical Society*, 1957, vol. 53, no. 3, pp. 629–641. DOI: 10.1017/S0305004100032680.
17. Callan R. *The essence of neural networks*. London, Prentice Hall Europe, 1999. 232 p. (Russ. ed.: Kallan R. Osnovnyye kontseptsii neyronnykh setey. Moscow, Publishing House “Williams”, 2001. 290 p.).
18. Medvedev V. S., Potemkin V. G. *Neural networks. MATLAB 6*. Moscow, Publishing House “Dialog-MIFI”, 2002. 496 p. (in Russian).

**For citation:** Abdulaliev F. A., Ivanov A. V., Ulyanovskiy A. A. Probabilistic approach to the modeling of fire development on open land by the use percolation process and function of the neural network. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2017, vol. 26, no. 2, pp. 44–53. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.02.44-53.

**А. Ю. ИВАНОВ**, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры системного анализа и антикризисного управления, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России (Россия, 196105, г. Санкт-Петербург, Московский просп., 149; e-mail: alexandr.y@mail.ru)

**И. Г. МАЛЫГИН**, д-р техн. наук, профессор, директор Института проблем транспорта им. Н. С. Соломенко РАН (Россия, 199178, г. Санкт-Петербург, В. О., 12-я линия, 13)

**В. И. КОМАШИНСКИЙ**, д-р техн. наук, доцент, заместитель директора по научной работе, Институт проблем транспорта им. Н. С. Соломенко РАН (Россия, 199178, г. Санкт-Петербург, В. О., 12-я линия, 13; e-mail: kama54@rambler.ru)

УДК 004.75:629.7

## ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА НАЗЕМНОЙ РЕГИСТРАЦИИ СОСТОЯНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ВОЗДУШНОГО СУДНА

Рассмотрена концепция информационной системы наземной регистрации состояния безопасности воздушного судна. Выявлена проблема повышения катастрофоустойчивости информации, фиксируемой бортовыми самописцами. Показано, что решить указанную проблему можно дублированием регистрируемой информации наземными службами. Предложена общая структура системы наземной регистрации состояния безопасности воздушного судна. Проанализированы возможные алгоритмы функционирования предлагаемой системы. Сделан вывод о целесообразности применения принципов организации распределенных баз данных со структурной адаптацией к формированию информационного обеспечения системы наземной регистрации.

**Ключевые слова:** информационная система; воздушное судно; катастрофоустойчивость; бортовой самописец; распределенная база данных; структурная адаптация.

**DOI:** 10.18322/PVB.2017.26.02.54-61

В современных условиях информация приобретает статус решающего фактора при решении задач во многих сферах деятельности человека, поэтому на первое место выдвигаются требования по ее полноте, достоверности, доступности и т. п. Удовлетворение этих требований в существенной степени определяется эффективностью реализации информационных процессов в разнообразных прикладных системах — производственных, телекоммуникационных, медицинских и др. Такое положение справедливо для области обеспечения функционирования транспортных средств и систем [1–3].

Анализ публикаций в средствах массовой информации, связанных с освещением хода расследования авиакатастроф и установлением их причин, показывает следующее. Во многих случаях единственным и наиболее достоверным источником информации о технических параметрах воздушного судна и действиях экипажа являются записи бортовых самописцев, так называемых “черных ящиков”. Тем не менее специалистам в области авиации и представителям специальных служб не всегда удается получить доступ к указанной информации. Основными причинами являются следующие. Бортовые

самописцы могут быть безвозвратно утрачены при взрыве летательного аппарата, его падении в глубоководной части мирового океана или на территории, контролируемой экстремистскими группировками [4–7]. Если же условия позволяют обнаружить эти приборы и приступить к работе с ними, то не исключена вероятность того, что степень их повреждения окажется критической, не допускающей извлечения необходимого минимума полезной информации при расшифровке записей. Несмотря на особую прочность конструкции “черных ящиков” и размещение их в “безопасной” (наименее подверженной разрушениям в случае падения) части воздушного судна, получение требуемой информации не всегда гарантировано. Такое положение затрудняет установление истинных причин авиакатастроф и приводит к существенному увеличению сроков расследования. Резервирование информации на борту летательного аппарата не в состоянии решить проблему обеспечения ее доступности и полноты в случае авиакатастрофы, поскольку локальный характер размещения нескольких блоков записывающих устройств (в пределах воздушного судна) не гаран-

тирует сохранности и целостности самописцев в описанных ранее катастрофических ситуациях.

На наш взгляд, перспективным направлением существенного снижения степени остроты названной проблемы, которую вполне можно охарактеризовать как проблему обеспечения *катастрофоустойчивости информации*, может служить дублирование данных бортовых самописцев информационной системой наземной регистрации. Общее концептуальное построение такой системы может быть представлено следующим образом.

Предлагаемая система содержит три компонента — бортовой, наземный и орбитальный комплексы. Первые два компонента следует отнести к категории основных, а третий — вспомогательных.

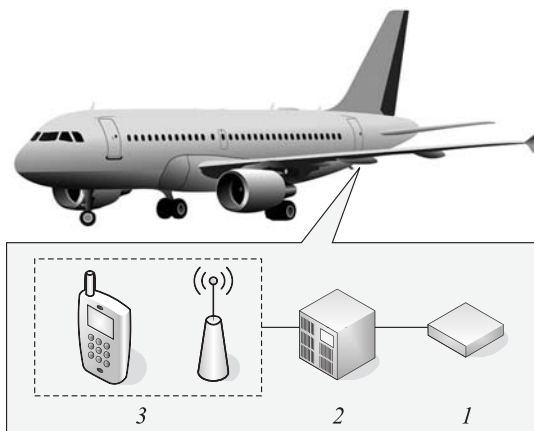


Рис. 1. Состав бортового комплекса

Бортовой комплекс (рис. 1), как следует из его названия, должен размещаться на борту воздушного судна и содержать собственно самописцы 1, компьютерную систему 2, а также средства связи 3 с наземными станциями и космическими аппаратами.

Функции этого компонента соответствуют перечисленным элементам:

- 1 — регистрация речевого трафика экипажа и технических параметров летательного аппарата;
- 2 — формирование дублирующей информации с самописцев и подготовка ее к передаче (сжатие, шифрование, помехоустойчивое кодирование);
- 3 — передача сформированных блоков информации в сторону наземного или орбитального компонента.

Наземный комплекс по замыслу представляет собой информационно-телекоммуникационную сеть произвольной или сотовой структуры, причем между ее двумя различными узлами должно существовать как минимум два независимых маршрута передачи (рис. 2). Принципиально каждый узел может функционировать в автоматическом режиме, однако не следует исключать вмешательства оператора, например при реконфигурации сети или при необходимости балансировки сетевого трафика.

Основными узловыми составляющими следует считать средства связи 1, компьютерные комплексы 2 и средства передачи данных 3 (см. рис. 2). Их функции также вытекают из назначения указанных составных частей:

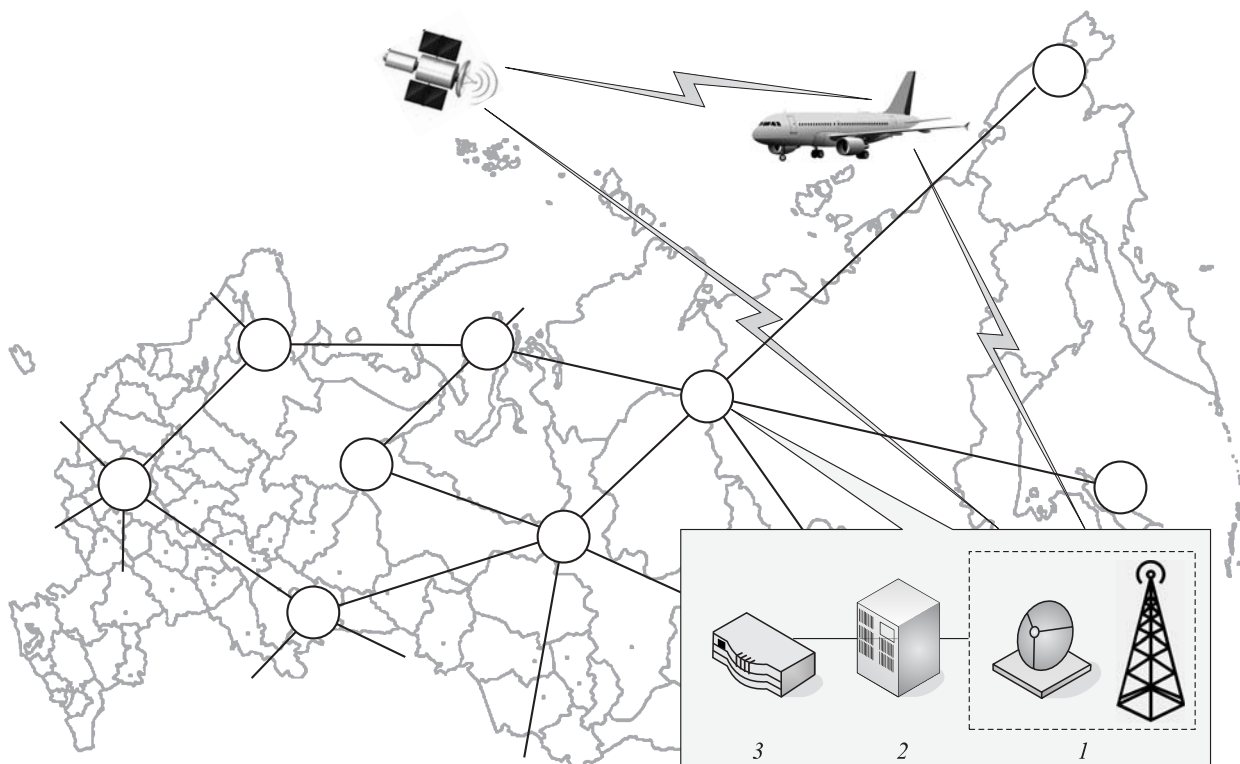


Рис. 2. Состав наземного комплекса

- 1 — устойчивый прием информации с борта воздушного судна или от космического аппарата;
- 2 — декодирование информации и ее обработка с целью дальнейшей трансляции по сети;
- 3 — приведение информации к виду, необходимому для передачи по имеющимся каналам передачи данных.

Сами каналы могут строиться как выделенные или формироваться на базе общедоступных сетей с соблюдением мер безопасности, например, по технологии VPN [8].

Орбитальный комплекс необходимо задействовать в особых ситуациях, таких как полет воздушного судна над океанской акваторией при значительном удалении от береговой линии. Основной его функцией следует считать ретрансляцию сигнала с борта летательного аппарата в ближайший узел наземного компонента на маршруте следования транспортного средства.

Абстрактное представление системы в целом позволяет отчетливо выделить ее специфические черты. Первая заключается в том, что накопление информации происходит в результате организации связи с подвижными объектами. Вторая определяется динамическим изменением информационной инфраструктуры (базы данных) наземного комплекса.

Рассмотрим возможные подходы к формированию информационной инфраструктуры (рис. 3).

Первый подход характеризуется тем, что основным элементом, хранящим необходимую информацию, по-прежнему является сам летательный аппарат, точнее его бортовой комплекс, а наземный комплекс играет пассивную роль. Условимся называть такой подход “традиционным”.

Воздушное судно следует из пункта *A* в пункт *B* (см. рис. 3). Продвигаясь по маршруту, оно последовательно будет оказываться в зонах ответственности узлов наземного комплекса 0–3–5–6–8. До момента пересечения границы зоны 0 (определяется

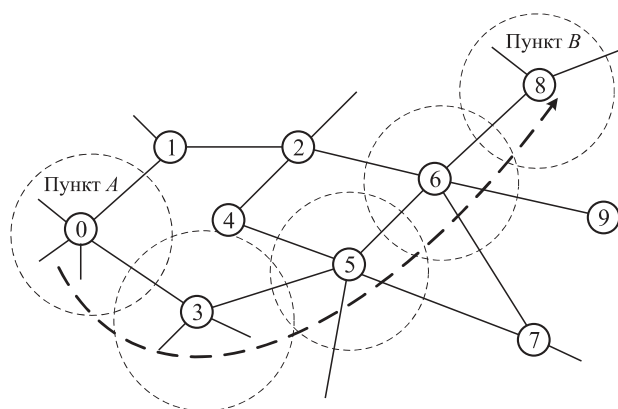


Рис. 3. Графическое представление задействования элементов наземного комплекса при работе информационной системы

по соотношению уровней пилот-сигналов узлов 0 и 3) информация с борта воздушного судна поступает в узел 0, формируя фрагмент базы данных  $F_0$ , оригинал которого хранится в памяти компьютера бортового комплекса. Поскольку воздушное судно пересекло границу сопредельных зон (0 и 3) и вышло из ответственности зоны 0, фрагмент  $F_0$  подлежит удалению из соответствующего узла. Это условие является весьма важным, поскольку обеспечивает экономию памяти узла.

При вхождении в зону 3 фрагмент  $F_0$  передается в память этого узла, а на борту последовательно формируется и одновременно транслируется фрагмент  $F_3$ . Далее последовательность действий циклически повторяется до посадки летательного аппарата в пункте *B*.

Таким образом, при нахождении воздушного судна в некоторой зоне в памяти соответствующего узла хранится суммарный фрагмент  $F_i = \sum_{j \in M_i} F_j$ , где  $M_i$  — множество узлов, пройденных на маршруте  $M$  к текущему моменту;  $F_i, F_j$  — текущие значения).

Обобщенная блок-схема алгоритма, реализующего указанный подход, представлена на рис. 4.

Рассматриваемый подход не предъявляет жестких требований к сетевой структуре наземного комплекса, поэтому в общем случае сеть может вырождаться в совокупность несвязанных узлов. Строго

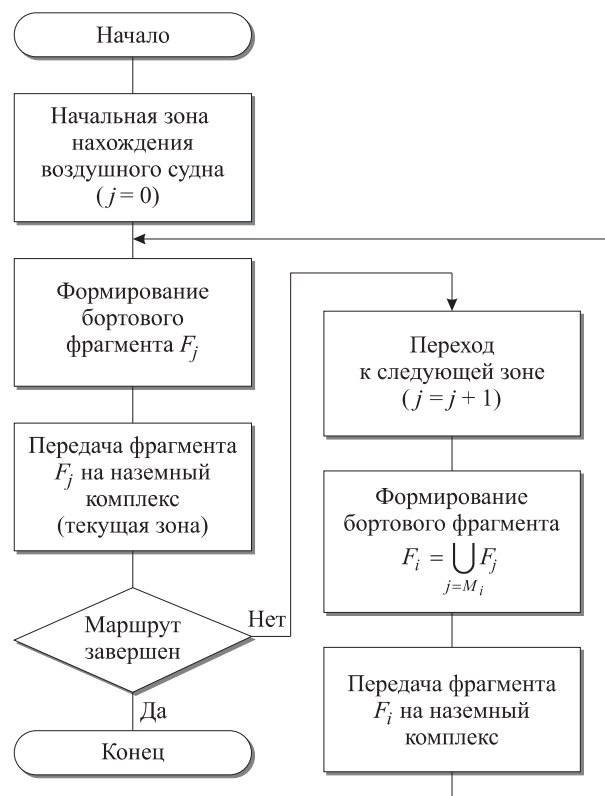


Рис. 4. Алгоритм реализации “традиционного” подхода к формированию информационной инфраструктуры наземного комплекса

говоря, информационная инфраструктура не может называться распределенной базой данных и представляет собой множество массивов информации. Однако в этом случае существенно возрастают требования к объему памяти компьютера бортового комплекса, усложняется его программное обеспечение и повышается интенсивность радиотрафика “Борт – Земля”.

Альтернативный подход основан на концепции распределенных баз данных со структурной адаптацией [9, 10]. Данная концепция использует в качестве отправного момента следующее положение. Статичная в смысле физической структуры распределенная база данных не в состоянии поддерживать показатели эффективности информационной системы на заданном уровне в случае обслуживания запросов мобильных пользователей, даже если ее первоначальная структура являлась оптимальной в этом отношении. Раскроем сущность этого положения.

С позиций теории эффективности удовлетворение требований к данным и процессам их обработки можно рассматривать как цель, достигаемую в процессе построения и использования базы данных. В свою очередь, это обеспечит заданный уровень требований к информационной системе.

Геометрическая интерпретация подобного подхода состоит в удержании значения некоторого обобщенного показателя  $U$  или частного показателя, например вероятности своевременной обработки запросов к базе данных  $P(t \leq t_{\text{доп}})$ , на заданном уровне (рис. 5, линия 1) или в заданных пределах (см. рис. 5, пунктир) на всем этапе функционирования  $t$  при выводе значений других показателей в ограничения (рис. 5, линия 2).

Правомочность данного подхода не вызывает сомнений при допущении о стабильной структуре сети и постоянном размещении пользователей. Это допущение облегчает решение задач структуризации самой базы и оптимизации выполнения запросов к ней.

В то же время динамика повседневной работы пользователей, в особенности их действий в крити-

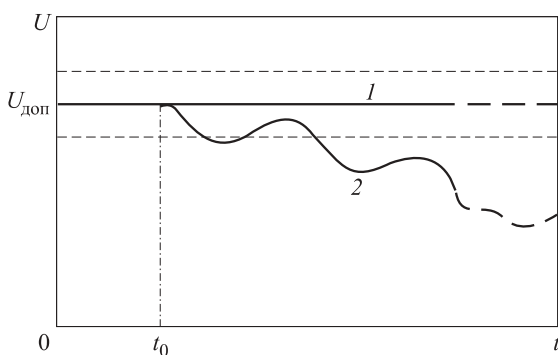


Рис. 5. График поведения показателя эффективности во времени

ческих условиях, предполагает штатное и/или внезапное изменение информационной инфраструктуры. Существуют факторы, которые могут потребовать реструктуризации базы данных в процессе ее применения.

