

11-2018

ПОЖ Издательство
НАУКА

ПОЖАРОВЗРЫВО-

БЕЗОПАСНОСТЬ



НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ISSN 0869-7493 (Print)
ISSN 2587-6201 (Online)

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ
ОБОСНОВАНИЕ СОЗДАНИЯ
ПОЗИЦИЙ ПО ТУШЕНИЮ
С ПРИМЕНЕНИЕМ
СПЕЦИАЛЬНЫХ ПОЖАРНЫХ
АВТОМОБИЛЕЙ



КОМПЛЕКСНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

пожарная • промышленная • производственная • экологическая

ВЫСТАВКА технических средств охраны
и оборудования для обеспечения
безопасности и противопожарной защиты



**27 февраля
— 2 марта
2019**

Краснодар
ВКК «Экспоград Юг»

**ПОЛУЧИТЕ
БЕСПЛАТНЫЙ
БИЛЕТ**

на сайте
securexpo.ru

ВАШ ПРОМОКОД
sce19tdf563



РЕКЛАМА

12+

Организатор



Международная
Выставочная
Компания

+7 (861) 200-12-50, 200-12-34
securexpo@krasnodarexpo.ru

ОДНОВРЕМЕННО С ВЫСТАВКОЙ



YugBuild

УЧРЕДИТЕЛЬ — ООО "Издательство "ПОЖНАУКА"

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

СМИ зарегистрировано Федеральной
службой по надзору в сфере связи,
информационных технологий и массо-
вых коммуникаций — свидетельство ПИ
№ ФС 77-43615 от 18 января 2011 г.

РЕДАКЦИЯ:

Зав. редакцией **Корольченко О. Н.**
Шеф-редактор **Соколова Н. Н.**
Редактор **Крылова Л. В.**

Адрес редакции:

121596, Россия, г. Москва,
ул. Горбунова, д. 2, стр. 3, пом. II, комн. 12

Адрес для переписки:

121352, Россия, г. Москва, а/я 6.

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

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

Журнал включен в перечень ведущих рецензи-
руемых научных журналов и изданий, реко-
мендованных ВАК России для публикации
трудов соискателей ученых степеней, в Рефе-
ративный 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, в справочно-библиографическую
службу EBSCO. 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 "Пожаро-
взрывобезопасность / Fire and Explosion Safety"
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 мне-
нием авторов опубликованных материалов.

Подписано в печать 15.11.2018.

Выход в свет 26.11.2018.

Формат 60х84 1/8. Тираж 2000 экз.

Бумага мелованная матовая.

Печать офсетная.

Отпечатано в типографии ООО "Гран При"
(Россия, 152900, г. Рыбинск,
ул. Орджоникидзе, д. 57).

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР:

Корольченко А. Я., д. т. н., профессор, академик МАНЭБ (Национальный иссле-
довательский Московский государственный строительный университет, Москва,
Россия)

ЗАМ. ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА:

Мольков В. В., д. т. н., профессор (Ольстерский университет, Ольстер, Велико-
британия)

Стрижак П. А., д. ф.-м. н. (Национальный исследовательский Томский политех-
нический университет, Томск, Россия)

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Бакиров И. К., к. т. н. (Уфимский государственный нефтяной технический уни-
верситет, Уфа, Россия, Республика Башкортостан)

Барбин Н. М., д. т. н., профессор (Уральский государственный аграрный универ-
ситет, Екатеринбург, Россия)

Брушлинский Н. Н., д. т. н., профессор, академик РАЕН, заслуженный деятель
науки РФ (Академия Государственной противопожарной службы МЧС России,
Москва, Россия)

Бурханов А. И., д. ф.-м. н. (Волгоградский государственный технический уни-
верситет, Волгоград, Россия)

Вагнер П., д. т. н. (Академия пожарной службы Берлина, Берлин, Германия)

Корольченко Д. А., к. т. н., академик МАНЭБ (Национальный исследовательский
Московский государственный строительный университет, Москва, Россия)

Кузнецов С. В., д. ф.-м. н., профессор (Институт проблем механики им. А. Ю. Иш-
линского Российской академии наук, Москва, Россия)

Ложкин В. Н., д. т. н., профессор (Санкт-Петербургский университет Государ-
ственной противопожарной службы МЧС России, Санкт-Петербург, Россия)

Малыгин И. Г., д. т. н., профессор (Институт проблем транспорта им. Н.С. Соло-
менко Российской академии наук, Санкт-Петербург, Россия)

Поландов Ю. Х., д. т. н., профессор (Орловский государственный университет
им. И.С. Тургенева, Орел, Россия)

Пузач С. В., д. т. н., профессор, член-корреспондент НАНПБ, заслуженный деятель
науки РФ (Академия Государственной противопожарной службы МЧС России,
Москва, Россия)

Раимбеков К. Ж., к. ф.-м. н. (Кокшетауский технический институт Комитета по
чрезвычайным ситуациям МВД Республики Казахстан, Кокшетау, Казахстан)

Рестас А. (Институт управления при ЧС Национального университета Государ-
ственной службы, Будапешт, Венгрия)

Роу Р. Л., профессор (Школа права Университета Джорджауна, Вашингтон, США)

Серков Б. Б., д. т. н., профессор, действительный член НАНПБ (Академия Госу-
дарственной противопожарной службы МЧС России, Москва, Россия)

Тамразян А. Г., д. т. н., профессор, действительный член ВАНКБ (Национальный
исследовательский Московский государственный строительный университет,
Москва, Россия)

Топольский Н. Г., д. т. н., профессор, академик РАЕН и НАНПБ, заслуженный
деятель науки РФ (Академия Государственной противопожарной службы МЧС
России, Москва, Россия)

Холщевников В. В., д. т. н., профессор, академик и почетный член РАЕН, академик
ВАНКБ, заслуженный работник высшей школы Российской Федерации
(Национальный исследовательский Московский государственный строительный
университет, Москва, Россия)

Христов Б., д. т. н., профессор (Берлинский институт техники и экономики, Берлин,
Германия)

Челани А. (Миланский технический университет, Милан, Италия)

Чирик Р. М., д. т. н., профессор (Высшая техническая школа, Нови Сад, Сербия)

Шебеко Ю. Н., д. т. н., профессор, действительный член НАНПБ (ВНИИПО МЧС
России, Балашиха, Россия)