К этим факторам относятся:

- перемещение пользователей в плановом или оперативном порядке;
- изменение структуры сети, например ее наращивание или деформация;
- выход или угроза выхода из строя узлов или линий связи вследствие разрушений, вызванных техногенными и природными катастрофами и/или другими действиями.

В результате воздействия одного или нескольких перечисленных факторов, начиная с некоторого момента времени  $t_0$ , значение выбранного показателя  $U$  может выходить за нормативные пределы (см. рис. 5, кривая 2).

В работах [9, 10] показано и обосновано, что стабилизация значения показателя эффективности возможна за счет структурных изменений, которые позволят адаптировать базу данных к меняющимся условиям обстановки и тем самым обеспечить оптимальность выполнения запросов.

В общем случае реструктуризация представляет собой процесс формирования фрагментов базы данных, мигрирующих по сети. Это предполагает, что при условии наличия достаточного пространства памяти в целевых узлах некоторые фрагменты могут перемещаться между узлами (рис. 6, фрагм. 1), а другие — копироваться на один или несколько узлов (см. рис. 6, фрагм. 2).

Анализ общих принципов построения и функционирования распределенных баз данных со структурной адаптацией показал, что они могут быть применены к организации информационного обеспече-

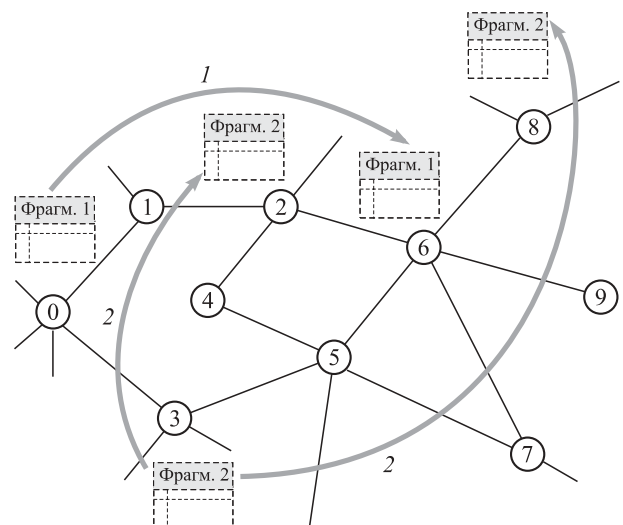


Рис. 6. Пример миграции фрагментов базы данных по сети

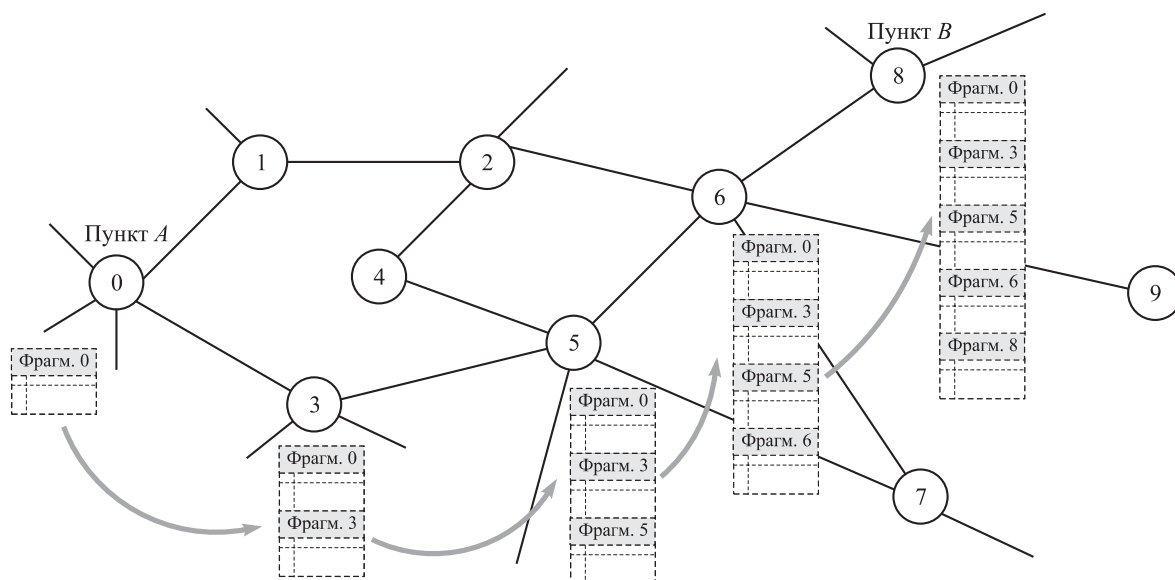


Рис. 7. Пример последовательного формирования наземных копий бортовой информации

ния предлагаемой системы наземной регистрации. Их реализация требует модернизации рассмотренного ранее “традиционного” подхода. Сущность предлагаемых изменений состоит в следующем.

Обратимся к рассмотренному примеру (см. рис. 3). При последовательном движении по маршруту бортовым компьютером в  $j$ -й узел циклически передается информация, поступившая на приборы регистрации при пролете  $j$ -й зоны ( $j \in M$ , где  $M$  — множество номеров узлов, составляющих маршрут). Таким образом, в памяти каждого узла формируется фрагмент данных  $F_j$  ( $j \in M$ ). Объединение всех фрагментов дает полную копию данных, зарегистрированных бортовыми самописцами:  $F = \bigcup_{j \in M} F_j$ . Однако все фрагменты хранятся в памяти различных узлов, поэтому для восстановления полной картины происшедшего в случае катастрофы необходима их концентрация на одном или нескольких узлах.

После того как воздушное судно покинет  $k$ -ю зону и переместится в зону  $p$ , фрагмент  $F_k$  должен быть передан в узел  $p$  по каналам инфотелекоммуникационной сети наземного комплекса ( $k \in M, p \in M$ ). Тогда в узле  $p$  формируется фрагмент  $F_{kp} = F_k \cup F_p$ . В целях повышения отказоустойчивости в сети или нескольких ее сегментах целесообразно назначать центры резервного копирования. Их функции могут возлагаться на зоновые или специализированные узлы. По окончании выполнения указанных действий, включая резервирование, оригинал фрагмента  $F_k$  может быть удален из соответствующего узла во избежание переполнения его памяти.

Таким образом, в произвольный момент времени в  $j$ -й зоне нахождения воздушного судна на соответствующем узле  $j$  существует полная копия бор-

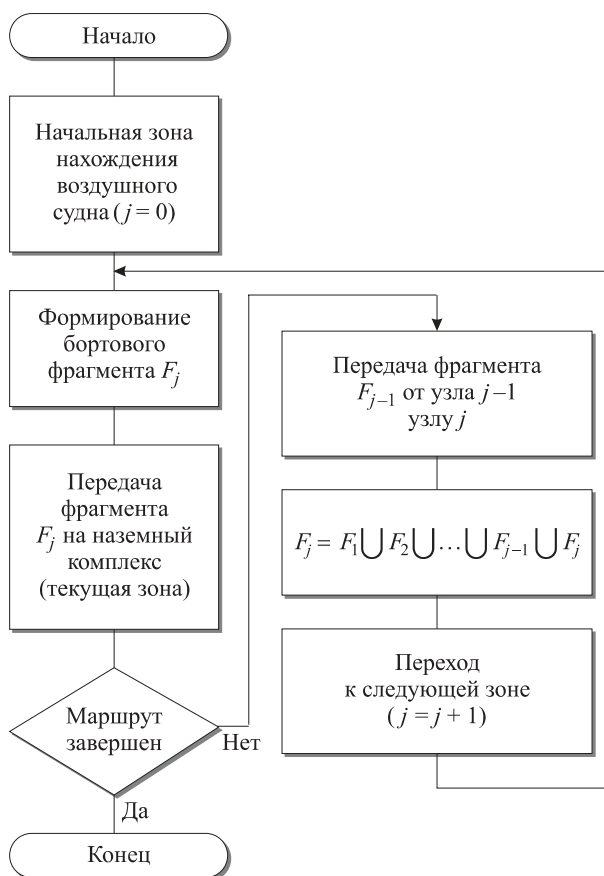


Рис. 8. Алгоритм реализации альтернативного подхода к формированию информационной инфраструктуры наземного комплекса

товой информации. Процесс ее формирования может быть представлен графически (рис. 7).

Обобщенную схему алгоритма, реализующего данный подход, можно изобразить в следующем виде (рис. 8).

Анализ предлагаемой информационной системы наземной регистрации состояния воздушного судна позволяет сделать следующие выводы:

1. Обеспечение катастрофоустойчивости информации о состоянии воздушного судна требует реализации принципа избыточности. Причем в отличие от применения этого принципа к отказоустойчивым системам, допускающим локальное размещение избыточных копий [11, 12], в данном случае дублирующая информация должна размещаться вне летательного аппарата.

2. Такое обоснование предполагает построение наземной информационно-телекоммуникационной сети, на которую поступают данные, регистрируемые бортовыми самописцами летательного аппарата. Обработка поступившей информации позволит в произвольный момент времени формировать данные, идентичные бортовым.

3. Рекомендуется вести обработку наземной информации в соответствии с подходами и принци-

пами организации распределенных баз данных со структурной адаптацией, которые предполагают перемещение фрагментов данных по информационно-телекоммуникационной сети.

4. Для повышения отказоустойчивости информации наземной сети целесообразно использовать систему резервного копирования, позволяющую восстанавливать данные в случае нарушения работы сетевых средств, а также предусмотреть наличие альтернативных маршрутов для мигрирующих фрагментов данных.

5. Реализация предлагаемой информационной системы, хотя и потребует определенных ассигнований на ее создание и обеспечение функционирования, позволит существенно повысить катастрофоустойчивость информации о состоянии воздушного судна и сократить временные и людские ресурсы при установлении причин аварий и крушений на воздушном транспорте.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Петренко С. В.* Методы и модели организации информационной поддержки для эффективного формирования бесконфликтного потока воздушных судов : дис. ... д-ра техн. наук. — Тамбов, 2013. — 393 с.
2. *Kirwan B.* Safety informing design // *Safety Science*. — 2007. — Vol. 45, Issue 1-2. — С. 155–197. DOI: 10.1016/j.ssci.2006.08.011.
3. *Kjellén U.* Safety in the design of offshore platforms: Integrated safety versus safety as an add-on characteristic // *Safety Science*. — 2007. — Vol. 45, Issue 1-2. — P. 107–127. DOI: 10.1016/j.ssci.2006.08.012.
4. *Mearns K., Whitaker S. M., Flin R.* Safety climate, safety management practice and safety performance in offshore environments // *Safety Science*. — 2003. — Vol. 41, Issue 8. — P. 641–680. DOI: 10.1016/s0925-7535(02)00011-5.
5. *Mohaghegh Z., Mosleh A.* Incorporating organizational factors into probabilistic risk assessment of complex socio-technical systems: Principles and theoretical foundations // *Safety Science*. — 2009. — Vol. 47, Issue 8. — P. 1139–1158. DOI: 10.1016/j.ssci.2008.12.008.
6. *Stolzer A. J., Halford C. D., Goglia J. J.* Implementing safety management systems in aviation. — Surrey, England : Ashgate Publishing, Ltd., 2011. DOI: 10.4324/9781315587981.
7. *Buinevich M., Izrailov K.* Method and utility for recovering code algorithms of telecommunication devices for vulnerability search // 16<sup>th</sup> International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT). — 2014. — P. 172–176. DOI: 10.1109/icact.2014.6778943.
8. *Зима В. М., Молдавян А. А., Молдавян Н. А.* Безопасность глобальных сетевых технологий. — 2-е изд. — СПб. : БХВ-Петербург, 2003. — 368 с.
9. *Артамонов В. С., Иванов А. Ю.* Структура и понятийный аппарат теории мобильных распределенных баз данных // Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России : научно-аналитический журнал. — 2009. — № 1. — С. 79–84.
10. *Саенко И. Б., Иванов А. Ю.* Методология динамического управления структурой мобильных распределенных баз данных // *Информация и космос*. — 2009. — № 2. — С. 132–138.
11. *Иьуду К. А., Кривошеков С. А.* Математические модели отказоустойчивых вычислительных систем. — М. : Изд-во МАИ, 1989. — 142 с.
12. *Сильников М. В., Малыгин И. Г., Козьмовский Д. В.* Методы мониторинга, контроля и тестирования уровня защищенности и анализа сетевой деятельности пользователей вычислительных сетей в интересах информационной безопасности системы // *Проблемы управления рисками в техносфере*. — 2015. — № 3(35). — С. 78–84.

Материал поступил в редакцию 28 декабря 2016 г.

Для цитирования: *Иванов А. Ю., Малыгин И. Г., Комашинский В. И.* Информационная система наземной регистрации состояния безопасности воздушного судна // Пожаровзрывобезопасность. — 2017. — Т. 26, № 2. — С. 54–61. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.02.54-61.

## INFORMATION SYSTEM FOR LAND REGISTRATION STATE AIRCRAFT SAFETY

**IVANOV A. Yu.**, Doctor of Technical Sciences, Professor,  
Professor of System Analysis and Crisis Management  
Department, Saint Petersburg University of State Fire Service  
of Emercom of Russia (Moskovskiy Avenue, 149, Saint Petersburg,  
199105, Russian Federation; e-mail: alexandr.y@mail.ru)

**MALYGIN I. G.**, Doctor of Technical Sciences, Professor,  
Head of Solomenko Institute of Transport Problems of  
the Russian Academy of Sciences (12-ya Liniya Vasilyevskogo  
Ostrova, 13, Saint Petersburg, 199178, Russian Federation)

**KOMASHINSKIY V. I.**, Doctor of Technical Sciences, Docent,  
Deputy Head of Sciences, Solomenko Institute of Transport  
Problems of the Russian Academy of Sciences (12-ya Liniya  
Vasilyevskogo Ostrova, 13, Saint Petersburg, 199178, Russian Federation;  
e-mail: kama54@rambler.ru)

### ABSTRACT

The article is devoted to the conceptual approach to the organization and functioning of the information system of land registration of the security status of the aircraft.

Modern means of registration have traditionally placed on board of the aircraft. This character of their placement does not guarantee the integrity of the information latched during catastrophic situations.

The authors propose to duplicate critical information by means of terrestrial services. To this it should be a system of land registration of the security status of the aircraft. It is assumed that the system should include the following components (systems): airborne, ground and orbital.

Onboard complex is none other than the terminal, which receives information about voice and crew talks about the technical parameters of aircraft. This information formed into blocks, which are periodically transmitted in the direction of orbital or terrestrial systems.

Ground complex in conception is the information and telecommunications network arbitrary or any cellular structure, while between its two different nodes should be at least two independent transmission route. This network is designed for accumulation and translation of the board received information in accordance with the route of the vessel.

Orbital complex plays the role of the reserve component. He is engaged in special situations, such as flying aircraft over the ocean space at a considerable distance from the coastline. Its main function should be considered as a signal relay on board the aircraft nearest node terrestrial component to the route of the vehicle.

This article discusses two versions of interaction airborne and ground systems to form a complete picture of the information security of the aircraft is able to board the vehicle.

The first option involves the transfer to the ground all the complex information stored on board when flying a regular route zone. This approach is equivalent to the current replication status information to a remote server. At the same time ground-based network resources are utilized not fully, but the network itself does not guarantee occurrence of congestion nodes with increasing intensity of transport flows in the areas of its service.

The second option provides for a “reset” in each zone only the information that has been accumulated since the last exchange of airborne and ground systems. Then, all the previously transferred to the “land” data must be translated to another point “reset” in real time, are accumulated with the newly

received information, and be ready to further advance over the network. This ground complex is not only responsible for the integrity of the data, but also for the reliability of their delivery to the final destination.

Distributed databases with structural adaptation are the technological aspect of such a system of organization.

Thus, the terrestrial infrastructure forms an information model of the motion of the aircraft in order to preserve all critical information.

**Keywords:** information system; aircraft; disaster recovery; flight data recorder; distributed database; structural adaptation.

## REFERENCES

1. Petrenko S. V. *Methods and models for the organization of information support for the effective formation of conflict-free flow of aircraft*. Dr. tech. sci. diss. Tambov, 2013. 393 p. (in Russian).
2. Kirwan B. Safety informing design. *Safety Science*, 2007, vol. 45, issue 1-2, pp. 155–197. DOI: 10.1016/j.ssci.2006.08.011.
3. Kjellén U. Safety in the design of offshore platforms: integrated safety versus safety as an add-on characteristic. *Safety Science*, 2007, vol. 45, issue 1-2, pp. 107–127. DOI: 10.1016/j.ssci.2006.08.012.
4. Mearns K., Whitaker S. M., Flin R. Safety climate, safety management practice and safety performance in offshore environments. *Safety Science*, 2003, vol. 41, issue 8, pp. 641–680. DOI: 10.1016/s0925-7535(02)00011-5.
5. Mohaghegh Z., Mosleh A. Incorporating organizational factors into probabilistic risk assessment of complex socio-technical systems: Principles and theoretical foundations. *Safety Science*, 2009, vol. 47, issue 8, pp. 1139–1158. DOI: 10.1016/j.ssci.2008.12.008.
6. Stolzer A. J., Halford C. D., Goglia J. J. *Implementing safety management systems in aviation*. Surrey, England, Ashgate Publishing, Ltd., 2011. DOI: 10.4324/9781315587981.
7. Buinevich M., Izrailov K. Method and utility for recovering code algorithms of telecommunication devices for vulnerability search. In: *16<sup>th</sup> International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT)*, 2014, pp. 172–176. DOI: 10.1109/icact.2014.6778943.
8. Zima V. M., Moldavyan A. A., Moldavyan N. A. *Security of WAN technologies*. 2<sup>nd</sup> ed. Saint Petersburg, BKhV-Peterburg Publ., 2003. 368 p. (in Russian).
9. Artamonov V. S., Ivanov A. Yu. The structure and the conceptual apparatus of the theory of mobile distributed databases. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta Gosudarstvennoy protivopozharnoy sluzhby MChS Rossii (Herald of Saint Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia)*, 2009, no. 1, pp. 79–84 (in Russian).
10. Saenko I. B., Ivanov A. Yu. Methodology dynamic management structure mobile distributed databases. *Informatsiya i kosmos (Information and Space)*, 2009, no. 2, pp. 132–138 (in Russian).
11. Iyudu K. A., Krivoshchekov S. A. *Mathematical model of fault-tolerant computing systems*. Moscow, MAI Publ., 1989. 142 p. (in Russian).
12. Silnikov M. V., Malygin I. G., Kozmovskiy D. V. Methods of monitoring, control and testing security analysis of network activity of users of computer networks in the interests of information security system. *Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere (Problems of Technosphere Risk Management)*, 2015, no. 3(35), pp. 78–84 (in Russian).