Шилдс Т. Дж., профессор (Ольстерский университет, Ольстер, Великобритания)

Шоус Р. (Университет штата Пенсильвания, Юниверсити-Парк, Пенсильвания,
США)

Якуш С. Е., д. ф.-м. н. (Институт проблем механики им. А. Ю. Ишлинского Рос-
сийской академии наук, Москва, Россия)

СОДЕРЖАНИЕ

ПРОЦЕССЫ ГОРЕНИЯ, ДЕТОНАЦИИ И ВЗРЫВА

CONTENTS

COMBUSTION, DETONATION AND EXPLOSION PROCESSES

С. В. ПУЗАЧ, ТУАН АНЬ ЛЕ Обоснование выбора параметров горения древесной массы деревьев для расчета воздействия верховых лесных пожаров на объекты энергетики Вьетнама МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ	5	S. V. PUZACH, TUAN ANH LE Justification of the choice of wood pulp combustion parameters for calculation of running crowning forest fires impact on power engineering facilities in Vietnam MATHEMATICAL MODELING, NUMERICAL METHODS AND PROGRAM COMPLEXES
Н. Г. ТОПОЛЬСКИЙ, И. В. САМАРИН, А. Ю. СТРОГОНОВ Модель оценки обеспечения комплексной безопасности в АСУТП с применением диагностики пожарных извещателей для построения автоматизированной системы поддержки управления пожаровзрывобезопасностью А. Б. КУСАИНОВ Алгоритм оргпроектирования гарнизона противопожарной службы города ЭЛЕКТРОТЕХНИКА	15 23	N. G. TOPOLSKIY, I. V. SAMARIN, A. Yu. STROGONOV Model of evaluation of comprehensive safety in the APCS with the use of diagnostic fire detectors for the construction of automated systems of support of management of fire and explosion safety A. B. KUSSAINOV Algorithm for the organization of the garnizon of the fire fighting service of the city ELECTRICAL ENGINEERING
А. И. НЕДОБИТКОВ Признаки электродугового процесса при экспертном исследовании после пожара медной контактной пластины автомобильного блока предохранителей БЕЗОПАСНОСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ОБОРУДОВАНИЯ	30	A. I. NEDOBITKOV Signs of arc process during conduct of an expert study after fire of a copper contact plate of a car fuse block SAFETY OF TECHNOLOGICAL PROCESSES AND EQUIPMENT
А. И. БЫКОВ, А. В. НОВАК Методика построения моделей зон термического поражения при пожаре на магистральном газопроводе БЕЗОПАСНОСТЬ ЗДАНИЙ, СООРУЖЕНИЙ, ОБЪЕКТОВ	41	A. I. BYKOV, A. V. NOVAK Technique of building models of the heat affected zones in the fire on the main gas pipeline SAFETY OF BUILDINGS, STRUCTURES, OBJECTS
Ю. Н. ШЕБЕКО, А. Ю. ШЕБЕКО, А. Н. ГИЛЕТИЧ Методы определения требуемых пределов огнестойкости строительных конструкций производственных объектов АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ И СРЕДСТВА	51	Yu. N. SHEBEKO, A. Yu. SHEBEKO, A. N. GILETICH Method of a determination of required fire resistance limits for building structures of industrial objects AUTOMATED SYSTEMS AND MEANS
О. И. СТЕПАНОВ, А. Н. ДЕНИСОВ Экспериментальное обоснование создания позиций по тушению с применением специальных пожарных автомобилей ВОПРОС – ОТВЕТ	58	O. I. STEPANOV, A. N. DENISOV Experimental substantiation of creating positions for extinguishing with the use of special fire trucks QUESTION – ANSWER
Л. М. МЕШМАН Требования по проектированию АУП и ВПВ применительно к дошкольным образовательным и общеобразовательным организациям А. С. ХАРЛАМЕНКОВ Категорирование помещений газовых котельных по взрывопожарной и пожарной опасности	67 70	L. M. MESHMAN Design requirements of AFEI and ISHS with respect to preschool educational and educational organizations A. S. KHARLAMENKOV Categorization of gas boiler rooms on explosion and fire hazard



Диагностика пожарных извещателей АСУТП

Стр. 15



Оргпроектирование гарнизона противопожарной службы города

Стр. 23



Исследование автомобильного блока предохранителей

Стр. 30



Зоны термического поражения при пожаре на МГ

Стр. 41

Стр. 58



Создание позиций по тушению пожарными спецавтомобилями



FOUNDER —

“POZHNAUKA” Publishing House, Ltd.

Journal founded in 1992,
issued 12 times per year.

Publication is registered by the Federal
Service for Supervision of Communications,
Information Technology, and Mass Media
of Russia. Registration certificate
PI No. FS 77-43615 on January 18, 2011.

EDITORIAL STAFF:

Chief of Editorial Staff **O. N. Korolchenko**

Editorial Director **N. N. Sokolova**

Editor **L. V. Krylova**

Address of Editorial Staff:

Gorbunova St., 2, bldg. 3, office II, rm. 12,
Moscow, 121596, Russia.

Corresponding to: Post office box 6,
Moscow, 121352, Russia.

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

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

“Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion
Safety” is included in the List of periodical
scientific and technical publication, recommended
by Higher Attestation Commission of the Russian
Federation for publishing aspirants' works for
candidate and doctoral degree, in Abstracting
Journal and Database of VINITI RAS, in Russian
Science Citation Index, EBSCO. Information
about the journal is annually published
in “Ulrich's Periodicals Directory”. English version
of “Fire and Explosion Safety” articles is included
in Chemical Abstract Service (CAS).

No part of this publication may be used or re-
produced in any form or by any means without
the prior permission of the Publishers. Repro-
ducing 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 15.11.2018.
Date of publication 26.11.2018.
Format is 60x84 1/8.
Printing is 2000 copies.
Chalk-overlay mat paper.
Offset printing.

Printed at “Gran Pri”, Ltd.
(Ordzhonikidze St., 57, Rybinsk,
152900, Russian Federation)

EDITOR-IN-CHIEF:

A. Ya. Korolchenko, Dr. Tech. Sci., Professor, Academician of International Academy of
Ecology and Life Safety (National Research Moscow State University of Civil Engineering,
Moscow, Russia)

DEPUTY EDITOR-IN-CHIEF:

V. V. Molkov, Dr. Tech. Sci., Professor (Ulster University, Ulster, Northern Ireland, UK)

P. A. Strizhak, Dr. Phys.-Math. Sci. (National Research Tomsk Polytechnic University,
Tomsk, Russia)

EDITORIAL BOARD:

I. K. Bakirov, Cand. Tech. Sci. (Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia,
Republic of Bashkortostan)

N. M. Barbin, Dr. Tech. Sci., Professor (Urals State Agrarian University, Yekaterinburg,
Russia)

N. N. Brushlinskiy, Dr. Tech. Sci., Professor, Academician of Russian Academy of Natural
Sciences, Honoured Scientist of the Russian Federation (State Fire Academy of Emercom of
Russia, Moscow, Russia)

A. I. Burkhanov, Dr. Phys.-Math. Sci. (Volgograd State Technical University, Volgograd,
Russia)

P. Wagner, Dr. Tech. Sci. (Berlin Fire and Rescue Academy, Berlin, Germany)

D. A. Korolchenko, Cand. Tech. Sci., Academician of International Academy of Ecology
and Life Safety (National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow,
Russia)

S. V. Kuznetsov, Dr. Phys.-Math. Sci., Professor (A. Ishlinsky Institute for Problems in
Mechanics of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia)

V. N. Lozhkin, Dr. Tech. Sci., Professor (Saint Petersburg University of State Fire Service of
Emercom of Russia, Saint Petersburg, Russia)

I. G. Malygin, Dr. Tech. Sci., Professor (Solomenko Institute of Transport Problems of
the Russian Academy of Sciences, Saint Petersburg, Russia)

Yu. Kh. Polandov, Dr. Tech. Sci., Professor (Orel State University named after I. Turgenev,
Orel, Russia)

S. V. Puzach, Dr. Tech. Sci., Professor, Corresponding Member of National Academy of
Fire Science (State Fire Academy of Emercom of Russia, Moscow, Russia)

K. Zh. Raimbekov, Cand. Phys.-Math. Sci. (Kokshetau Technical Institute, Committee of
Emergency Situations of the Ministry of Internal Affairs of the Republic of Kazakhstan,
Kokshetau, Kazakhstan)

A. Restas, Ph. D. (National University of Public Service, Institute of Disaster Manage-
ment, Budapest, Hungary)

R. L. Roe, Professor (Georgetown University Law Center, Washington, United States)

B. B. Serkov, Dr. Tech. Sci., Professor, Full Member of National Academy of Fire Science
(State Fire Academy of Emercom of Russia, Moscow, Russia)

A. G. Tamrazyan, Dr. Tech. Sci., Professor, Full Member of World Academy of Sciences for
Complex Safety (National Research Moscow State University of Civil Engineering,
Moscow, Russia)

N. G. Topolskiy, Dr. Tech. Sci., Professor, Academician of Russian Academy of Natural
Sciences, Academician of National Academy of Fire Science, Honoured Scientist of
the Russian Federation (State Fire Academy of Emercom of Russia, Moscow, Russia)

V. V. Kholshchevnikov, Dr. Tech. Sci., Professor, Academician and Honoured Member of
Russian Academy of Natural Sciences, Academician of World Academy of Sciences
for Complex Safety, Honoured Higher Education Employee of the Russian Federation
(National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia)

B. Hristov, Dr. Ing., Professor (University of Applied Sciences, Berlin, Germany)

A. Celani (Polytechnic University of Milan, Milan, Italy)

R. M. Ciric, Ph. D., Professor (The Higher Technical School of Professional Studies, Novi
Sad, Serbia)

Yu. N. Shebeko, Dr. Tech. Sci., Professor, Full Member of National Academy of Fire
Science (All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia,
Balashikha, Russia)

T. J. Shields, Ph. D., Professor (Ulster University, Ulster, Northern Ireland, UK)

R. C. Shouse, Ph. D. (Pennsylvania State University, University Park, Pennsylvania,
United States)

S. E. Yakush, Dr. Phys.-Math. Sci. (A. Ishlinsky Institute for Problems in Mechanics of
the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia)

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)

ТУАН АНЬ ЛЕ, адъюнкт, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина; e-mail: leanhtuant34@gmail.com)

УДК 614.841

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ПАРАМЕТРОВ ГОРЕНИЯ ДРЕВЕСНОЙ МАССЫ ДЕРЕВЬЕВ ДЛЯ РАСЧЕТА ВОЗДЕЙСТВИЯ ВЕРХОВЫХ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ НА ОБЪЕКТЫ ЭНЕРГЕТИКИ ВЬЕТНАМА

Обоснован выбор значений удельного коэффициента образования монооксида углерода и удельной массовой скорости газификации, необходимых для математического моделирования параметров и теплового воздействия верховых лесных пожаров на объекты энергетики Вьетнама. Представлены результаты экспериментального исследования процесса горения образцов древесной массы стволов наиболее распространенных лиственных и хвойных пород деревьев Вьетнама. Для режима пламенного горения получены экспериментальные зависимости удельного коэффициента выделения монооксида углерода и удельной массовой скорости газификации от времени испытаний образцов древесины. Проведено сопоставление средних значений этих параметров с данными, приведенными в литературных источниках. Показано, что средние по времени экспериментальные значения удельной массовой скорости газификации всех образцов древесины находятся в диапазоне между соответствующими значениями для хвойных и лиственных пород деревьев, приведенными в базе данных пожарной нагрузки Ю. А. Кошмарова.

Ключевые слова: лесной пожар; моделирование; удельная массовая скорость газификации; удельный коэффициент выделения CO; монооксид углерода.

DOI: 10.18322/PVB.2018.27.11.5-14

Введение

Лесные пожары могут приводить к катастрофическим разрушениям жизненно важных для экономики и безопасности страны объектов энергетики, прекращение функционирования которых ведет к нарушению жизнедеятельности человека.

Математическое моделирование лесных пожаров является очень сложной, до конца не решенной, многофакторной и нелинейной задачей [1–16]. Неопределенность теплофизических и химических свойств лесных горючих материалов не позволяет проводить достоверный расчет теплового потока от лесного пожара, воздействующего на энергетические объекты Вьетнама, такие как электроподстанции, ТЭС, ГЭС, линии электропередач и т. д. В связи с этим исследование процесса горения древесной массы деревьев Вьетнама представляет собой актуальную научную и практическую задачу.