**For citation:** Ivanov A. Yu., Malygin I. G., Komashinskiy V. I. Information system for land registration state aircraft safety. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2017, vol. 26, no. 2, pp. 54–61. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.02.54-61.

**Д. А. ЧЕРЕПАНОВ**, аспирант кафедры комплексной безопасности в строительстве, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26; e-mail: supfear@yandex.ru)

**А. С. ЕРМАКОВ**, канд. техн. наук, доцент кафедры комплексной безопасности в строительстве, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26; e-mail: tkei2011@yandex.ru)

УДК 614.854

## ЭКСПЕРТНАЯ ОЦЕНКА ПОЖАРНОГО РИСКА ДЛЯ КЕМПИНГА С ПРИМЕНЕНИЕМ МАТРИЦЫ ПОСЛЕДСТВИЙ И ВЕРОЯТНОСТЕЙ

Предложены четыре уровня пожарного риска для кемпингов в России по аналогии с зарубежной практикой с целью дать понятное для российских и иностранных автотуристов ранжирование угроз. Представлен алгоритм и методика проведения экспертной оценки уровня пожарного риска для кемпинга с применением матрицы последствий и вероятностей. Для повышения достоверности методики использованы методы идентификации угроз по вызывающим их причинам, диагностика значения шкалы вероятностей и последствий с применением дерева событий и составленных по ним диагностических листов с указанием объектов и способов оповещения, предотвращения, защиты и эвакуации людей, а также эвакуации автокемперов, автомобилей и иного имущества. Для установления согласованности мнений экспертов при оценке уровня пожарного риска для кемпинга применены критерии конкордации. Предложен способ снижения уровня потенциальных угроз пожарной безопасности кемпинга за счет исключения источников угроз или применения мер и средств обнаружения пожара, сигнализации и автоматического тушения его и других противопожарных мер. Показано, что предложенный метод оценки уровня пожарного риска на основе реализации метода матрицы последствий и вероятностей позволит обеспечить более достоверную оценку пожарной безопасности кемпинга уже на этапе выполнения поисковых, проектных и подготовительных работ по его созданию.

**Ключевые слова:** кемпинг; автотуризм; пожарная безопасность; оценка уровня риска; качественная оценка; пожарный риск.

**DOI:** 10.18322/PVB.2017.26.02.62-71

### Введение

Пожары в кемпингах возникают относительно часто и в ряде случаев приводят к гибели и травмированию людей [1], а также к нанесению серьезного ущерба окружающей среде [2–7]. Показательным примером таких пожаров является пожар в кемпинге “Лос-Альфакес” (Таррагона, Испания), происшедший в 1978 г. вследствие взрыва автоцистерны с пропиленом, проезжавшей по автомагистрали рядом с кемпингом. В результате 217 чел. погибли и более 300 получили травмы [1]. На возникновение пожаров в кемпинге могут влиять как внешние [1, 2, 4, 6–9], так и/или внутренние [3, 4, 10–14] факторы.

Для достижения пожарной безопасности кемпингов должны выполняться рекомендации по соблюдению в них мер пожарной безопасности. Однако в отечественной нормативной документации по обеспечению их пожарной безопасности (за исключением устаревших нормативных актов, например Пра-

вил пожарной безопасности в Российской Федерации (ППБ 01–03) или Рекомендаций по проектированию зданий гостиничных предприятий мотелей и кемпингов в Санкт-Петербурге (РМД 31–03–2008) [13]), в отличие от зарубежной [3, 4], такие объекты, как кемпинги, специально не рассматриваются [9, 15–20]. В связи с этим для предварительной оценки уровня пожарной безопасности кемпинга предприниматель, организующий его, поставлен перед необходимостью привлекать специалистов по пожарной безопасности [14, 16, 18, 20, 21] или использовать компетенции специалистов экспертной организации [6, 8, 9, 15, 17, 22], что на этапе предварительного выбора площадки под кемпинг является затруднительным вследствие отсутствия объекта самой экспертизы и дополнительных финансовых затрат. В зарубежной практике открытия и эксплуатации кемпингов разработаны и предложены системы оценки пожарной безопасности кемпингов специалистами

пожарной службы как на стадии их проектирования, так и для существующих кемпингов, а также специалистами в соответствующих областях эксплуатации инфраструктуры кемпинга и размещения объектов в окружающей среде, в том числе на начальной стадии его открытия, с возможностью выполнения предварительной оценки владельцем кемпинга и его сотрудниками [3, 4, 16, 23]. Это позволяет выполнить общую оценку площадки под кемпинг и установить ее рациональную локализацию [6, 13, 15], а также предложить мероприятия по формированию противопожарных мер [1, 3, 23, 24]. Однако в РФ из-за отсутствия специализированных нормативно-законодательных документов, методических материалов по проведению оценки пожарной безопасности кемпингов, полного перечня вероятных угроз и требований к снижению риска возникновения пожара и по другим причинам данный процесс возлагается только на экспертные организации, имеющие специальное разрешение. Поэтому разработка метода оценки уровня пожарного риска для кемпингов является актуальным вопросом.

Исходя из зарубежной практики, для предварительной оценки уровня пожарного риска для кемпингов за основу может быть принят метод оценки рисков по матрице последствий и вероятностей [25]. Обладая такими достоинствами, как относительная простота использования и обеспечение быстрого ранжирования риска по уровням значимости, данный метод имеет и недостатки, а именно: необходимость создания матрицы с учетом конкретных обстоятельств ее применения, сложность установки шкал вероятностей и последствий, субъективность выполняемых оценок, а также зависимость от уровня детализации анализа пожарной безопасности.

При исследовании данного метода оценки пожарного риска для кемпингов была проведена его детализация и совершенствование с применением дополнительных методов оценки рисков и математико-статистической обработки его результатов.

#### **Исходные данные по кемпингу для проведения экспертной оценки**

Исходными данными для проведения экспертной оценки уровня пожарного риска могут служить сведения об исследуемом кемпинге, нормативные и законодательные акты от федерального до местного уровней, данные о предполагаемой площадке, сведения об окружающей среде кемпинга, статистические данные по пожарам и ЧС в данном регионе и др. [13]. При анализе проекта кемпинга используется также проектно-конструкторская документация на кемпинг; документы по его инфраструктуре и техническим средствам пожарной защиты и пр. К основным документам по пожарной безопасности кемпинга

**Таблица 1.** Классификация пожарного риска для кемпингов

Уровень пожарного риска	Уровень вероятности	Цвет опасности
4	Высокий	Красный
3	Выше среднего	Оранжевый
2	Средний	Желтый
1	Низкий	Голубой

относятся: инструкция о мерах пожарной безопасности в кемпинге, план эвакуации, инструкция по действию административно-технического персонала в случае возникновения пожара, акт проверки первичных средств пожаротушения и др.

Пожарные риски могут быть качественно оценены с применением цветовой гаммы: пятиуровневой — для лесных пожаров в РФ [9], трехуровневой — для кемпингов в странах Евросоюза [4] и четырехуровневой — для кемпингов в Австралии и Новой Зеландии [23].

Для оценки пожарного риска в кемпинге в Российской Федерации принимаем четырехуровневую классификацию пожарного риска и опасности с соответствующими цветами опасности (табл. 1).

#### **Методика экспертной оценки**

Общая последовательность проведения оценки уровня пожарного риска по каждой угрозе осуществляется с применением метода оценки рисков матрицы последствий и вероятностей [25] по алгоритму, представленному на рис. 1.

Для определения уровня пожарного риска в зависимости от цели экспертизы и стадии ее проведения могут быть привлечены специалисты по инфраструктуре, по пожарной безопасности, экспертные организации, службы пожарной охраны и др. Для полноты и достоверности экспертного опроса по оценке уровня пожарной безопасности необходимо участие в нем трех и более экспертов ( $n \geq 3$ ).

Методика экспертной оценки включает следующие действия:

1. Для проведения опроса экспертов необходимо сформировать анкету по оценке уровня пожарного риска в кемпинге. Основное назначение анкеты — получить оценку уровня пожарного риска по основным угрозам с использованием опыта, квалификации и знаний лиц, привлекаемых к данным исследованиям. Анкета включает как общие сведения об исследуемом объекте, окружающей среде, так и данные по инфраструктуре [13, 26], организации и средствам для выполнения правил противопожарного режима в кемпинге.

2. Эксперт на основании сведений о расположении кемпинга, сезоне его функционирования, на-

значении, организации, инфраструктуре и по другим признакам проводит идентификацию вероятных потенциальных угроз. При отсутствии условий или средств (природных, материальных, организационных, кадровых и т. п.) для реализации угрозы (т. е. при ее отсутствии) она в дальнейшем из рассмотрения исключается. Так, например, лесной пожар будет исключен из рассмотрения при расположении кемпинга в степи, торфяной пожар — в регионе с песчаным грунтом, морские приливы — в горах и т. д.

3. При идентификации людей и имущества, подвергающихся угрозам, устанавливают место их нахождения и категорию, а также инфраструктуру кем-

пинга, данные о природной среде и т. п. На основании этих сведений определяют виды и условия наступления угроз для посетителей и имущества. Так, например, проживающим в палаточном лагере туристам может угрожать возгорание палатки от костра, а их личным автомобилям — пожар на автостоянке от разлива топлива и др.

4. Оценку вероятности наступления угрозы  $k_{i,j} = K$  можно осуществить с использованием статистических данных по ее происхождению в данной местности для заданного периода функционирования кемпинга, сведений, взятых из общей статистической базы региона, а также по данным местного управления. Для определения вероятности угрозы могут быть также применены специальные методы ее оценки [10–12, 16–18, 21, 24, 27–29]. Для проведения оценки вероятности угрозы может быть использован диагностический лист 1 [30] с указанием в нем диагностических признаков по каждой угрозе из статистических данных по данному виду угрозы и наличию условий для ее возникновения (например, лесной пожар вероятен при наличии леса, при соответствующем его состоянии и погодных условиях, при наличии источников его возгорания, средств предотвращения и т. п.).

5. При опросе по существующей  $i$ -й угрозе эксперт выставляет оценку  $k_{i,j}$  вероятности ее появления ( $1 \leq k_{i,j} \leq 5$ ). При назначении оценки  $j$ -м экспертом используются данные табл. 2.

Если по рассматриваемой угрозе не имеется сведений по отсутствию или наличию данной угрозы, то ей присваивается статус маловероятного события ( $K = 2$ ). Если рассматриваемая угроза никогда не была в данном районе, но есть очень низкая ее вероятность, то ей присваивается статус крайне маловероятной ( $K = 1$ ). В случае, когда угрозы в принципе не может быть в данной местности, то ее вероятность принимается  $K = 0$ .



Рис. 1. Блок-схема выполнения процедур по оценке пожарного риска в кемпинге и его снижению

Таблица 2. Шкала вероятности наступления угрозы [23]

Уровень вероятности	Значение K	Описание
Весьма вероятно	5	Опасность ожидается в большинстве случаев
Вероятно	4	Событие опасности, вероятно, произойдет в большинстве случаев
Возможно	3	Событие опасности будет иметь место в какой-то момент
Маловероятно	2	Событие опасности вряд ли состоится
Крайне маловероятно	1	Событие опасности может иметь место только в исключительных случаях

Оценка вероятности наступления  $i$ -й угрозы пожара в кемпинге  $k_{i,j} = K$  в результате действия внутренних факторов, которые имеются в нем, осуществляется с применением диагностического листа 1, в котором приводятся диагностируемые признаки и параметры и их наличие в кемпинге. При составлении диагностических листов может быть применен метод анализа дерева событий [16, 25], в котором отражаются причины, средства и способы предупреждения, защиты и тушения очага пожара в кемпинге. Вероятность возникновения пожара из-за неисправного электрооборудования будет тем выше, чем больше имеется открытых неизолированных контактов, чем выше напряжения, перегрузки электросети и пр. Открытый огонь костра в кемпинге может привести к пожару, если нарушены правила безопасности проведения мероприятия и т. д.

Основными сведениями для принятия решения по табл. 2 являются фактические или гипотетические (прогнозируемые) данные, которые подтверждают вероятность наступления каждой угрозы или ее предотвращения. Среди этих сведений большое значение имеет нарушение или несоблюдение Правил противопожарного режима [22], а также причинно-следственные связи между угрозой пожара и вероятностью его развития на территории кемпинга (дерево событий и оценка состояния каждого средства по предотвращению пожара).

6. Установленная  $j$ -м экспертом вероятность наступления каждой  $i$ -й возможной угрозы фиксируется:  $k_{i,j} = K$ .

7. Для определения категории  $v_{i,j}$  последствий проявления  $i$ -й угрозы необходимо провести идентификацию людей и имущества, которые могут находиться в соответствующие сезонные периоды в кемпинге, а также сведения о наличии или отсутствии средств для предупреждения и предотвращения негативного сценария развития пожара в кемпинге. Сценарий характеризуется не только площадью возгорания, объектами, расположенными на ней, но и скоростью и направлением распространения огня, наличием и концентрацией дыма и угарного газа, наличием угрозы жизни и имуществу и т. д. Для получения необходимых сведений для определения категории  $v_{i,j}$  последствий проявления  $i$ -й угрозы эксперт может использовать имитационные модели развития пожара [1, 6, 8–10, 12, 16, 24, 27] в кемпинге по различным сценариям (в помещениях домов кемпинга (административное здание [21, 28], мобильный дом, автодом, палатка и т. п.); на территории автостоянки, на участках размещения палаток; на внешней территории, а также его последствий для площадки кемпинга и т. д.) или имеющиеся знания и сведения. Для проведения исследования может также использоваться диагностический лист 2

Таблица 3. Шкала категорий последствий проявления угрозы [23]

Уровень последствий	Значение $V$	Описание
Катастрофический	5	Значительное количество погибших, значительный ущерб
Существенный	4	Небольшое количество погибших и людей с обширными травмами; значительный ущерб; значительные финансовые потери
Средний	3	Погибших нет; получившим травмы требуется лечение, в том числе госпитализация; локальные повреждения имущества кемпинга и пострадавших; значительные финансовые потери
Низкий	2	Получившим травмы требуется помощь; незначительные повреждения имущества кемпинга и пострадавших; незначительные финансовые потери (покрываемые около 90 % за счет выплат средств по страхованию)
Несущественный	1	Отсутствие травм; практически отсутствие ущерба; незначительные финансовые потери или их полное отсутствие

с указанием в нем необходимых параметров и признаков для диагностики по каждой  $i$ -й угрозе категории  $v_{i,j}$  последствий ее проявления.

8. Определение категории  $v_{i,j}$  последствий проявления  $i$ -й угрозы  $j$ -м экспертом осуществляется с использованием сведений, представленных в табл. 3.

9. Установленная  $j$ -м экспертом категория последствий от каждого вида  $i$ -й угрозы запоминается:  $v_{i,j} = V$ .

10. Учитывая, что по каждой  $i$ -й угрозе на параметры вероятности  $k_{i,j}$  наступления и категории последствий ее проявления  $v_{i,j}$  может иметь влияние субъективное восприятие эксперта, желательно проверить достоверность и согласованность оценки пожарного риска несколькими экспертами (комиссионный вид экспертизы). Все данные экспертами (при их количестве, например,  $n = 4$ ) оценки угроз (при наличии хотя бы одной из них) сводятся в общую сводную табл. 4. Расчет результирующих значений вероятности  $k_{i,j}$  наступления и категории последствий ее проявления  $v_{i,j}$  устанавливаются из выражений:

$$H_i = \text{int} \left[ \sum_{j=1}^n k_{i,j} / n + 0,5 \right];$$

$$D_i = \text{int} \left[ \sum_{j=1}^n v_{i,j} / n + 0,5 \right].$$
(1)

Таблица 4. Сводная ведомость экспертизы кемпинга по оценке пожарного риска

Угроза $I = 1, \dots, s$	Оценки экспертами ( $j = 1, \dots, n$ ) по каждой $i$ -й угрозе вероятности $k_{i,j}$ наступления и категории $v_{i,j}$ последствий ее проявления				Результирующие параметры $H_i, D_i$
	$j = 1$	$j = 2$	$j = 3$	$j = 4$	
Лесные пожары, $i = 1$	$k_{1,1}/v_{1,1}$	$k_{1,2}/v_{1,2}$	$k_{1,3}/v_{1,3}$	$k_{1,4}/v_{1,4}$	$H_1, D_1$
Возгорание от удара молнии, $i = 2$	$k_{2,1}/v_{2,1}$	$k_{2,2}/v_{2,2}$	$k_{2,3}/v_{2,3}$	$k_{2,4}/v_{2,4}$	$H_2, D_2$
...	...	...	...	...	...
Другие угрозы, выявленные при экспертизе, $i = s$	$k_{s,1}/v_{s,1}$	$k_{s,2}/v_{s,2}$	$k_{s,3}/v_{s,3}$	$k_{s,4}/v_{s,4}$	$H_s, D_s$

Мера согласованности оценок экспертов определяется математико-статистической обработкой [31] результатов экспертизы, представленных в табл. 4, и устанавливается с помощью коэффициента конкордации (согласия)  $W$  и критерия Пирсона  $X^2$ . Коэффициент конкордации (согласия)  $W$  для оценки вероятности  $H_i$  (где  $H_i$  — вероятность проявления  $i$ -й угрозы, установленная экспертным опросом) появления  $s$ -го количества  $i$ -х угроз определяем по формуле

$$W = \frac{12 \sum_{i=1}^s \left[ \sum_{j=1}^n k_{i,j} - n \left( \frac{m+1}{2} \right) \right]^2}{n^2 (m^3 - m)}, \quad (2)$$

где  $s$  — количество угроз с вероятностью  $P > 0$ ;  
 $k_{i,j}$  — оценка вероятности появления  $i$ -й угрозы, выставленная  $j$ -м экспертом;  
 $n \left( \frac{m+1}{2} \right)$  — средняя сумма рангов;

$m$  — максимальная оценка категории вероятности или последствий каждой угрозы (согласно табл. 2 и 3  $m \leq 5$ ).

При расчете коэффициента конкордации  $W$  для оценки категории  $D_i$  последствий проявления (где  $D_i$  — уровень последствий проявления  $i$ -й угрозы, установленный экспертным опросом) в уравнении (2) вместо  $k_{i,j}$  учитываем категории  $v_{i,j}$  последствий ее проявления. Для каждого случая расчета коэффициента конкордации  $W$  определяем расчетную величину критерия Пирсона  $X^2_{\text{расч}}$  по формуле

$$X^2_{\text{расч}} = WK(m-1). \quad (3)$$

Мнения экспертов можно считать согласованными по уровню вероятности или категории последствий проявления угроз пожарной безопасности при коэффициенте конкордации  $W \geq 0,5$  и при расчетной величине критерия Пирсона  $X^2_{\text{расч}}$  более табличного значения  $X^2_{\text{табл}}$ .

Мнение экспертов может быть несогласованным в случае недостаточной их информированности о диагностируемых параметрах, некомпетентности или необъективности. В этом случае проводится повтор-

ная экспертиза с устранением проявившихся недостатков (см. рис. 1).

Таким образом, для каждой  $i$ -й угрозы определяются значения вероятности  $H_i$  наступления и категория предполагаемого последствия ее проявления  $D_i$ .

11. По каждой  $i$ -й угрозе с использованием матрицы последствий и вероятностей [4, 16, 25] определяется уровень пожарного риска  $R_i[H_i, D_i]$  для кемпинга:

$$R_i[H_i, D_i] = \begin{cases} 0 & \text{при } k_i = 0; \\ 1 & \text{при } H_i \cdot D_i = \{1 \cdot 1; 1 \cdot 2; 2 \cdot 1; 2 \cdot 2; 3 \cdot 1\}; \\ 2 & \text{при } H_i \cdot D_i = \{1 \cdot 3; 2 \cdot 3; 3 \cdot 2; 4 \cdot 1\}; \\ 3 & \text{при } H_i \cdot D_i = \{1 \cdot 4; 1 \cdot 5; 2 \cdot 4; 3 \cdot 2; 4 \cdot 2; 4 \cdot 3; 5 \cdot 1\}; \\ 4 & \text{при } H_i \cdot D_i = \{2 \cdot 5; 3 \cdot 4; 3 \cdot 5; 4 \cdot 4; 4 \cdot 5; 5 \cdot 3; 5 \cdot 4; 5 \cdot 5\}. \end{cases} \quad (4)$$

12. При анализе результатов опроса экспертов в первую очередь необходимо установить угрозы, которые имеют наиболее высокую оценку, и в зависимости от этого принимать соответствующие меры. Во внимание принимается наличие рисков от умеренного до высокого.

По результатам опроса устанавливают наибольшую угрозу  $R_{\text{max}}$ , а далее угрозы рассматривают по мере их убывания, стремясь привести все риски к нулю:

$$R_{\text{max}} = \max \{R_i[H_i, D_i]\} \rightarrow 0. \quad (5)$$

Для обеспечения безопасности кемпинга необходимо либо выполнить все требования по обеспечению безопасности по всем видам угроз, либо предусмотреть защитные меры или принять планы кризисного управления. Для контроля действий по устранению опасности можно подготовить рекомендации, в которых отмечается не только приведенная оценка пожарного риска, но и предлагаемые мероприятия и рекомендации по ее снижению. После реализации предлагаемых экспертами мероприятий процесс оценки уровня пожарного риска в кемпинге следует повторить.

Для реализации данного метода составлена программа по расчету оценок пожарного риска в среде

Microsoft Office Excel, в которой устанавливаются оценки по каждому виду вероятных угроз и определяется наибольшая из них.

При выборе площадки под кемпинг ее оценка проводится с учетом уровня угроз и затрат на их ликвидацию.

### Выводы

Таким образом, для усовершенствования метода матрицы последствий и вероятностей и обеспечения объективной оценки уровня пожарного риска для кемпинга предложено:

1) применять экспертный опрос с привлечением к участию в нем трех и более экспертов и проверкой объективности их оценок вероятности и последствий пожара в кемпинге с применением коэффициента конкордации  $W$  и критерия Пирсона;

2) использовать необходимый уровень детализации методики согласно алгоритму ее проведения;

3) представлять сведения о факторах, характеризующих уровни вероятности и последствий проявления угроз пожара, на основе использования диагностических листов, которые могут быть предварительно построены с применением моделирования возможного развития пожара по методу дерева событий или по причинно-следственным связям;

4) использовать в оценке статистические сведения МЧС о вероятности проявления тех или иных угроз для территории предполагаемого размещения кемпинга;

5) применять шкалы вероятностей и последствий по результатам детального анализа вероятностей и последствий угроз пожара для рассматриваемых условий локализации кемпинга, состава инфраструктуры и его сезонной наполняемости автотуристами;

6) привлекать к оценке риска компетентных специалистов по пожарной безопасности инфраструктуры кемпингов, обустройству кемпингов на предполагаемой территории, безопасности окружающей среды и др.

Общим условием обеспечения пожарной безопасности кемпинга является следующее: пожарная безопасность кемпинга будет обеспечена, если максимальный уровень пожарного риска не будет превышать допустимый.

Владелец кемпинга, используя результаты экспертной оценки уровня пожарного риска, обеспечивает соблюдение и выполнение мероприятий по обеспечению безопасности на этапах выполнения поисковых, проектных и подготовительных работ по его созданию.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Miguel Almeida, Jose Raul Azinheira, Jorge Barata, Kouamana Bousson, Rita Ervilha, Marta Martins, Alexandra Moutinho, Jose Carlos Pereira, Joao Caldas Pinto, Luis Mario Ribeiro, Jorge Silva, Domingos Xavier Viegas. Analysis of fire hazard in camping park areas // *Advances in Forest Fire Research*. — Coimbra : Imprensa da Universidade de Coimbra, 2014. — P. 635–647. DOI: 10.14195/978-989-26-0884-6 72.
2. Joanne Pyke, Terry De Lacy, Alexandra Law, Min Jiang. Building small destination resilience to the impact of bushfire: A case study // *Journal of Hospitality and Tourism Management*. — 2016. — Vol. 28. — P. 49–58. DOI: 10.1016/j.jhtm.2016.04.003.
3. Caravan park emergency management plan template. URL: <http://www.ses.vic.gov.au/get-ready/caravan-park-information/resources/Caravan%20EMP%20%20Template.pdf> (дата обращения: 08.08.2016).
4. CFPA-E-Guideline No. 20:2012 F. Fire safety in camping sites. URL: [http://cfpa-e.eu/wp-content/uploads/files/guidelines/CFPA\\_E\\_Guideline\\_No\\_20\\_2012\\_F.pdf](http://cfpa-e.eu/wp-content/uploads/files/guidelines/CFPA_E_Guideline_No_20_2012_F.pdf) (дата обращения: 15.08.2016).
5. Peter Folger. Earthquakes: Risk, Detection, Warning, and Research // *Congressional Research Service Report for Congress*, July 18, 2013. URL: <https://fas.org/sgp/crs/misc/RL33861.pdf> (дата обращения: 09.01.2017).
6. Teodoro Semeraro, Giovanni Mastroleo, Roberta Aretano, Gisella Facchinetti, Giovanni Zurlini, Irene Petrosillo. GIS Fuzzy Expert System for the assessment of ecosystems vulnerability to fire in managing Mediterranean natural protected areas // *Journal of Environmental Management*. — 2016. — Vol. 168. — P. 94–103. DOI: 10.1016/j.jenvman.2015.11.053.
7. Leah Cioccio, Ewen J. Michael. Hazard or disaster: Tourism management for the inevitable in Northeast Victoria // *Tourism Management*. — 2007. — Vol. 28, Issue 1. — P. 1–11. DOI: 10.1016/j.tourman.2005.07.015.
8. Sivaraman Balachandran, Karsten Baumann, Jorge E. Pachon, James A. Mulholland, Armistead G. Russell. Evaluation of fire weather forecasts using PM2.5 sensitivity analysis // *Atmospheric Environment*. — 2017. — Vol. 148. — P. 128–138. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2016.09.010.
9. ГОСТ Р 22.1.09–99. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Мониторинг и прогнозирование лесных пожаров. Общие требования. — Введ. 01.01.2000. — М. : ИПК “Изд-во стандартов”, 1999.

10. Developing a joint approach to improving flood awareness and safety at caravan and camping sites in England and Wales. Recommendations of a government-industry working group. — London : Department for Environment, Food & Rural Affairs, 2012. — 32 p. URL: [https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/69495/pb13712-flood-camp-sites.pdf](https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/69495/pb13712-flood-camp-sites.pdf) (дата обращения: 08.08.2016).
11. *Ali Karouni, Bassam Daya, Samia Bahlak, Pierre Chauvet*. A simplified mathematical model for fire spread predictions in wildland fires combining between the models of Anderson and Rothermel // *International Journal of Modeling and Optimization*. — June 2014. — Vol. 4, No. 3. — P. 192–200. DOI: 10.7763/IJMO.2014.V4.372.
12. *Yong Zhang*. Analysis on comprehensive risk assessment for urban fire: The case of Haikou City // *Procedia Engineering*. — 2013. — Vol. 52. — P. 618–623. DOI: 10.1016/j.proeng.2013.02.195.
13. *Ермаков А. С., Черепанов Д. А.* Локализация пожаробезопасного и комфортного кемпинга // *Пожаровзрывобезопасность*. — 2016. — Т. 25, № 7. — С. 48–57. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.07.48-57.
14. *Корольченко Д. А., Корольченко А. Я.* Основы пожарной безопасности предприятия: полный курс пожарно-технического минимума. — 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Пожнаука, 2011.
15. *Josip Mikulić, Darko Prebežac, Maja Šerić, Damir Krešić*. Campsite choice and the camping tourism experience: Investigating decisive campsite attributes using relevance-determinance analysis // *Tourism Management*. — 2017. — Vol. 59. — P. 226–233. DOI: 10.1016/j.tourman.2016.07.020.
16. *Якуш С. Е., Эсманский Р. К.* Анализ пожарных рисков. Часть I: Подходы и методы // *Проблемы анализа риска*. — 2009. — Т. 6, № 3. — С. 8–27.
17. *Якуш С. Е., Эсманский Р. К.* Анализ пожарных рисков. Часть II: Проблемы применения // *Проблемы анализа риска*. — 2009. — Т. 6, № 4. — С. 26–46.
18. *Пожарные риски. Вып. 1: Основные понятия / Под ред. Н. Н. Брушлинского*. — М. : ФГУ ВНИИПО МЧС РФ, 2004.
19. Правила противопожарного режима в Российской Федерации (ред. от 06.03.2015) : постановление Правительства РФ от 25.04.2012 № 390; введ. 01.09.2012 // *Собр. законодательства РФ*. — 07.05.2012. — № 19, ст. 2415.
20. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : Федер. закон РФ от 22.07.2008 № 123-ФЗ (в ред. от 03.07.2016). URL: <http://docs.cntd.ru/document/902111644> (дата обращения: 08.08.2016).
21. Методика определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности (с изм. от 12.12.2011, приказ МЧС РФ № 749) : утв. приказом МЧС России от 30.06.2009 № 382; введ. 30.06.2009. — М. : ВНИИПО, 2009.
22. Об утверждении правил оценки соответствия объектов защиты (продукции) установленным требованиям пожарной безопасности путем независимой оценки пожарного риска (ред. от 15.08.2014) : постановление Правительства РФ от 07.04.2009 № 304. URL: <http://docs.cntd.ru/document/902151202> (дата обращения: 08.08.2016).
23. Caravan Park Fire Safety. Guideline-2012. URL: [http://www.cfa.vic.gov.au/fm\\_files/attachments/plan\\_and\\_prepare/caravan-park-fire-safety-guideline-print.pdf](http://www.cfa.vic.gov.au/fm_files/attachments/plan_and_prepare/caravan-park-fire-safety-guideline-print.pdf) (дата обращения: 15.08.2016).
24. *Spearpoint M. J., Tohir M. Z. M., Abu A. K., Xie P.* Fire load energy densities for risk-based design of car parking buildings // *Case Studies in Fire Safety*. — May 2015. — Vol. 3. — P. 44–50. DOI: 10.1016/j.csfs.2015.04.001.
25. ГОСТ Р ИСО/МЭК 31010–2011. Менеджмент риска. Методика оценки риска. — Введ. 01.12.2012. URL: <http://www.cntd.ru/assets/files/upload/061112/31010-2011.pdf> (дата обращения: 15.08.2016).
26. *Черепанов Д. А., Ермаков А. С.* Способы обеспечения пожарной безопасности туристских палаток в кемпинге // *Пожаровзрывобезопасность*. — 2016. — Т. 25, № 10. — С. 48–58. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.10.48-58.
27. *Ronchi E., Uriz F. Nieto, Criel X., Reilly P.* Modelling large-scale evacuation of music festivals // *Case Studies in Fire Safety*. — May 2016. — Vol. 5. — P. 11–19. DOI: 10.1016/j.csfs.2015.12.002.
28. *Косачёв А. А., Корольченко А. Я.* К вопросу о расчете пожарного риска // *Пожаровзрывобезопасность*. — 2009. — Т. 18, № 6. — С. 53–56.
29. *Plucinski M. P.* The timing of vegetation fire occurrence in a human landscape // *Fire Safety Journal*. — July 2014. — Vol. 67. — P. 42–52. DOI: 10.1016/j.firesaf.2014.05.012.

30. Черепанов Д. А. Алгоритм оценки рисков пожарной и радиационной безопасности при выборе площадки под кемпинг // Строительство — формирование среды жизнедеятельности : сборник материалов XIX Международной межвузовской научно-практической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых. — М. : ФГБОУ ВО “Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет”, 2016. — С. 542–544.
31. Ермаков А. С. Экспертиза и диагностика объектов и систем сервиса. Лабораторный практикум. — М. : МГУС, 2006. — 113 с.

*Материал поступил в редакцию 20 декабря 2016 г.*

**Для цитирования:** Черепанов Д. А., Ермаков А. С. Экспертная оценка пожарного риска для кемпинга с применением матрицы последствий и вероятностей // Пожаровзрывобезопасность. — 2017. — Т. 26, № 2. — С. 62–71. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.02.62-71.

English

## EXPERT FIRE RISK ASSESSMENT CAMPING WITH THE USE OF A MATRIX OF CONSEQUENCES AND PROBABILITY

**CHEREPANOV D. A.**, Postgraduate Student, Department of Complex Safety in Construction, National Research Moscow State University of Civil Engineering (Yaroslavskoye Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation; e-mail: supfear@yandex.ru)

**ERMAKOV A. S.**, Candidate of Technical Sciences, Associated Professor of Department of Complex Safety in Construction, National Research Moscow State University of Civil Engineering (Yaroslavskoye Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation; e-mail: tkei2011@yandex.ru)

### ABSTRACT

Fire safety campsites, which are widespread in the world, especially important for Russia in connection with the lack of specific technical regulations on fire safety. The diversity of threats of fire in the campsite and their dependence on many factors specific to each campsite requires the creation of a universal and objective method of assessing the fire danger. Asked to take four levels of fire risk for campsites in Russia by analogy with international practice, and thereby to give a clear ranking of threats for the Russian and foreign tourists. The algorithm and the methodology of the expert assessment of the level of fire risk camping with the use of a Matrix of consequences and probabilities. To improve the reliability of the methodology used the methods of identification of threats because of their caller, the diagnostic value of the scale of probability and consequences with the use of event tree and is compiled by him diagnostic sheets, indicating the objects and methods of alert, prevention, protection and evacuation, and the evacuation of autocampers, cars and other property. The consistency of experts' opinions when assessing the fire risk for camping is established by using the criteria of concordance (under the agreed opinion of the experts should be more than 0.5) and Pearson (must be more than its table values). Ranking with the use of this methodology threats to fire safety allows you to set the most probable and most dangerous to life and health of people and safety of their property threatened. The article suggests a method of reducing the level of potential threats to fire safety of camping. Reduction of fire risk is achieved by the exclusion of sources of threats or the application of measures and means of fire detection, alarm and automatic extinguishing it, and also the use of other fire protection measures. The proposed method of assessing the level of fire risk based on the implementation of the method of the matrix of consequences and probability will allow more reliable estimation of fire safety of camping at the stage of prospecting, design and preparatory work for its establishment. The proposed method of assessing the level of fire risk and allows the owners if other indicators are equal, choose sites for camping to give preference to those sites that have lower threat levels, fire safety and cost of their elimination.