Целью статьи является обоснование исходных данных для математического моделирования параметров и теплового воздействия верховых лесных пожаров на объекты энергетики Вьетнама.

Для ее достижения были проведены экспериментальные исследования процесса горения образцов древесной массы наиболее распространенных лиственных и хвойных пород деревьев Вьетнама.

Экспериментальная установка и методика проведения экспериментов

На рис. 1 приведена схема экспериментальной установки, предложенной в работах [17–19].

Установка состоит из камеры сгорания 1, которая соединена с экспозиционной камерой 7 с помощью переходного рукава 5.

Внутренний объем камеры сгорания равен $3 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$. Ее стенки изготовлены из листовой нержавеющей стали толщиной $(2,0 \pm 0,1) \text{ мм}$. Наблюдения за образцами материалов во время испытаний проводятся через окно, изготовленное из кварцевого стекла. Изменение режима испытаний с помощью воздухообмена камеры с помещением осуществляется через находящиеся на боковой стенке камеры шиберные отверстия.

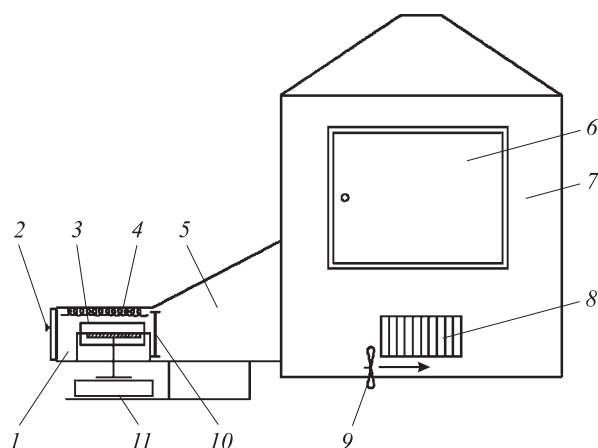


Рис. 1. Принципиальная схема опытной установки: 1 — камера сгорания; 2 — дверца камеры сгорания; 3 — держатель образца; 4 — электронагревательный излучатель; 5 — переходный рукав; 6 — дверца экспозиционной камеры; 7 — экспозиционная камера; 8 — шибберные отверстия; 9 — вентилятор; 10 — заслонка (перегородка) переходного рукава; 11 — столик с весами

Устройство теплового блокирования экспозиционной камеры от камеры сгорания размещено в переходном рукаве.

В экспозиционной камере с кубическим объемом 0,5887 м³ и с верхней частью в виде конуса на боковой стенке находятся шибберные отверстия 8.

Экранированный электронагревательный излучатель 4 и держатель образца 3 размещены в камере сгорания.

Электронные весы 11, на которых расположен держатель образца, позволяют измерять массу образца с погрешностью, не превышающей ± 1 мг. Весы установлены на столике, положение которого регулируется по высоте.

Измерения температуры в экспозиционной камере проводятся непрерывно с использованием 32 низкоинерционных бронированных термодатчиков. Диапазон измеряемых температур составляет от минус 40 до +1100 °С. Погрешность измерений не превышает $\pm 1,5t$ (°С).

Плотность теплового потока, поступающего от экранированного электронагревательного излучателя на поверхность образца материала, измеряется водоохлаждаемым датчиком типа Гордона с погрешностью, не превышающей ± 8 %.

Состав газовой среды в экспозиционной камере определяется с помощью многоканального газоанализатора с диапазонами измерений концентраций газов (с максимальной погрешностью ± 10 % об.): монооксида углерода CO — 0–1 % об., диоксида углерода CO₂ — 0–5 % об., кислорода O₂ — 0–21 % об.

Испытания проводились в режиме пламенного горения, который обеспечивался плотностью пада-

ющего теплового потока 60 кВт/м². Температура поверхности излучателя составляла 750 °С.

Эксперименты проводились по следующей методике.

Во вкладыш держателя образца помещали предварительно взвешенный образец материала, имеющий комнатную температуру.

После стабилизации режима работы электронагревательного излучателя открывали дверцу камеры сгорания и помещали в держатель образца вкладыш с образцом древесины. Затем открывали заслонку переходного рукава, а дверцу камеры сгорания закрывали. Происходило возгорание образца.

Во время эксперимента непрерывно измеряли концентрации CO, CO₂, O₂, температуру и массу образца.

Далее определялась удельная массовая скорость газификации по следующей формуле:

$$\psi_{уд} = \frac{1}{F} \frac{dM}{dt}, \quad (1)$$

где $\psi_{уд}$ — удельная массовая скорость газификации, кг/(м²·с);

F — площадь поверхности образца, м²;

M — текущая масса образца, кг;

t — время испытания, с.

Для прогнозирования токсикологической обстановки на лесных пожарах необходимо, в первую очередь, знать концентрацию монооксида углерода, поэтому в экспериментах определялся удельный коэффициент образования CO L_{CO} в каждый момент времени по следующей формуле:

$$L_{CO} = \frac{V}{\psi_{уд} F} \frac{d\rho_{CO}}{dt}, \quad (2)$$

где V — объем экспозиционной камеры, м³;

ρ_{CO} — среднеобъемная плотность CO в экспозиционной камере, кг/м³.

Исходные данные

Для математического моделирования параметров и теплового воздействия верховых лесных пожаров на объекты энергетики необходимо, в первую очередь, знать низшую рабочую теплоту сгорания Q_H^p (МДж/кг) и удельную массовую скорость газификации древесной биомассы.

Анализ данных, приведенных в работах [20, 21], показывает, что низшая рабочая теплота сгорания древесины хвойных и лиственных пород деревьев находится в диапазоне $Q_H^p = 13,8 \div 21,2$ МДж/кг. Поэтому, если используется ее среднее значение, равное 17,5 МДж/кг, погрешность по сравнению с ее истинным значением не превышает 27 %.