**Keywords:** camping; caravanning; fire safety; risk assessment; qualitative assessment; fire risk.

## REFERENCES

1. Miguel Almeida, Jose Raul Azinheira, Jorge Barata, Kouamana Bousson, Rita Ervilha, Marta Martins, Alexandra Moutinho, Jose Carlos Pereira, Joao Caldas Pinto, Luis Mario Ribeiro, Jorge Silva, Domingos Xavier Viegas. Analysis of fire hazard in camping park areas. In: *Advances in Forest Fire Research*. Coimbra, Imprensa da Universidade de Coimbra, 2014, pp. 635–647. DOI: 10.14195/978-989-26-0884-6 72.
2. Joanne Pyke, Terry De Lacy, Alexandra Law, Min Jiang. Building small destination resilience to the impact of bushfire: A case study. *Journal of Hospitality and Tourism Management*, 2016, vol. 28, pp. 49–58. DOI: 10.1016/j.jhtm.2016.04.003.
3. *Caravan park emergency management plan template*. Available at: <http://www.ses.vic.gov.au/get-ready/caravan-park-information/resources/Caravan%20EMP%20%20Template.pdf> (Accessed 8 August 2016).
4. *CFPA-E-Guideline No. 20:2012 F. Fire safety in camping sites*. Available at: [http://cfpa-e.eu/wp-content/uploads/files/guidelines/CFPA\\_E\\_Guideline\\_No\\_20\\_2012\\_F.pdf](http://cfpa-e.eu/wp-content/uploads/files/guidelines/CFPA_E_Guideline_No_20_2012_F.pdf) (Accessed 15 August 2016).
5. Peter Folger. Earthquakes: Risk, Detection, Warning, and Research. *Congressional Research Service Report for Congress*, July 18, 2013. Available at: <https://fas.org/sgp/crs/misc/RL33861.pdf> (Accessed 8 August 2016).
6. Teodoro Semeraro, Giovanni Mastroleo, Roberta Aretano, Gisella Facchinetti, Giovanni Zurlini, Irene Petrosillo. GIS Fuzzy Expert System for the assessment of ecosystems vulnerability to fire in managing Mediterranean natural protected areas. *Journal of Environmental Management*, 2016, vol. 168, pp. 94–103. DOI: 10.1016/j.jenvman.2015.11.053.
7. Leah Cioccio, Ewen J. Michael. Hazard or disaster: Tourism management for the inevitable in Northeast Victoria. *Tourism Management*, 2007, vol. 28, issue 1, pp. 1–11. DOI: 10.1016/j.tourman.2005.07.015.
8. Sivaraman Balachandran, Karsten Baumann, Jorge E. Pachon, James A. Mulholland, Armistead G. Russell. Evaluation of fire weather forecasts using PM2.5 sensitivity analysis. *Atmospheric Environment*, 2017, vol. 148, pp. 128–138. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2016.09.010.
9. *National Standard of Russian Federation 22.1.09–99. Safety in emergency situations. Monitoring and forecasting of forest fires. General requirements*. Moscow, IPK “Izdatelstvo standartov”, 1999 (in Russian).
10. *Developing a joint approach to improving flood awareness and safety at caravan and camping sites in England and Wales. Recommendations of a government-industry working group*. London, Department for Environment, Food & Rural Affairs, 2012. 32 p. Available at: [https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/69495/pb13712-flood-camp-sites.pdf](https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/69495/pb13712-flood-camp-sites.pdf) (Accessed 8 August 2016).
11. Ali Karouni, Bassam Daya, Samia Bahlak, Pierre Chauvet. A simplified mathematical model for fire spread predictions in wildland fires combining between the models of Anderson and Rothermel. *International Journal of Modeling and Optimization*, June 2014, vol. 4, no. 3, pp. 192–200. DOI: 10.7763/IJMO.2014.V4.372.
12. Yong Zhang. Analysis on comprehensive risk assessment for urban fire: The case of Haikou City. *Procedia Engineering*, 2013, vol. 52, pp. 618–623. DOI: 10.1016/j.proeng.2013.02.195.
13. Ermakov A. S., Cherepanov D. A. Localization of fire-safety and comfortable camping. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2016, vol. 25, no. 6, pp. 48–57 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2016.25.07.48-57.
14. Korolchenko D. A., Korolchenko A. Ya. *Basics of fire safety of the enterprise: a full course of fire-technical minimum*, 2<sup>nd</sup> ed. Moscow, Pozhnauka Publ., 2011 (in Russian).
15. Josip Mikulić, Darko Prebežac, Maja Šerić, Damir Krešić. Campsite choice and the camping tourism experience: Investigating decisive campsite attributes using relevance-determinance analysis. *Tourism Management*, 2017, vol. 59, pp. 226–233. DOI: 10.1016/j.tourman.2016.07.020.
16. Yakush S. E., Esmanskiy R. K. Analysis of fire risks. Part I: Approaches and methods. *Problemy analiza riska (Issues of Risk Analysis)*, 2009, vol. 6, no. 3, pp. 8–27 (in Russian).
17. Yakush S. E., Esmanskiy R. K. Fire risk analysis. Part II: Practical issues. *Problemy analiza riska (Issues of Risk Analysis)*, 2009, vol. 6, no. 4, pp. 26–46 (in Russian).
18. Brushlinskiy N. N. (ed.). *Fire risks. Issue 1: Basic concepts*. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 2004 (in Russian).
19. Rules of the fire prevention regime in the Russian Federation. Decision of Government of RF on 25.04.2012 No. 390 (ed. on 06. 03. 2015). *Sobraniye zakonodatelstva RF (Collection of Laws of Russian Federation)*, 2012, no. 19, art. 2415 (in Russian).

20. *Technical regulations for fire safety requirements. Federal Law on 22.07.2008 No. 123 (ed. 03.07.2016)* (in Russian). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/902111644> (Accessed 8 August 2016).
21. *Technique of determination of settlement sizes of fire risk in buildings, constructions and structures of various classes of functional fire danger*. Order of Emercom of Russia on 30.06.2009 No. 382. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 2009 (in Russian).
22. *On approval of rules of conformity assessment of protection objects (products) to the established fire safety requirements through independent assessment of fire risk (ed. 15.08.2014)*. Resolution of the government of the Russian Federation on 07.04.2009 No. 304 (in Russian). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/902151202> (Accessed 8 August 2016).
23. *Caravan Park Fire Safety. Guideline-2012*. Available at: [http://www.cfa.vic.gov.au/fm\\_files/attachments/plan\\_and\\_prepare/caravan-park-fire-safety-guideline-print.pdf](http://www.cfa.vic.gov.au/fm_files/attachments/plan_and_prepare/caravan-park-fire-safety-guideline-print.pdf) (Accessed 15 August 2016).
24. Spearpoint M. J., Tohir M. Z. M., Abu A. K., Xie P. Fire load energy densities for risk-based design of car parking buildings. *Case Studies in Fire Safety*, May 2015, vol. 3, pp. 44–50. DOI: 10.1016/j.csfs.2015.04.001.
25. *GOST R ISO/IEC 31010–2011. Risk management — Risk assessment techniques*. Available at: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iec:31010:ed-1:v1:en> (Accessed 15 August 2016).
26. Cherepanov D. A., Ermakov A. S. Ways to ensure fire safety of camping tents. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2016, vol. 25, no. 10, pp. 48–58 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2016.25.10.48-58.
27. Ronchi E., Uriz F. Nieto, Criel X., Reilly P. Modelling large-scale evacuation of music festivals. *Case Studies in Fire Safety*, May 2016, vol. 5, pp. 11–19. DOI: 10.1016/j.csfs.2015.12.002.
28. Kosachev A. A., Korolchenko A. Ya. On the question of fire risk calculation. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2009, vol. 18, no. 6, pp. 53–56 (in Russian).
29. Plucinski M. P. The timing of vegetation fire occurrence in a human landscape. *Fire Safety Journal*, July 2014, vol. 67, pp. 42–52. DOI: 10.1016/j.firesaf.2014.05.012.
30. Cherepanov D. A. Algorithm assessment of the risks of fire and radiation safety when selecting the site for camping. In: *Construction — formation of living environment. Proceedings of XIX International Interuniversity Scientific-Practical Conference of Students, Undergraduates, Graduate Students and Young Scientists*. Moscow, National Research Moscow State Construction University, 2016, pp. 542–544 (in Russian).
31. Ermakov A. S. *Assessment and diagnosis of objects and systems of service. Laboratory workshop*. Moscow, MSUS Publ., 2006. 113 p. (in Russian).

**For citation:** Cherepanov D. A., Ermakov A. S. Expert fire risk assessment camping with the use of a matrix of consequences and probability. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2017, vol. 26, no. 2, pp. 62–71. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.02.62-71.

**Н. Н. БРУШЛИНСКИЙ**, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры управления и экономики ГПС, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: nbrus1934@yandex.ru)

**С. В. СОКОЛОВ**, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры управления и экономики ГПС, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: albrus-ssv1@yandex.ru)

**М. П. ГРИГОРЬЕВА**, инженер, научный сотрудник Научно-образовательного комплекса организационно-управленческих проблем ГПС, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: margarita\_theone@mail.ru)

УДК 614.8(470)

## АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ ПОЖАРНЫХ РИСКОВ В СТРАНАХ МИРА И В РОССИИ

Представлены результаты исследования основных пожарных рисков в 35 странах мира и административно-территориальных единицах России в 2014 г. Проанализирована динамика риска гибели людей при пожарах в шести странах мира (СССР, Россия, США, Китай, Великобритания и Германия) за 55 лет (с 1959 по 2014 гг.). В качестве основных пожарных рисков рассмотрены: число пожаров, приходящееся на единицу населения в единицу времени; число погибших при пожарах на единицу населения в единицу времени. Показано, что все представленные риски демонстрируют уровни пожарной опасности в той или иной административно-территориальной единице (город, регион, страна) и позволяют сравнивать эти уровни на разных территориях и исследовать их динамику во времени. На основе анализа распределений пожарных рисков продемонстрированы существенные различия в параметрах оперативной обстановки с пожарами для разных стран и исследуемых территориальных единиц РФ.

**Ключевые слова:** пожар; погибший на пожаре; пожарная статистика; пожарный риск; основные пожарные риски; обстановка с пожарами.

**DOI:** 10.18322/PVB.2017.26.02.72-80

В начале статьи дадим несколько определений, которые в ней будут использоваться.

Пожарный риск — количественная характеристика возможности реализации пожарной опасности (и ее последствий), измеряемая, как правило, в соответствующих единицах [1].

Видов пожарных рисков существует достаточно много (десятки), и все они оперируют частотными характеристиками возникновения и развития пожара на том или ином объекте защиты, а также предполагаемыми параметрами его социальных, экономических и экологических последствий.

К основным пожарным рискам будем относить следующие:

- $R_1$  — риск для человека оказаться в условиях действия опасных факторов пожара (ОФП) в единицу времени (пожаров/(чел.·год));
- $R_2$  — риск для человека погибнуть при пожаре (оказаться его жертвой) (жертв/пожар);
- $R_3$  — риск для человека погибнуть при пожаре в единицу времени (жертв/(чел.·год)).

Очевидно, что эти риски связаны соотношением

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

Риск  $R_1$  характеризует возможность реализации пожарной опасности, а риски  $R_2$  и  $R_3$  — некоторые последствия этой реализации [2].

Риски  $R_1$ – $R_3$  отражают уровни пожарной опасности в той или иной административно-территориальной единице (город, регион, страна) и позволяют, во-первых, сравнивать эти уровни на разных территориях и, во-вторых, исследовать динамику их изменения во времени.

Авторы располагают международной и отечественной пожарной статистикой [3–5] и проводят в статье сравнительный анализ пожарных рисков  $R_1$ ,  $R_2$  и  $R_3$  в странах мира и среди региональных центров и субъектов Российской Федерации.

### Анализ значений пожарных рисков в странах мира

На рис. 1–3 представлены значения исследуемых пожарных рисков в 35 странах мира за 2014 г. [3].

Из рис. 1 следует, что самые большие значения риска  $R_1$  в 2014 г. зафиксированы в Латвии (6,4), Нидерландах (5,4), Эстонии (5,2), Австрии (5,1) и Молдове (5,0). В этих странах на 1000 чел. в среднем

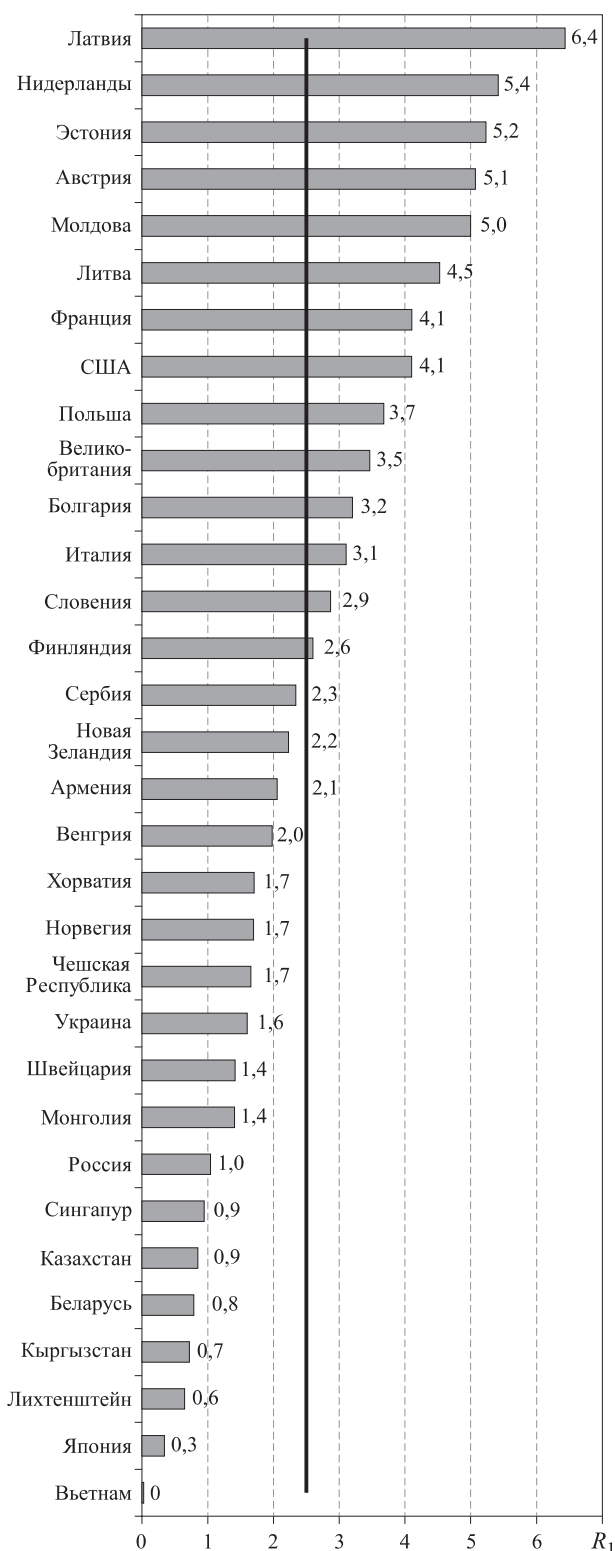


Рис. 1. Распределение значений пожарного риска  $R_1$  по странам мира за 2014 г.

приходилось по 5–6 пожаров в год. Из рис. 1 видим, что наименьшие значения риска  $R_1$  зафиксированы в Беларуси (0,8), Кыргызстане (0,7), Лихтенштейне (0,6), Японии (0,3) и Вьетнаме (0). Это означает, что в этой пятёрке стран в 2014 г. на 1000 чел. приходилось менее одного пожара. Для остальных 25 стран

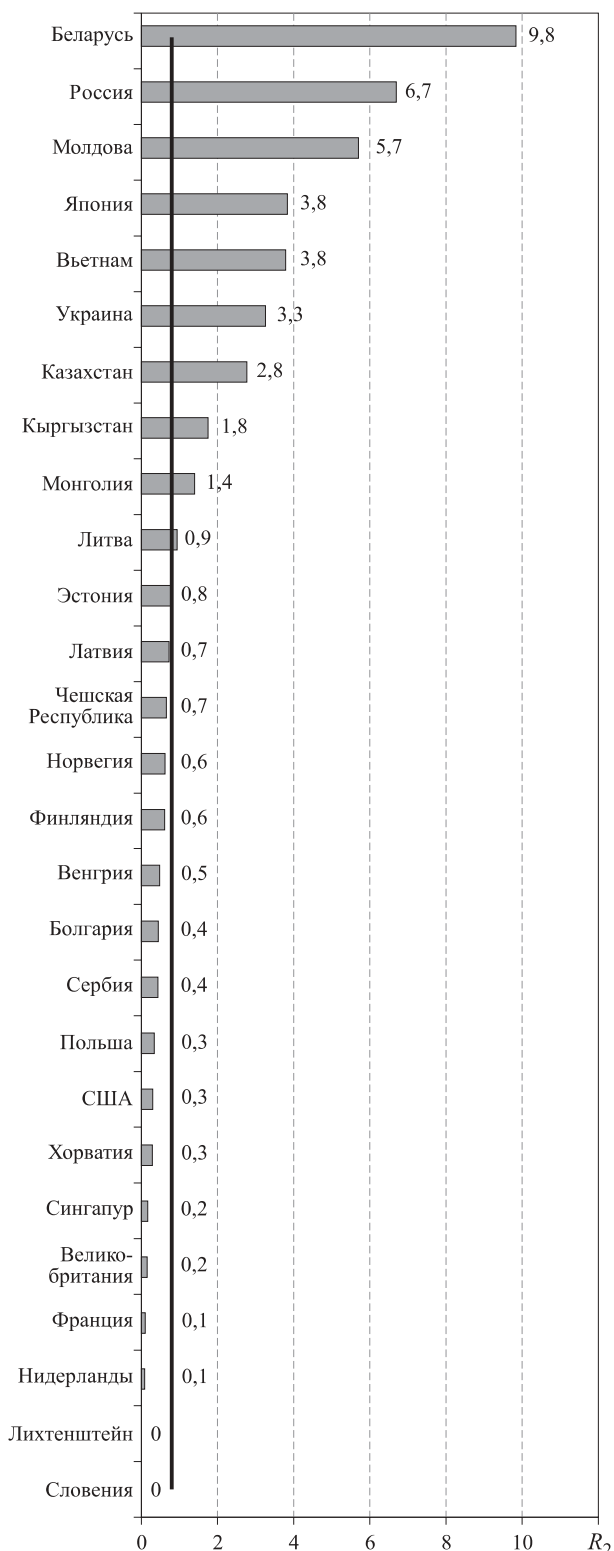


Рис. 2. Распределение значений пожарного риска  $R_2$  по странам мира за 2014 г.