Проведем измерения удельной массовой скорости газификации образцов пород древесной

Таблица 1. Рассматриваемые породы деревьев Вьетнама

Номер образца	Название (русское, вьетнамское)	Класс дерева	Влажность, %
1	Акация, keo	Лиственные	< 5
2	Мелия ацедарах, xoan		< 5
3	Сосна, họ thông	Хвойные	< 5
4	Эвкалипт, bạch đàn	Лиственные	8
5	Лонган, nhãn		7

массы стволов деревьев Вьетнама, представленных в табл. 1. Размеры образцов древесины составляли $0,1 \times 0,1 \times 0,02$ м.

Влажность образцов измерялась влагомером ZNT 125 Electronic с диапазоном измерений 5–50 % и погрешностью измерений ± 2 %. Влажность образцов не превышала 8 % (см. табл. 1), что соответствует влажности деревьев Вьетнама в наиболее пожароопасный засушливый период года.

Результаты экспериментов и их анализ

На рис. 2 представлены экспериментальные зависимости удельной скорости газификации образцов древесины от времени испытаний.

Из рис. 2 видно, что локальные значения $\psi_{уд}$ после 2 мин испытаний находятся в диапазоне от 0,0063 до 0,014 кг/(м²·с), где нижний предел соответствует горению хвойных пород деревьев, а верхний — лиственных [21].

На рис. 3 приведены экспериментальные зависимости удельных массовых коэффициентов обра-

зования СО от времени. Анализ результатов экспериментов показывает, что величина удельного коэффициента образования СО пренебрежимо мала на начальной стадии испытаний. Это объясняется тем, что в этот период концентрация кислорода практически постоянна, равна концентрации в воздухе помещения и монооксид углерода окисляется до диоксида СО₂. По мере уменьшения концентрации О₂ концентрация СО быстро увеличивается.

Средние за время проведения экспериментов значения $\psi_{уд}$ и L_{CO} представлены в табл. 2.

Из табл. 2 видно, что:

- экспериментальные средние значения $\psi_{уд}$ находятся в диапазоне от 0,0063 кг/(м²·с) для хвойных пород до 0,014 кг/(м²·с) — для лиственных [21];
- экспериментальные средние опытные значения L_{CO} существенно меньше (более чем в 2 раза) по сравнению с приведенными в базе данных [21].

Из рис. 2 видно, что зависимости удельной массовой скорости газификации древесины от времени имеют максимум в начале процесса газификации. Время выхода на максимальные значения не превышает 0,5–2 мин в зависимости от породы дерева, после чего происходит относительная стабилизация процесса газификации древесины.

Значения удельного массового коэффициента образования СО согласно рис. 3 примерно через 2 мин от начала горения пренебрежимо малы. Затем в течение 1–2 мин (в зависимости от породы дерева) происходит их резкий рост до максимальных значений. Это объясняется тем, что с течением времени происходит уменьшение концентрации кислорода

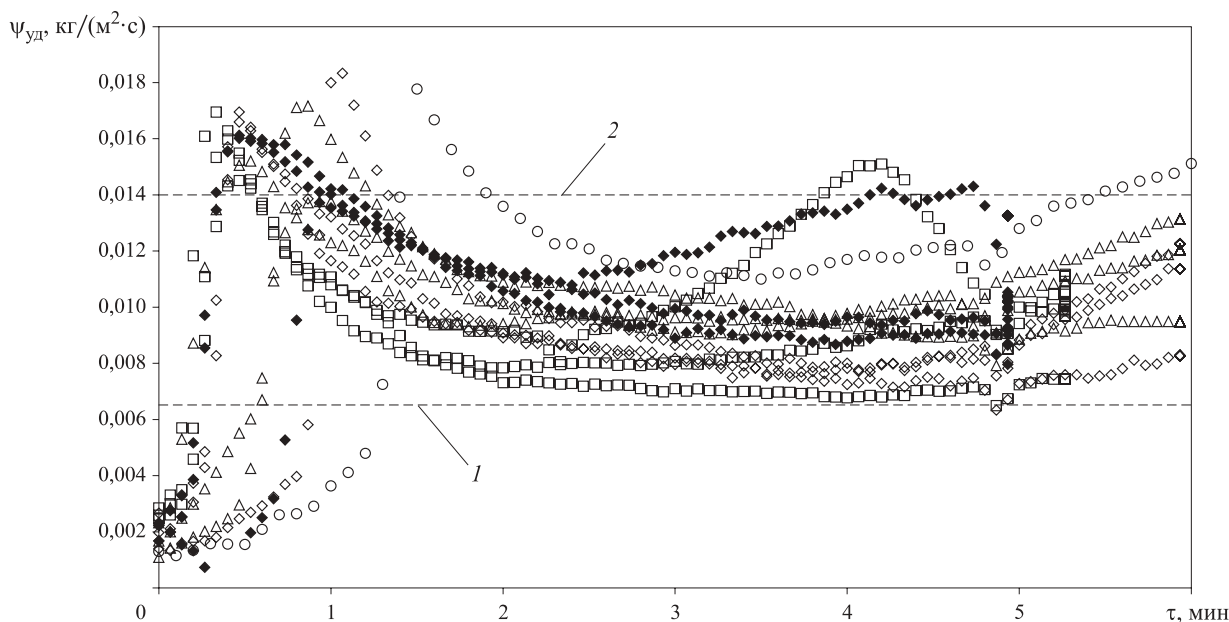


Рис. 2. Зависимость удельной массовой скорости газификации древесной массы от времени испытаний образцов: □ — № 1; △ — № 2; ◆ — № 3; ○ — № 4; ◇ — № 5; 1 — хвойные породы, $\psi_{уд} = 0,0063$ кг/(м²·с); 2 — лиственные породы, $\psi_{уд} = 0,014$ кг/(м²·с) [21]