значения  $R_1$  находятся в интервале от 0,9 до 4,5. Для России в 2014 г. значение риска  $R_1$  составило 1,0.

При оценке величины риска  $R_1$  необходимо иметь в виду, что представленные на рис. 1 страны мира имеют различные правила регистрации пожаров. Например, в одних странах учитывают все виды по-

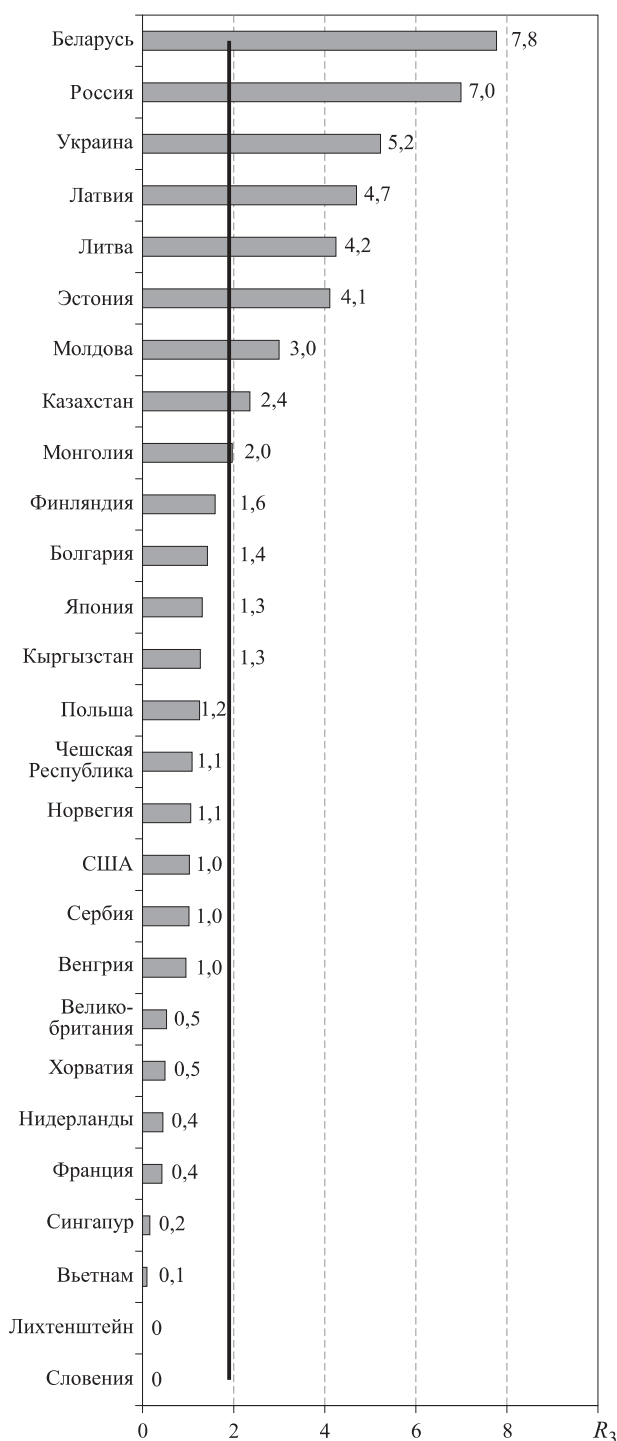


Рис. 3. Распределение значений пожарного риска  $R_3$  по странам мира за 2014 г.

жаров (в зданиях, на транспорте, кустарники, трава, мусор и т.д.), в других — только пожары в зданиях и на транспорте.

Проанализируем таким же образом рис. 2. Здесь в первую пятерку стран с самым высоким значением риска  $R_2$  входят Беларусь (9,8), Россия (6,7), Молдова (5,7), Япония (3,8) и Вьетнам (3,8). Это значит, что на каждые 100 пожаров в этих странах приходится от 4 до 10 погибших.

Если сопоставить эти данные со значениями риска  $R_1$  в этих странах (см. рис. 1), то увидим, что в четырех странах из пяти число пожаров небольшое (в Беларуси и России учитываются не все виды пожаров), а жертв пожаров достаточно много, о чем и свидетельствуют значения риска  $R_2$ .

В нижней части рис. 2 расположены пять стран с низким пожарным риском  $R_2$ : Великобритания (0,2), Франция и Нидерланды (по 0,1), Лихтенштейн и Словения (0). В этих странах учитывают все виды пожаров и их достаточно много, но гибель при них сравнительно мала, о чем и говорят значения  $R_2$ .

Рис. 1 и 2 аккумулируются в статистических данных рис. 3 (с учетом соотношения (1)). Здесь мы видим, что самые большие значения риска  $R_3$  приходятся на постсоветские республики: Беларусь (7,8), Россию (7,0), Украину (5,2), Латвию (4,7) и Литву (4,2). Это означает, что в перечисленных странах на каждые 100 тыс. чел. в 2014 г. приходилось от 4 до 8 погибших при пожарах. По существу, это индивидуальные пожарные риски.

Самые низкие значения  $R_3$  наблюдаются во Франции (0,4), Сингапуре (0,2), Вьетнаме (0,1), Лихтенштейне и Словении (0). В остальных 20 странах за год на каждые 100 тыс. чел. приходилось от 0,4 до 4,0 жертв пожаров.

При оценке величин рисков  $R_2$  и  $R_3$  также необходимо иметь в виду, что представленные страны имеют различные правила регистрации погибших при пожарах людей, которые к тому же меняются со временем. Разница состоит в величине промежутка времени после пожара, в течение которого если человек умирает от травм, полученных при пожаре, то считается, что он погиб на пожаре. Например, в США этот промежуток составляет 1 год, в большинстве европейских стран — 30–40 сут, в России — 0 сут.

Такова характеристика обстановки с пожарами в 35 странах мира за 2014 г.

### Анализ пожарных рисков в субъектах РФ

Применим теперь сравнительный анализ основных пожарных рисков по регионам и субъектам Российской Федерации за 2014 г. Рассмотрим все 9 региональных центров (РЦ) России (рис. 4 и 5) и 83 субъекта РФ (рис. 6 и 7) (в 2014 г. Крым и Севастополь еще не являлись субъектами РФ) [4, 5].

На рис. 4 представлены значения риска  $R_1$  в региональных центрах России. Самое большое значение риска  $R_1$  отмечено в Дальневосточном РЦ — 2,2. Это означает, что на Дальнем Востоке на 1000 чел. в среднем приходилось 2,2 пожара. Наименьшее значение  $R_1$  зафиксировано в Северокавказском РЦ — 0,4. Среднее значение по Российской Федерации составило 1,0.

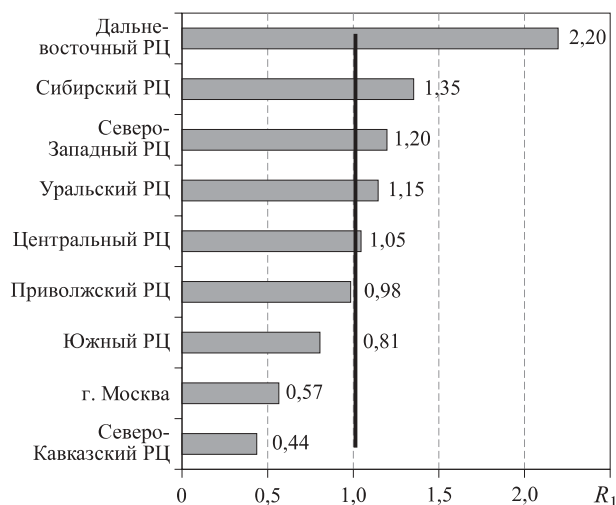


Рис. 4. Распределение значений пожарного риска  $R_1$  по региональным центрам России за 2014 г.

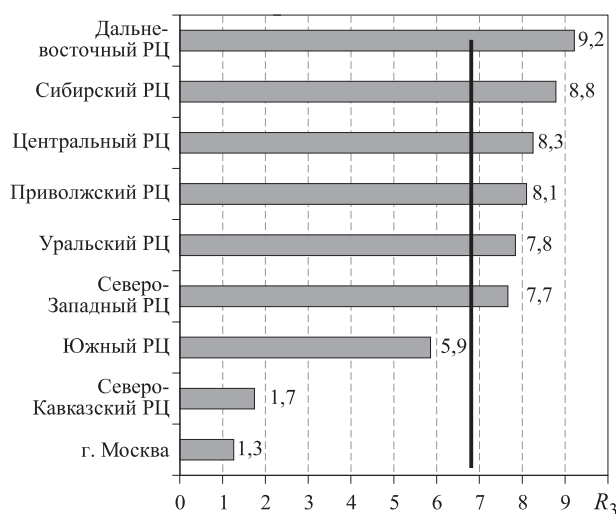


Рис. 5. Распределение значений пожарного риска  $R_3$  по региональным центрам России за 2014 г.

Значения риска  $R_3$ , представленные на рис. 5, колеблются от 9,2 (Дальний Восток) до 1,3 (Москва). Это значит, что на Дальнем Востоке риск погибнуть на пожаре за 2914 г. был в 7 раз больше, чем в Москве, и в 5,4 раза выше, чем на Северном Кавказе.

Этот укрупненный анализ на региональном уровне существенно детализируется на уровне субъектов РФ (см. рис. 6 и 7). Из рис. 6 видно, что значения  $R_1$  в России в 2014 г. колебались от 2,7 (Приморский край) до 0,3 (Чеченская Республика и Дагестан), т. е. разброс колебаний этих значений составил 9 раз (для региональных центров — 5,5 раз).

Что же касается индивидуального пожарного риска  $R_3$ , его максимальные значения зафиксированы в Ненецком автономном округе (23,2) и Псковской области (18,6), минимальные — в Чечне и Северной Осетии (0,6) и Ингушетии (0,2) (см. рис. 7). Здесь максимальное значение превышает минимальное в 116 раз (или в 31 раз, если отбросить крайние значения).

Как показано выше, параметры оперативной обстановки с пожарами имеют значительные отличия по регионам. Все эти отличия необходимо учитывать при обосновании численности сил и средств территориальных подразделений пожарной охраны в Российской Федерации. Усреднение таких нормативов даст неправильные, экономически не обоснованные результаты.

### Динамика изменения пожарных рисков в ряде стран мира

На рис. 8 представлена динамика колебаний величины пожарного риска  $R_3$  (индивидуальный пожарный риск) в шести странах мира за 1959–2014 гг. (при этом не стоит забывать, что СССР прекратил свое существование в 1991 г.). Здесь использованы разные литературные источники, в частности доклад “Горящая Америка” [6–10].

Анализ динамики изменения пожарного риска  $R_3$  за 55 лет позволяет сделать очень интересные выводы. В середине прошлого века в США значение риска  $R_3$  превышало 6,0, т. е. на 100 тыс. американцев приходилось примерно 6 погибших при пожарах за год. В то же время в СССР, Великобритании и Китае значения риска  $R_3$  не превышали 1,5.

С течением времени обстановка с пожарами менялась следующим образом. В США значения риска  $R_3$  сначала очень медленно убывали вплоть до 1976 г., а затем резко снизились (в 2 раза) и продолжали уменьшаться до настоящего времени, достигнув значения 1,0. Исключение составил 2001 г., когда в сентябре был совершен террористический акт в Нью-Йорке и при пожаре погибло более 2,5 тыс. чел.

В середине 70-х годов прошлого века в США было принято множество новых стандартов, федеральных программ и других документов, способствующих улучшению обстановки в области пожарной безопасности.

Одной из таких программ предусматривалось внедрение в жилом секторе средств пожарной автоматики, так как именно на этих объектах число жертв превышает 80 % всех погибших при пожарах. На рис. 9 представлена динамика оснащения жилого сектора США дымовыми извещателями и изменения величины риска  $R_3$  [11]. В настоящее время риск гибели людей при пожарах в жилых домах, оснащенных дымовыми извещателями, в два раза ниже, чем в домах без извещателей [12–14].

Иную картину можно наблюдать в СССР. Здесь, наоборот, значения  $R_3$  монотонно росли с 1,0 до 4,0 (в 1985 г.), потом несколько снизились (в этот период началась борьба с пьянством и алкоголизмом, одной из основных причин гибели людей при пожарах), а затем исчез с исторической арены Советский Союз.

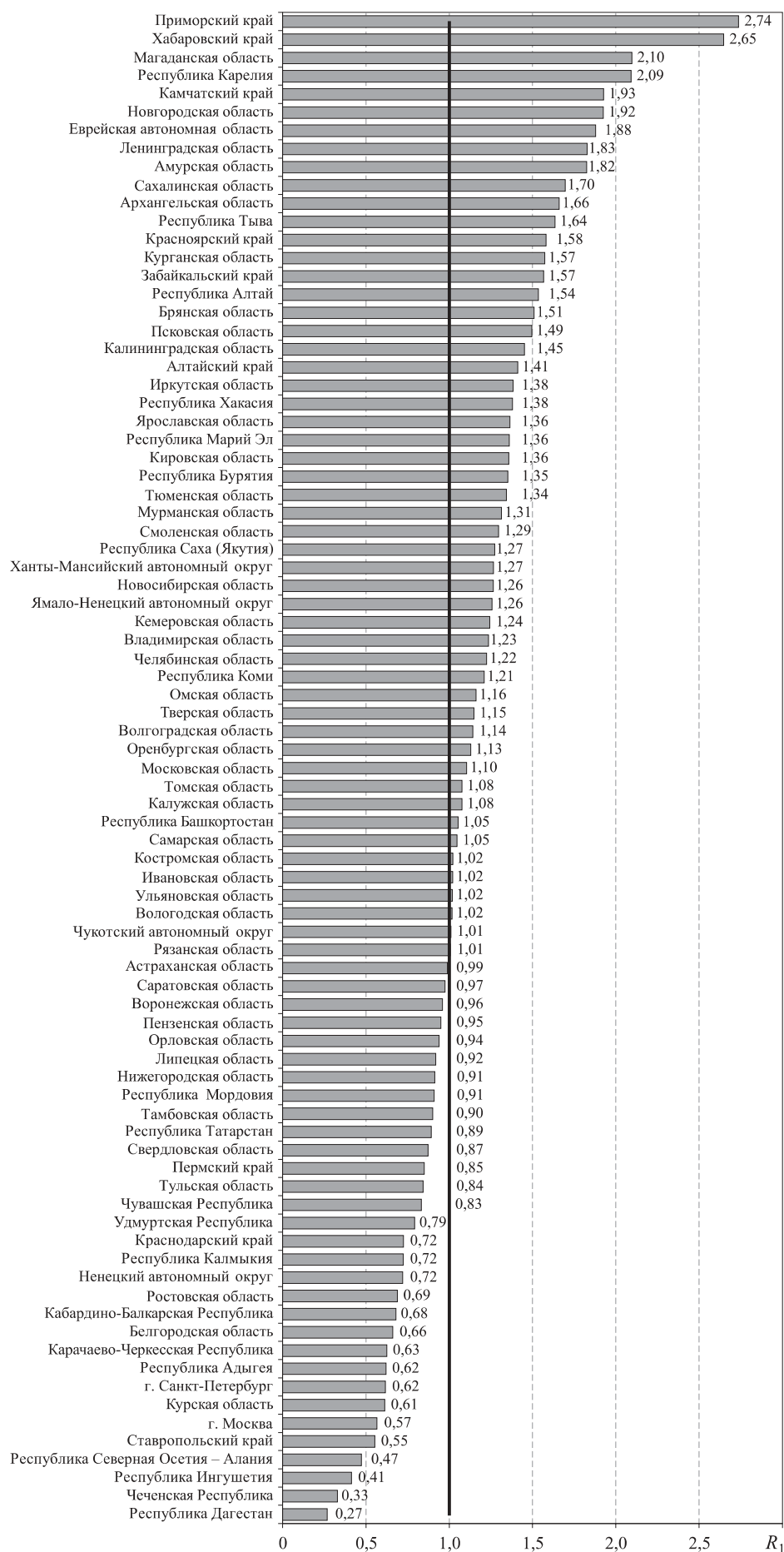


Рис. 6. Распределение значений пожарного риска  $R_1$  по субъектам РФ за 2014 г.

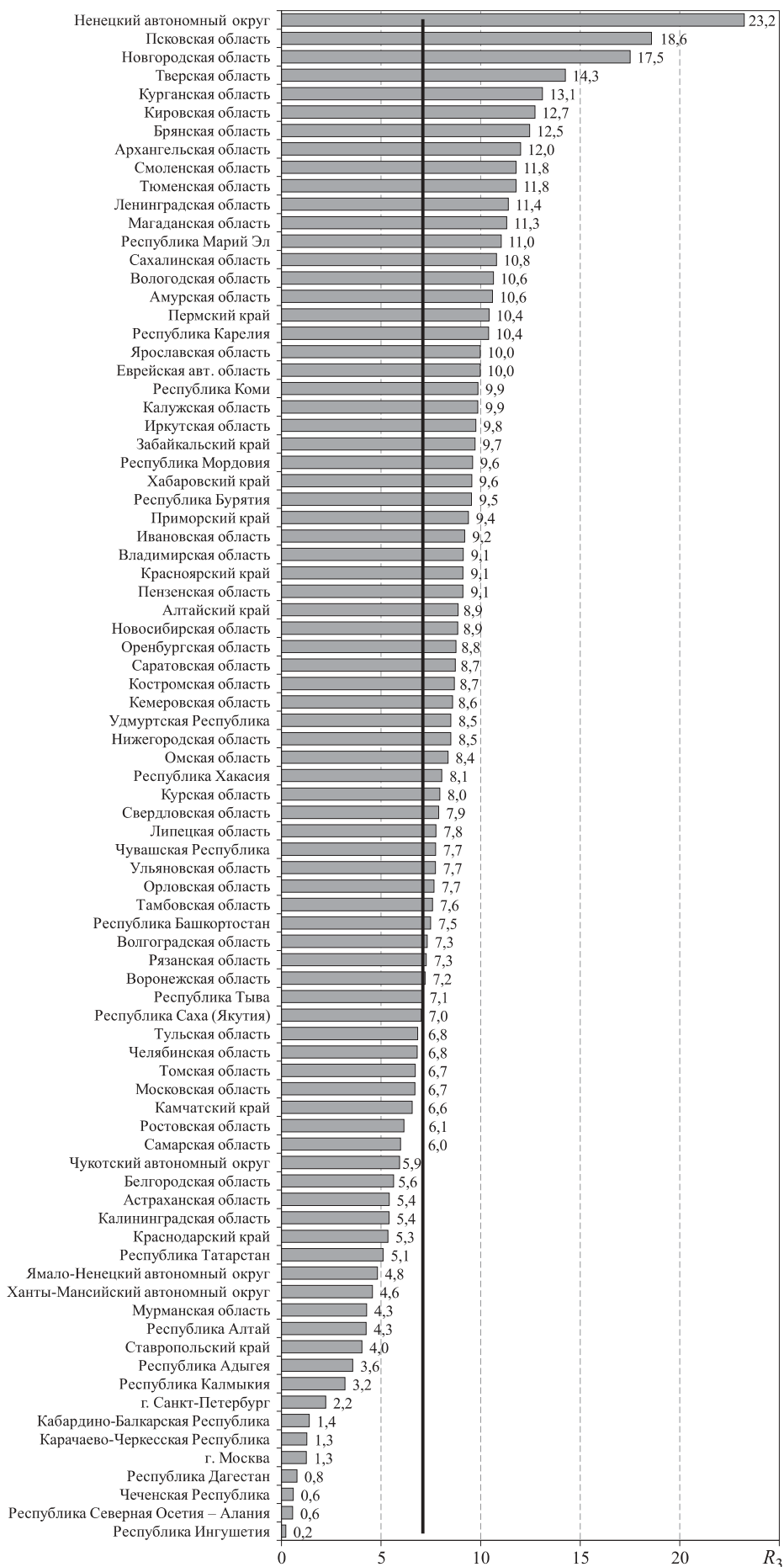


Рис. 7. Распределение значений пожарного риска  $R_3$  по субъектам РФ за 2014 г.

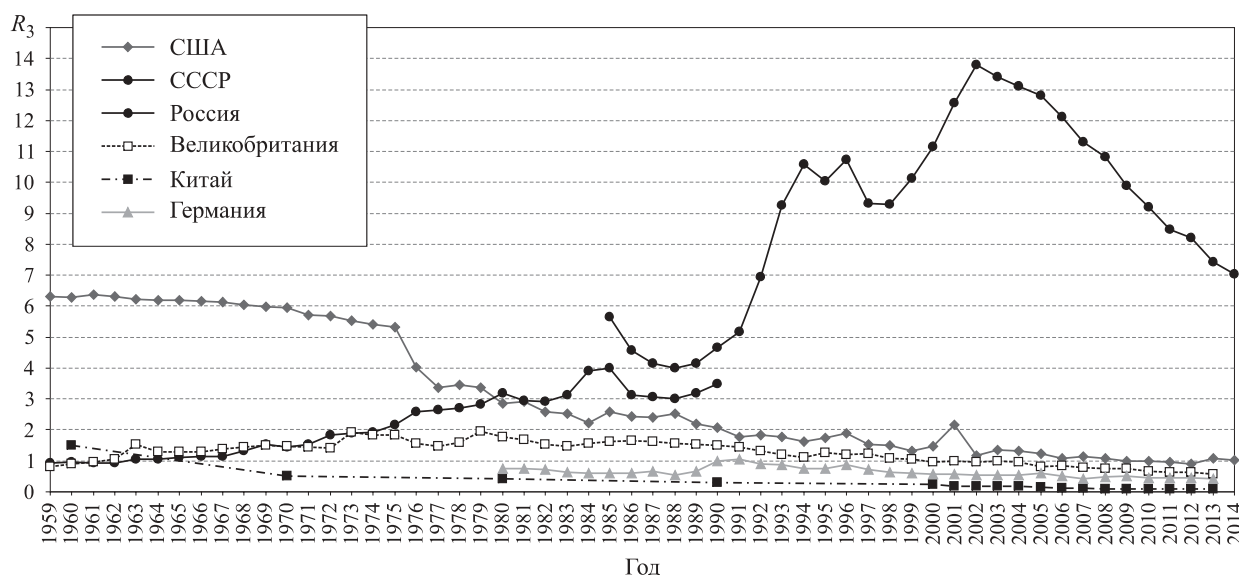


Рис. 8. Динамика изменения величины пожарного риска  $R_3$  в период 1959–2014 гг.

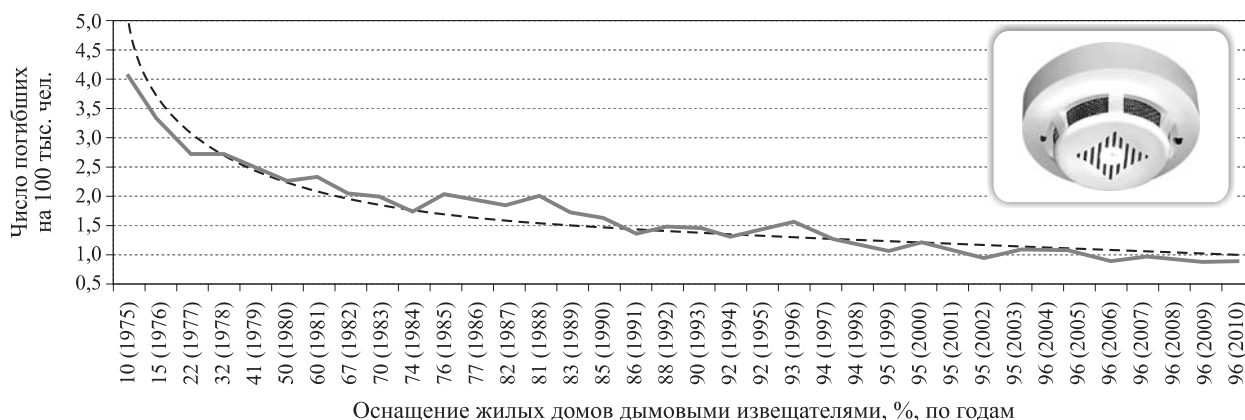


Рис. 9. Динамика оснащения жилого сектора США дымовыми извещателями и изменения величины пожарного риска  $R_3$  в период 1975–2010 гг.

Эстафету подхватила Российская Федерация. До 1990 г. она повторяла динамику изменения риска  $R_3$  в СССР, но на более высоких значениях (примерно в 1,5 раза). Начиная с 1991 г. значения  $R_3$  стали расти “катастрофически”, достигнув к 2002 г. максимального значения — 14. В 2002 г. пожарная охрана России перешла в ведение МЧС, после этого число пожаров и их жертв начало монотонно снижаться (при этом росло количество загораний [15]).

Значения риска  $R_3$  уменьшились до 7 (т. е. на каждые 100 тыс. чел. в последние годы приходится 7 жертв пожаров в год).

Как видно из рис. 8, значения пожарных рисков  $R_3$  для остальных стран находятся в интервале от 0 до 1 и за последние 20 лет монотонно снижаются.

Такова обстановка с пожарами (и их последствиями) в современном мире, проанализированная с помощью основных пожарных рисков.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Брушлинский Н. Н., Соколов С. В. Современные проблемы обеспечения пожарной безопасности в России. — М. : Академия ГПС МЧС России, 2014. — 177 с.
2. Брушлинский Н. Н., Соколов С. В., Клепко Е. А., Белов В. А., Иванова О. В., Попков С. Ю. Основы теории пожарных рисков и ее приложения. — М. : Академия ГПС МЧС России, 2012. — 192 с.
3. Brushlinsky N. N., Ahrens M., Sokolov S. V., Wagner P. World Fire Statistics / Center of Fire Statistics of CTIF. — 2016. — Reports No. 21. — 60 p. URL: [http://ctif.org/sites/default/files/ctif\\_report21\\_world\\_fire\\_statistics\\_2016.pdf](http://ctif.org/sites/default/files/ctif_report21_world_fire_statistics_2016.pdf) (дата обращения: 05.12.2016).
4. Пожары и пожарная безопасность в 2014 г. : статистический сборник / Под общ. ред. А. В. Матюшина. — М. : ВНИИПО, 2015. — 124 с.

5. Пожары и пожарная безопасность в 2015 г. : статистический сборник / Под общ. ред. А. В. Матюшина. — М. : ВНИИПО, 2016. — 124 с.
6. America Burning, The Report of the National Commission on Fire Prevention and Control. — Washington : US Government Printing Office, 1975. — 177 p.
7. America Burning Revisited. National Workshop — Tyson's Corner, Virginia. — Washington : FEMA, 1987. — 141 p.
8. *Hylton J. G. Haynes*. Fire loss in the United States during 2015. — Quincy, MA : National Fire Protection Association, 2016. — 50 p.
9. *Микеев А. К.* Пожар. Социальные, экономические, экологические проблемы. — М. : Пожнаука, 1994. — 386 с.
10. *Yang Lizhong, Yang Yong, Cui Wei et al.* The relationships between socioeconomic factors and fire in China // Proceedings of the 6<sup>th</sup> Asia-Oceania Symposium on Fire Science and Technology, 2004, Daejeon, Korea. — P. 831–836.
11. *Соколов С. В., Костюченко Д. В.* Управление рисками гибели людей при пожарах в жилых домах городских поселений // Пожаровзрывобезопасность. — 2017. — Т. 26, № 1. — С. 61–74. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.01.61-74.
12. *Ahrens M.* U. S. experience with smoke alarms and other fire alarms. — Quincy, MA : NFPA, 2003.
13. *Ahrens M.* Smoke alarms in U. S. home fires. — Quincy, MA : NFPA, 2011. — 81 p.
14. *Ahrens M.* Smoke alarms in U. S. home fires. — Quincy, MA : NFPA, 2015. — 74 p.
15. *Брушлинский Н. Н., Соколов С. В., Григорьева М. П.* О некоторых закономерностях и особенностях российской пожарной статистики // Пожаровзрывобезопасность. — 2016. — Т. 25, № 6. — С. 33–38. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.06.33-38.

*Материал поступил в редакцию 21 декабря 2016 г.*

**Для цитирования:** *Брушлинский Н. Н., Соколов С. В., Григорьева М. П.* Анализ основных пожарных рисков в странах мира и в России // Пожаровзрывобезопасность. — 2017. — Т. 26, № 2. — С. 72–80. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.02.72-80.

English

## MAJOR FIRE RISKS ANALYSIS IN THE COUNTRIES OF THE WORLD AND IN RUSSIA

**BRUSHLINSKIY N. N.**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of Management and Economic Department, State Fire Academy of Emercom of Russian (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail: nbrus1934@yandex.ru)

**SOKOLOV S. V.**, Doctor of Technical Sciences, Professor of Management and Economic Department, State Fire Academy of Emercom of Russian (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail: albrus-ssv1@yandex.ru)

**GRIGORYEVA M. P.**, Engineer, Researcher of the Science Educational Department, State Fire Academy of Emercom of Russian (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail: margarita\_theone@mail.ru)

### ABSTRACT

The article presents the main results of the study of fire risks in different countries and territorial units of Russia in 2014, as well as their trends in a some countries. The study is accompanied by a large number of graphic material, helps the perception of statistical data analysis.

The major fire risk are considered: the number of fires per 1000 inh. per year, the number of fire deaths per 100 fires and number of fire deaths per 100 thous. inh. per year. All presented demonstrated the risks of fire danger levels in a given administrative territorial unit (city, region, country), and allow to compare the levels in different areas and explore their temporal trends.

At the international level, the analysis of fire risks presented for 35 countries of the world in 2014. The greatest values of fire risk have Latvia, the Netherlands, Estonia and Austria, the lowest values —

Vietnam, Japan, Liechtenstein and Kyrgyzstan. The highest values of the fire death risk are observed in Belarus, Russia, Moldova and Ukraine, the lowest values — in Western Europe and Asia.

On the inside of the Russian level shows the distribution of the fire risks by the regional centers and by the subjects of the Russian Federation. The greatest values of fire risk have the Far East District, the lowest values — the North Caucasus region and Moscow. The situation is similar to the fire death risk.

The study shows the trends of the fire death risk in 6 countries (the Soviet Union, Russia, the US, China, Britain and Germany) for 55 years in the period from 1959 to 2014. It is shown how various changes in society (political, socio-economic, fire safety issues) affected to the change of fire risks in the countries represented.

On the basis of the analyzed distributions of fire risks demonstrated significant differences in the parameters of the fire situation between different countries and in the territorial units of the Russian Federation.

**Keywords:** fire; fire death; fire statistics; fire risks; major fire risks; fire situation.

## REFERENCES

1. Brushlinskiy N. N., Sokolov S. V. *Modern problems of ensuring fire safety in Russia*. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2014. 177 p. (in Russian).
2. Brushlinskiy N. N., Sokolov S. V., Klepko E. A., Belov V. A., Ivanova O. V., Popkov S. Yu. *Basic theory of fire risks and its applications*. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2012. 192 p. (in Russian).
3. Brushlinsky N. N., Ahrens M., Sokolov S. V., Wagner P. *World Fire Statistics. Center of Fire Statistics of CTIF*, 2016, Reports No. 21. 60 p. Available at: [http://ctif.org/sites/default/files/ctif\\_report21\\_world\\_fire\\_statistics\\_2016.pdf](http://ctif.org/sites/default/files/ctif_report21_world_fire_statistics_2016.pdf) (Accessed 5 December 2016).
4. Matyushin A. V. (ed.). *Fires and fire safety in 2014. Statistical yearbook*. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection Publ., 2015. 124 p. (in Russian).
5. *Fires and fire safety in 2015. Statistical yearbook*. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection Publ., 2016. 124 p. (in Russian).
6. *America Burning. The Report of the National Commission on Fire Prevention and Control*. Washington, US Government Printing Office, 1975. 177 p.
7. *America Burning Revisited. National Workshop — Tyson's Corner, Virginia*. Washington, FEMA, 1987. 141 p.
8. Hylton J. G. Haynes. *Fire loss in the United States during 2015*. Quincy, MA, National Fire Protection Association, 2016. 50 p.
9. Mikeev A. K. *Fire. Social, economic, environmental problems*. Moscow, Pozhnauka Publ., 1994. 386 p. (in Russian).
10. Yang Lizhong, Yang Yong, Cui Wei, et al. The relation hips between socioeconomic factors and fire in China. In: *Proceedings of the 6<sup>th</sup> Asia-Oceania Symposium on Fire Science and Technology*, 2004, Dacgu, Korea, pp. 831–836.
11. Sokolov S. V., Kostyuchenko D. V. Risk management of fire deaths in homes of urban settlements. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2017, vol. 26, no. 1, pp. 61–74 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2017.26.01.61-74.
12. Ahrens M. *U. S. experience with smoke alarms and other fire alarms*. Quincy, MA, NFPA, 2003.
13. Ahrens M. *Smoke alarms in U. S. home fires*. Quincy, MA, NFPA, 2011. 81 p.
14. Ahrens M. *Smoke alarms in U. S. home fires*. Quincy, MA, NFPA, 2015. 74 p.
15. Brushlinskiy N. N., Sokolov S. V., Grigoryeva M. P. Some regularities and peculiarities of the Russian fire statistics. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2016, vol. 25, no. 6, pp. 33–38 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2016.25.06.33-38.

**For citation:** Brushlinskiy N. N., Sokolov S. V., Grigoryeva M. P. Major fire risks analysis in the countries of the world and in Russia. *Pozharovzryvobezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2017, vol. 26, no. 2, pp. 72–80. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.02.72-80.

**ВОПРОС:**

Электротехническая продукция, поставляемая на российский и международный рынок, должна иметь сертификат качества. Каким образом осуществляется сертификация электрооборудования с целью его дальнейшей реализации?

**ОТВЕТ:**

Под сертификатом качества следует понимать документ, выданный государственным органом по сертификации продукции, который подтверждает соответствие продукции требованиям технических регламентов (ТР), документов по стандартизации (государственных и/или международных стандартов) или условиям договоров. С вступлением в силу технических регламентов Таможенного союза (ТР ТС) на отдельные группы оборудования выдача сертификатов соответствия ГОСТ Р для них прекращена. Центральным органом по сертификации в России является Госстандарт (Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии). В различных документах сертификат качества продукции называют сертификатом безопасности или сертификатом соответствия.

После подтверждения соответствия оборудования требованиям нормативных документов на основании проведенных испытаний орган сертификации выдает сертификат соответствия. Это необходимо для информирования других органов по сертификации о том, что один или более образцов некоторых электротехнических изделий испытаны на соответствие требованиям технических регламентов и стандартов, включенных в Международную систему сертификации электротехнических изделий (МЭКСЭ), и соответствуют этим нормам [1].

Список электрооборудования, подлежащего обязательной сертификации, отражен в едином перечне, утвержденном постановлением Правительства РФ № 982 от 01.12.2009 г. [2].

Для электрооборудования, не входящего в указанный выше перечень, производитель вправе выполнить добровольную сертификацию для подтверждения качества его продукции и более успешной реализации ее на рынке.