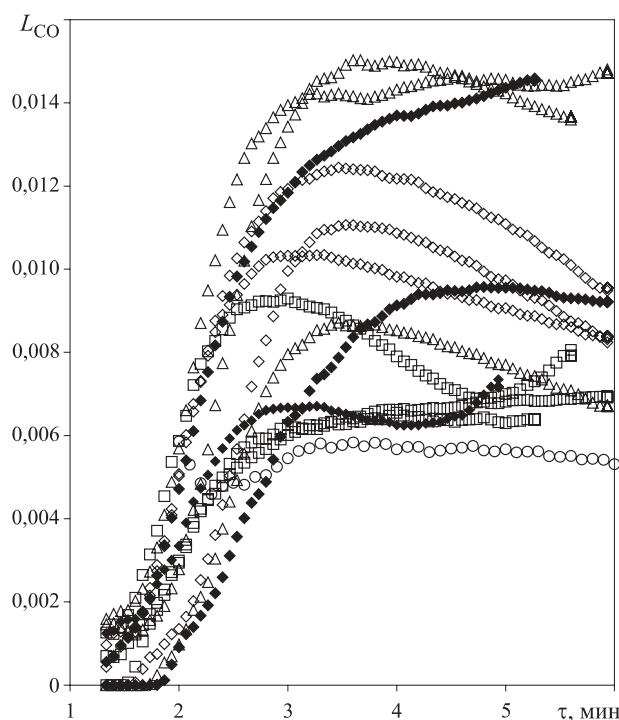


Рис. 3. Зависимость удельного массового коэффициента образования СО от времени испытаний образцов: □ — № 1; △ — № 2; ◆ — № 3; ○ — № 4; ◇ — № 5

в камере сгорания (см. рис. 1) и не весь моноксид углерода окисляется до диоксида.

Полученные средние экспериментальные значения удельной массовой скорости газификации и

Таблица 2. Средние за время проведения экспериментов значения $\psi_{уд}$ и L_{CO}

Номер образца	$\psi_{уд}$, кг/(м ² ·с)		L_{CO}	
	Данная работа	[21]	Данная работа	[21]
1	0,0093	0,014	0,0052	0,024
2	0,0102		0,0107	
3	0,0113	0,0063	0,0073	
4	0,0127	0,014	0,012	
5	0,0091		0,008	

удельного массового коэффициента образования СО для образцов древесной массы наиболее распространенных лиственных и хвойных пород деревьев Вьетнама могут быть использованы при расчете характеристик верховых пожаров.

Заключение

Экспериментальные исследования процесса горения образцов древесной массы наиболее распространенных лиственных и хвойных пород деревьев Вьетнама позволяют обосновать выбор значений удельного коэффициента образования СО и удельной массовой скорости газификации, необходимых для математического моделирования параметров и теплового воздействия верховых лесных пожаров на объекты энергетики Вьетнама.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пузач С. В., Горюшкин С. С. Оценка теплового воздействия лесного пожара на электрическую подстанцию с масляными трансформаторами // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. — 2017. — № 3. — С. 79–83. DOI: 10.25257/FE.2017.3.79-83.
2. Доррер Г. А. Динамика лесных пожаров. — Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2008. — 404 с.
3. Гришин А. М. О математическом моделировании природных пожаров и катастроф // Вестник Томского государственного университета. Математика и механика. — 2008. — № 2(3). — С. 105–114.
4. Alexander M. E., Cruz M. G., Vaillant N. M. Toward improving our application and understanding of crown fire behavior // Fire Management Today. — 2014. — Vol. 73, No. 4. — P. 46–47.
5. Morvan D. Physical phenomena and length scales governing the behaviour of wildfires: a case for physical modelling // Fire Technology. — 2011. — Vol. 47, Issue 2. — P. 437–460. DOI: 10.1007/s10694-010-0160-2.
6. Mandel J., Bennethum L. S., Beezley J. D., Coen J. L., Douglas C. C., Kim M., Vodacek A. A wildland fire model with data assimilation // Mathematics and Computers in Simulation. — 2008. — Vol. 79, Issue 3. — P. 584–606. DOI: 10.1016/j.matcom.2008.03.015.
7. Sullivan A. L. Wildland surface fire spread modelling, 1990–2007. 3: Simulation and mathematical analogue models // International Journal of Wildland Fire. — 2009. — Vol. 18, No. 4. — P. 387–403. DOI: 10.1071/wf06144.
8. Rochoux M. C., Emery C., Ricci S., Cuenot B., Trouvé A. Towards predictive data-driven simulations of wildfire spread — Part II: Ensemble Kalman Filter for the state estimation of a front-tracking simulator of wildfire spread // Natural Hazards and Earth System Sciences. — 2015. — Vol. 15, No. 8. — P. 1721–1739. DOI: 10.5194/nhess-15-1721-2015.

9. Rochoux M. C., Ricci S., Lucor D., Cuenot B., Trouvé A. Towards predictive data-driven simulations of wildfire spread — Part I: Reduced-cost Ensemble Kalman Filter based on a Polynomial Chaos surrogate model for parameter estimation // *Natural Hazards and Earth System Sciences*. — 2014. — Vol. 14, No. 11. — P. 2951–2973. DOI: 10.5194/nhess-14-2951-2014.
10. Tymstra C., Bryce R. W., Wotton B. M., Armitage O. B. Development and structure of Prometheus: the Canadian wildland fire growth simulation model / *Information Report NOR-X-417*. — Edmonton : Natural Resources of Canada, Canadian Forest Service, 2010.
11. Sardoy N., Consalvi J.-L., Porterie B., Fernandez-Pello A. C. Modeling transport and combustion of firebrands from burning trees // *Combustion and Flame*. — 2007. — Vol. 150, Issue 3. — P. 151–169. DOI: 10.1016/j.combustflame.2007.04.008.
12. Kaur I., Mentrelli A., Bosseur F., Filippi J.-B., Pagnini G. Turbulence and fire-spotting effects into wild-land fire simulators // *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulations*. — 2016. — Vol. 39. — P. 300–320. DOI: 10.1016/j.cnsns.2016.03.003.
13. Martin J., Hillen T. The spotting distribution of wildfires // *Applied Sciences*. — 2016. — Vol. 6, No. 6. — P. 177. DOI: 10.3390/app6060177.
14. Cunningham P., Goodrick S. L., Hussaini M. Y., Linn R. R. Coherent vortical structures in numerical simulations of buoyant plumes from wildland fires // *International Journal of Wildland Fire*. — 2005. — Vol. 14, Issue 1. — P. 61–75. DOI: 10.1071/wf04044.
15. Кузнецов С. Л., Пузач С. В., Ярошенко А. В. Математическая модель распространения кромки природного пожара с учетом основных особенностей растительности, ландшафта местности и состояния атмосферы // *Материалы 20-й научно-технической конференции “Системы безопасности–2011”*. — М. : Академия ГПС МЧС РФ, 2011. — С. 195–197.
16. Varner J. M., Keyes C. R. Fuels treatment and fire models: errors and corrections // *Fire Management Today*. — 2009. — Vol. 69, No. 3. — P. 47–50.
17. Пузач С. В., Сулейкин Е. В. Новый теоретико-экспериментальный подход к расчету распространения токсичных газов при пожаре в помещении // *Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety*. — 2016. — Т. 25, № 2. — С. 13–20. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.02.13-20.
18. Пузач С. В., Акперов Р. Г. Экспериментальное определение удельного коэффициента образования монооксида углерода при пожаре в помещении // *Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety*. — 2016. — Т. 25, № 5. — С. 18–25. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.05.18-25.
19. Пузач С. В., Сулейкин Е. В., Акперов Р. Г., Пузач В. Г. Об экспериментальной оценке токсичности продуктов горения при пожаре в помещении // *Технологии техносферной безопасности*. — 2013. — Вып. 4(50). — 11 с.
20. Иванов А. В. Лесная пирология : конспект лекций. — 2-е изд. — Йошкар-Ола : Поволжский гос. технологический ун-т, 2013. — 275 с.
21. Кошмаров Ю. А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении. — М. : Академия ГПС МВД России, 2000. — 118 с.