Для отдельных видов электротехнической продукции нормативными документами [2] вместо сертификации предусматривается декларирование о соответствии (декларация соответствия), которое выполняет производитель или продавец продукции. При этом за полноту и достоверность указанной в декларации информации несет ответственность не орган сертификации, а сам производитель.

Помимо Госстандарта, в перечень органов по сертификации входит МЧС России, которое является центральным ведомством, осуществляющим аккреди-

тацию органов по сертификации пожарной безопасности. В список следует добавить такой орган по сертификации, как Ростехнадзор, выдающий сертификаты, разрешающие применение различного оборудования и техники (в том числе электрической продукции) на опасных производствах.

Обязательной составной частью сертификата соответствия отдельных видов электрооборудования является сертификат пожарной безопасности, схемы подтверждения и порядок получения которого указаны в “Техническом регламенте о требованиях пожарной безопасности” (Федеральный закон № 123-ФЗ) (далее — ФЗ-123) [3]. Обязательный сертификат пожарной безопасности можно оформлять как на отдельные партии продукции, так и на ее серийное производство. Альтернативой обязательной сертификации является декларирование соответствия электротехнической продукции требованиям ФЗ-123 [3] и других технических регламентов. Результатом подтверждения соответствия в обеих формах является маркировка товаров знаком обращения на рынке<sup>1</sup> (см. рисунок).

Перечень продукции, подлежащей обязательному подтверждению соответствия в области пожарной безопасности, приведен в постановлении Правительства № 241 от 17.03.2009 г. [4]. Согласно данному документу сертификации подлежат аппараты защиты электрических цепей (устройства защитного отключения и автоматические выключатели), а также электрические кабели (не распространяющие горение, огнестойкие).

Порядок проведения сертификации в области пожарной безопасности согласно ФЗ-123 [3] включает:

- подачу заявки в орган по сертификации с прилагаемыми к ней документами;
- идентификацию и отбор образцов продукции;
- проведение испытаний, определяющих выделение токсичных веществ во время горения, группу горючести, воспламеняемости и т. д.;
- оценку производства, если это предусмотрено схемой сертификации;
- оформление соответствующих протоколов испытаний образцов продукции;
- выдачу сертификата;
- инспекционный контроль за сертифицированной продукцией (в зависимости от схемы сертификации).

В заключение следует отметить, что сертификация соответствия электрооборудования требованиям ТР необходима для возможности выхода продукции на

<sup>1</sup> До вступления в силу ФЗ-123 [3] маркировка сертифицированного оборудования выполнялась знаком соответствия системы сертификации в области пожарной безопасности (знак ССПБ).



00000

Знак соответствия системы сертификации в области пожарной безопасности (действовал до вступления № 123-ФЗ в силу)



Знак соответствия техническому регламенту на конкретную продукцию



00 00

Знак соответствия обязательной сертификации (0000 — номер органа по сертификации) или знак соответствия декларирования (без номера органа по сертификации)



Знак соответствия добровольной сертификации (без номера органа по сертификации)

Маркировка продукции национальным знаком соответствия (знаком обращения на рынке) государства — члена Таможенного союза, на территории которого выдан сертификат соответствия или зарегистрирована декларация о соответствии продукции по единым формам

международный рынок. На сегодняшний день для стран ВТО введена единая товарная номенклатура внешнеэкономической деятельности (ТН ВЭД)<sup>2</sup>, являющаяся классификатором товаров для использования таможенным органом. Коды ТН ВЭД, состоящие из 10 знаков, используются для идентификации това-

<sup>2</sup> Международные коды ТН ВЭД для отдельной продукции могут незначительно отличаться от кодов ТН ВЭД Таможенного союза (как правило, первые 4 цифры кодировки совпадают).

ра во время таможенной обработки при международных перевозках грузов. От правильности классификации зависит ставка пошлины и набор разрешений и сертификатов, необходимых для импорта товара. Это связано с тем, что сертификат соответствия или декларация соответствия “привязаны” к конкретным кодам ТН ВЭД согласно ТР на конкретную продукцию. Таким образом, наличие сертификата соответствия обеспечит доступ сертифицированного товара на международный рынок.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. О Правилах проведения сертификации электрооборудования и электрической энергии (в ред. от 21.08.2002) : постановление Госстандарта России от 16.07.1999 № 36; введ. 01.10.1999 // Российская газета. — 1999. — № 213.
2. Об утверждении единого перечня продукции, подлежащей обязательной сертификации, и единого перечня продукции, подтверждение соответствия которой осуществляется в форме принятия декларации о соответствии (в ред. от 26.09.2016) : постановление Правительства РФ от 01.12.2009 № 982 // Собр. законодательства РФ. — 2009. — № 50, ст. 6096.
3. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности (в ред. от 03.07.2016) : Федер. закон РФ от 22.07.2008 № 123-ФЗ // Собр. законодательства РФ. — 2008. — № 30 (ч. I), ст. 3579.
4. Об утверждении списка продукции, которая для помещения под таможенные режимы, предусматривающие возможность отчуждения или использования этой продукции в соответствии с ее назначением на территории Российской Федерации, подлежит обязательному подтверждению соответствия требованиям Федерального закона “Технический регламент о требованиях пожарной безопасности” (в ред. от 09.08.2016) : постановление Правительства РФ от 17.03.2009 № 241 // Собр. законодательства РФ. — 2009. — № 12, ст. 1442.

*Ответ подготовили сотрудники кафедры специальной электротехники, автоматизированных систем и связи Академии ГПС МЧС России: канд. техн. наук, профессор, академик НАНПБ В. Н. ЧЕРКАСОВ; старший преподаватель А. С. ХАРЛАМЕНКОВ (e-mail: h\_a\_s@live.ru)*

# ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ!

Направляемые в журнал “ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТЬ” статьи должны содержать результаты научных исследований и испытаний, описания новых технических устройств и программно-информационных продуктов, обзоры, комментарии к нормативно-техническим документам, справочные материалы и т. п. Методы расчета и экспериментальные данные, полученные автором, должны быть оформлены в соответствии с рекомендациями КОДАТА. Остальные численные данные, за исключением общеизвестных величин, следует снабжать ссылками на первоисточник. Научные статьи должны иметь практическую направленность.

Не допускается направление в редакцию работ, которые были опубликованы и/или приняты к печати в других изданиях.

*Редакция просит авторов при подготовке рукописи руководствоваться изложенными ниже правилами.*

**1.** Статья и сопутствующие ей материалы должны быть направлены в редакцию в электронном виде по электронному адресу (info@fire-smi.ru), а также в бумажном виде по почте (121352, Российская Федерация, г. Москва, а/я 43).

Статья должна быть ясно изложена, тщательно отредактирована и подписана всеми авторами. Основной текст статьи должен быть лаконичным и структурированным. Следует делить текст на традиционные для научной статьи разделы:

- введение (актуальность, состояние вопроса);
- цели и задачи;
- материалы и методы (методология);
- результаты и их обсуждение;
- заключение (выводы).

Редакция допускает и иную структуру, обусловленную спецификой конкретной статьи (например, аналитической, обзорной), при условии четкого выделения разделов.

**2.** Материал статьи должен излагаться в следующем порядке.

**2.1.** Номер УДК (универсальная десятичная классификация).

**2.2.** Заглавие статьи (на русском и английском языках). Заглавия научных статей должны быть точными и лаконичными и в то же время достаточно информативными; в них можно использовать только общепринятые сокращения. В переводе заглавий статей на английский язык недопустимы транслитерации с русского языка, кроме неперебиваемых названий собственных имен, приборов и других объектов, имеющих собственные названия, а также неперебиваемый сленг, известный только русскоговорящим специалистам. Это также касается аннотаций, авторских резюме и ключевых слов.

**2.3.** Информация об авторах.

**2.3.1.** Имена, отчества и фамилии всех авторов. Они должны приводиться полностью на русском языке и в транслитерации в соответствии с системой Госдепартамента США, которая в настоящее время является наиболее распространенной (<http://fotosav.ru/services/transliteration.aspx>).

Авторами являются лица, принимавшие участие во всей работе или в ее главных разделах. Лица, участвовавшие в работе частично, указываются в сносках.

**2.3.2.** Ученые степени, звания, должность, место работы всех авторов с полным юридическим адресом (на русском и английском языках). Здесь необходимо указать: полное официальное название организации, индекс, страну, город, название улицы, номер дома, а также контактные телефоны и электронный адрес всех или хотя бы одного из авторов. При этом не следует приводить составные части названий организаций, обозначающие принадлежность ведомству, форму собственности, статус организации (например, “Учреждение Российской академии наук...”, “Федеральное государственное унитарное предприятие...”, “ФГОУ ВПО...” и т. п.), что затрудняет идентификацию организации. Обращаем Ваше внимание, что при переводе необходимо указывать официально принятое название организации на английском языке. Все почтовые сведения (кроме наименования улицы, кото-

рое должно быть в транслитерированном виде) должны быть также переведены на английский язык, в том числе название города и страны.

Пример: *Institute for Problem in Mechanics, Russian Academy of Sciences (Vernadskogo Avenue, 101, Moscow, 119526, Russian Federation).*

**2.4.** Аннотация на русском языке должна состоять не менее чем из 5–7 предложений и не должна содержать обобщенные данные по выбранной в статье теме. Аннотация к научной статье представляет собой короткое описание содержания изложенного текста (т. е.: “Изучены..., проанализированы..., представлены...” и т. п.).

**2.5.** Расширенное резюме на русском и английском языках. Необходимо иметь в виду, что авторские резюме на английском языке в русскоязычном издании являются для иностранных ученых и специалистов основным и, как правило, единственным источником информации о содержании статьи и об изложенных в ней результатах исследований. Поэтому авторское резюме должно быть:

- информативным (не содержать общих слов);
- оригинальным (не быть калькой с русскоязычной аннотации с дословным переводом);
- содержательным (отражать существенные результаты работы; не должно включать материал, который отсутствует в основной части публикации);
- структурированным (т. е. следовать логике описания результатов в публикации);
- грамотным (написанным качественным английским языком, без использования программ автоматизированного перевода);
- объем текста авторского резюме должен быть не менее 250–300 слов.

Требуете структура резюме, повторяющая структуру статьи и включающая введение, цели и задачи, методы, результаты, заключение (выводы). Однако предмет, тема, цель работы указываются в том случае, если они неясны из заглавия статьи. Метод или методологию проведения работы целесообразно описывать в том случае, если они отличаются новизной или представляют интерес с точки зрения данной работы.

Результаты работы следует описывать предельно точно и информативно. При этом приводятся основные теоретические и экспериментальные результаты, фактические данные, установленные взаимосвязи и закономерности.

Выводы могут сопровождаться рекомендациями, оценками, предложениями, гипотезами, описанными в работе.

Сведения, содержащиеся в заглавии статьи, не должны повторяться в тексте авторского резюме.

Текст должен быть связным; излагаемые положения должны логично вытекать один из другого.

Сокращения и условные обозначения, кроме общепотребительных, следует применять в исключительных случаях или да-

вать их расшифровку и определение при первом употреблении в авторском резюме.

В авторское резюме не рекомендуется включать схемы, таблицы, иллюстрации, формулы, а также ссылки на публикации, приведенные в списке литературы к статье.

**2.6.** Ключевые слова на русском и английском языках (не менее 5 слов или словосочетаний). Указываются через точку с запятой. Недопустимо в качестве ключевых слов использовать термины общего характера (например, проблема, решение и т. п.), не являющиеся специфической характеристикой публикации. При переводе ключевых слов на английский язык избегайте по возможности употребления слов “and” (и), “of” (предлог, указывающий на принадлежность) и т. п.

**2.7.** Основной текст статьи должен быть набран через 1,5 интервала и предоставляться в формате Word. Формулы должны быть набраны в Microsoft Equation или MathType.

Цитируемый текст из других публикаций следует брать в кавычки. Если представленные в статье исследования выполнены авторами при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, Российского научного фонда, Министерства образования и науки Российской Федерации и др., то в конце статьи обязательно следует дать информацию об этом с указанием номера и названия гранта (научного проекта, госконтракта и т.п.).

Сокращения и условные обозначения физических величин в тексте статьи должны соответствовать действующим международным стандартам. Формулы и буквенные обозначения должны быть четкими и ясными. Все буквенные обозначения, входящие в формулы, должны быть расшифрованы с указанием единиц измерения. Размерность всех характеристик должна соответствовать системе СИ.

Иллюстрации в электронной версии прилагаются отдельно. Фотографии должны быть сделаны с хорошего негатива контрастной печатью (файлы растровых изображений представляются с разрешением не менее 300 dpi, черно-белая штриховая графика — 600 dpi). Файлы векторной графики следует предоставлять в формате той программы, в которой они созданы, либо напечатать PDF-файл из этой программы. Все иллюстрации должны иметь сквозную нумерацию. Чертежи и карты в качестве иллюстраций не приемлемы. Ссылки на все рисунки в тексте обязательны.

Таблицы должны быть составлены лаконично и содержать только необходимые сведения; однотипные таблицы следует строить одинаково. Цифровые данные необходимо округлять в соответствии с точностью эксперимента. Сведения в таблицах и на рисунках не должны повторяться. Ссылки на все таблицы в тексте обязательны.

**2.8.** Пристайные списки литературы на русском языке и языке оригинала (если книга переводная).

Список литературы должен включать библиографические сведения обо всех публикациях, упоминаемых в статье, и не должен содержать указаний на работы, на которые в тексте нет ссылок. Литература должна быть оформлена в виде общего списка в порядке упоминания. В тексте ссылка на литературу отмечается порядковой цифрой в квадратных скобках, например [1]. Библиографические данные приводятся по титульному листу издания. Порядок изложения элементов библиографического описания определяется требованиями ГОСТ 7.1–2003 и ГОСТ Р 7.0.5–2008.

В описании источников необходимо указывать всех авторов.

Список литературы должен содержать не менее 10 источников (не включая в это число нормативные документы, патенты и т. п.), в том числе не менее 3 иностранных. Выполнение данного тре-

бования будет свидетельствовать о том, что авторы используют предыдущие научные достижения в необходимой мере.

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

Состав источников должен быть актуальным и содержать не менее половины современных (не старше 10 лет) статей из научных журналов или других публикаций.

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

Не следует включать в список литературы ГОСТы, ссылки на них должны быть даны непосредственно по тексту статьи.

Убедитесь, что указанная в списке литературы информация (Ф. И. О. автора, название книги или журнала, год издания, том, номер и количество (интервал) страниц) верна.

Неопубликованные результаты, проекты документов, личные сообщения и т. п. не следует указывать в списке литературы, но они могут быть упомянуты в тексте.

**2.9.** References (пристайные списки литературы на английском языке). Представление в References только транслитерированного (без перевода) описания недопустимо. Обращаем Ваше внимание, что перевод названия статей следует давать так, как он проходил при их публикации, а перевод названий журналов должен быть официально принятым. Произвольное сокращение названий источников цитирования приведет к невозможности идентифицировать ссылку в электронных базах данных.

При составлении References необходимо следовать схеме:

- авторы (транслитерация; для ее написания используйте сайт <http://fotosav.ru/services/transliteration.aspx>, обязательно включив в настройках справа сверху флажок “Американская (для визы США)”);
- перевод названия книги (статьи) на английский язык;
- перевод названия источника (журнала, сборника статей, материалов конференции и т. п.); при этом для журналов следует привести комбинацию транслитерации названия и его перевода (в скобках);
- выходные данные;
- указание на язык материала в скобках.

Например: Sokolov D. N., Vogman L. P., Zuykov V. A. *Microbiological spontaneous ignition. Pozharnaya bezopasnost (Fire Safety)*, 2012, no. 1, pp. 35–48 (in Russian).

Примеры описаний в References можно найти на сайте издательства ([www.fire-smi.ru](http://www.fire-smi.ru)).

**3.** К статьям следует прилагать рецензию стороннего специалиста (т. е. он не должен быть связан с местом работы (учебы) авторов статьи), которая должна быть подписана рецензентом (с указанием его Ф. И. О., ученого звания, ученой степени, должности, места работы), заверена отделом кадров (ученым секретарем) и печатью. Все рецензенты должны являться признанными специалистами по тематике рецензируемых материалов и иметь в течение последних 3 лет публикации по тематике рецензируемой статьи. Обращаем Ваше внимание, что рецензент не должен входить в Редакционный совет нашего журнала.

**4.** Непринятые к публикации статьи автору не возвращаются. Просьба редакции о переработке материала не означает, что он принят к печати.

**5.** Статьи, присланные в редакцию не в полном объеме, к рассмотрению не принимаются.

ISSN 0869-7493

Открыта  
подписка  
на журнал

# ПОЖАРОВЗРЫВО- БЕЗОПАСНОСТЬ



По вопросам подписки  
просьба обращаться  
по тел.: (495) 228-09-03,  
8-909-940-01-85 или  
по e-mail [info@fire-smi.ru](mailto:info@fire-smi.ru)

- Стоимость подписки на 1-е полугодие 2017 г. (6 номеров) – 6840 руб.
- Стоимость годовой подписки (12 номеров) – 13680 руб.

## ПОДПИСКА ОСУЩЕСТВЛЯЕТСЯ:

- через ООО “Издательство “Пожнаука”;
- через агентство “РОСПЕЧАТЬ”, индекс 81913 (полугодовой), 70753 (годовой);
- через агентство “АПР”, индекс 83647 (полугодовой), 90121 (годовой) (в любом почтовом отделении в каталоге “Газеты и журналы”);
- через подписные агентства: ООО “Урал-Пресс”, ООО “Информнаука”.

SOLIDS EUROPEAN SERIES

# SOLIDS

**RUSSIA**

6 – 7 июня 2017

ЦВК „Экспоцентр“, Москва

**Станьте участником!**

3-я конференция и  
выставка по технологиям  
и транспортировке  
сыпучих материалов

[www.solids-russia.ru](http://www.solids-russia.ru)

Organised by  
**EASYFAIRS**  
Visit the future