Материал поступил в редакцию 9 октября 2018 г.

Для цитирования: Пузач С. В., Ле Ань Туан. Обоснование выбора параметров горения древесной массы деревьев для расчета воздействия верховых лесных пожаров на объекты энергетики Вьетнама // *Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety*. — 2018. — Т. 27, № 11. — С. 5–14. DOI: 10.18322/PVB.2018.27.11.5-14.

S. V. PUZACH, 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)

TUAN ANH LE, Postgraduate Student, Fire Safety in Building Department, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail: leanhtuant34@gmail.com)

UDC 614.841

JUSTIFICATION OF THE CHOICE OF WOOD PULP COMBUSTION PARAMETERS FOR CALCULATION OF RUNNING CROWNING FOREST FIRES IMPACT ON POWER ENGINEERING FACILITIES IN VIETNAM

The choice is justified for the values of specific carbon monoxide formation coefficient and the specific mass gasification rate required for mathematical modeling of the parameters and heat impact of running crowning forest fires on the power engineering facilities in Vietnam. The results of an experimental study of the combustion process of wood pulp samples of the trunks of the most common hardwood and coniferous trees of Vietnam are presented. For the flaming combustion, the experimental dependences of the specific carbon monoxide emission coefficient and the specific mass gasification rate on the time period of testing of wood samples were obtained. A comparison of the average values of these parameters with the data given in the literature was carried out. It is shown that the average experimental values of the specific mass gasification rate of all wood samples in terms of time are in the range between the corresponding values for coniferous and hardwood trees listed in the fire load database by Yu. A. Koshmarov.

Keywords: forest fire; modeling; specific mass gasification rate; specific carbon monoxide emission coefficient; carbon monoxide.

DOI: 10.18322/PVB.2018.27.11.5-14

Introduction

Forest fires can cause catastrophic destruction of energy facilities vital for the economy and security of a country, the breakdown of which can cause the human livelihood disruption.

Mathematical modeling of forest fires is a very complex, not completely resolved, multifactorial and non-linear problem [1–16]. The uncertainty of the thermo-physical and chemical properties of forest combustible materials does not allow a reliable calculation of the heat flux from a forest fire affecting energy facilities, such as electrical substations, thermal power plants, hydro-electric power stations, power lines, etc. In this regard, the study of the wood pulp combustion of Vietnamese trees is an actual scientific and practical problem.

The purpose of the article is to substantiate the source data for the mathematical modeling of the parameters and heat impact of running crowning forest fires on power engineering facilities in Vietnam.

To achieve this, the experimental studies of the combustion of wood pulp samples from the most common hardwood and coniferous trees of Vietnam were carried out.

Experimental facility and methodology of the experiments

Fig. 1 shows the scheme of the experimental facility proposed in the works [17–19].

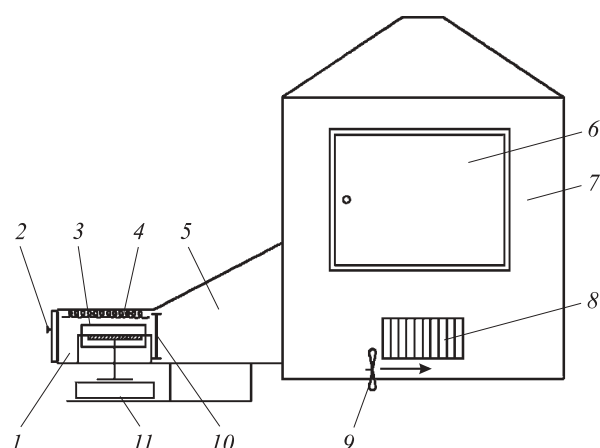


Fig. 1. Experimental facility functional diagram: 1 — combustion chamber; 2 — combustion chamber door; 3 — sample holder; 4 — electric heater; 5 — transition sleeve; 6 — exposure chamber door; 7 — exposure chamber; 8 — slide apertures; 9 — fan; 10 — fire screen (partition) of the transition sleeve; 11 — table with scales

The facility consists of a combustion chamber 1, which is connected to the exposure chamber 7 using the transition sleeve 5.

The internal volume of the combustion chamber is equal to $3 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$. Its walls are made of thick stainless steel sheet with the thickness of $(2.0 \pm 0.1) \text{ mm}$. Observations on samples of materials are carried out through a window made of quartz glass during testing. The selection of the test mode using the air exchange of the chamber with the room is carried out through the slide apertures on the side wall of the chamber.

The device for thermal blocking of the exposure chamber from the combustion chamber is located in the transition sleeve.

There are slide apertures 8 on the side wall of the exposure chamber with a cubic volume of 0.5887 m^3 and with the upper part in the form of a cone.

Shielded electric heater 4 and the sample holder 3 are placed in the combustion chamber.

Electronic scales 11 on which the sample holder is located, allow you to measure the sample mass with an error not exceeding $\pm 1 \text{ mg}$. The scales are installed on the table, which position is adjustable up/down.

Temperature measurements in the exposure chamber are carried out continuously using 32 low inertia armored thermocouples. The range of measured temperatures is from minus 40 to $+1100 \text{ }^\circ\text{C}$. Measurement error does not exceed $\pm 1.5t \text{ (}^\circ\text{C)}$.

The density of the heat flux coming from the shielded electric heater to the surface of the sample material is measured by a water-cooled Gordon sensor with an error not exceeding $\pm 8 \%$.

The composition of the gas-air environment in the exposure chamber is determined using a multichannel gas analyzer with ranges of gas concentrations measuring (with maximum accuracy of $\pm 10 \%$ by vol.) carbon monoxide CO — 0–1 % by vol., carbon dioxide CO₂ — 0–5 % by vol., oxygen O₂ — 0–21 % by vol.

The tests were carried out in the mode of flame combustion, which was provided by the density of the incoming heat flux of 60 kW/m^2 . The surface temperature of the heater was $750 \text{ }^\circ\text{C}$.

The experiments were carried out according to the following method.

A previously weighed sample of the material having a room temperature was placed on the sample holder seat.

After stabilization of the operation mode of the electric heater, the combustion chamber door was opened and the seat with the wood sample was placed in the sample holder. Then the fire screen of the transition sleeve was opened, and the combustion chamber door was closed. The sample ignited.

During the experiment, concentrations CO, CO₂, O₂ were continuously measured, as well as sample temperature and mass.

Further, the specific mass gasification rate ψ_{spec} ($\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{sec})$) was determined by the following formula:

$$\psi_{spec} = \frac{1}{F} \frac{dM}{d\tau}, \quad (1)$$

where F — sample surface area, m^2 ;

M — current sample weight, kg ;

τ — test time, sec .

To predict the toxicological situation with regard to forest fires, it is necessary, first of all, to know the concentration of carbon monoxide, therefore, in experiments, the specific carbon monoxide formation coefficient was determined L_{CO} at every instant according to the following formula:

$$L_{CO} = \frac{V}{\psi_{spec} F} \frac{d\rho_{CO}}{d\tau}, \quad (2)$$

where V — exposure chamber volume, m^3 ;

ρ_{CO} — medium volume density CO in the exposure chamber, kg/m^3 .

Input data

In order to perform mathematical modeling of the parameters and thermal effects of running crowning forest fires, it is necessary, first of all, to know the lowest working heat of combustion Q_{low}^{work} (MJ/kg) and specific mass gasification rate of wood pulp.

The data analysis given in the works [20, 21], shows that the lowest working heat of combustion of coniferous and hardwood wood is in the range $Q_{low}^{work} = 13.8 \div 21.2 \text{ MJ}/\text{kg}$. Therefore, if its average value of $17.5 \text{ MJ}/\text{kg}$ is used, the error compared to its true value does not exceed 27 %.

We will carry out measurements of the specific mass gasification rate of wood pulp samples of Vietnam trees, shown in Table 1. The sizes of the wood samples were $0.1 \times 0.1 \times 0.02 \text{ m}$.

The moisture content of the samples was measured with ZNT 125 Electronic moisture meter with measuring range 5–50 % and error measurement $\pm 2 \%$. The samples humidity did not exceed 8 % (see Table 1), which cor-

Table 1. The considered tree species of Vietnam

Number of sample	Name (english, vietnamese)	Tree kind	Humidity, %
1	Acacia auriculiformis, keo	Deciduous	< 5
2	Chinaberry, xoan		< 5
3	Pine, họ thông	Coniferous	< 5
4	Eucalyptus camaldulensis dehnhardt, bạch đàn	Deciduous	8
5	Dimocarpus longan, nhãn		7

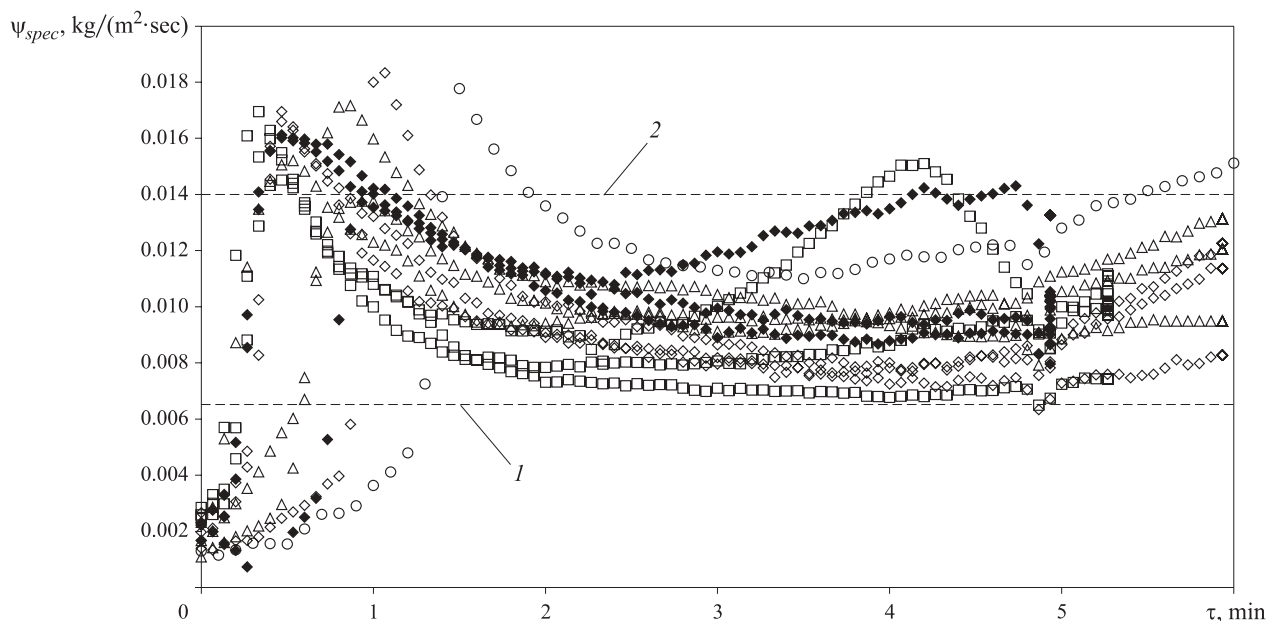


Fig. 2. The dependence of the specific mass gasification rate of wood pulp from the period of sample testing: $\square$ — No. 1; $\triangle$ — No. 2; $\blacklozenge$ — No. 3; $\circ$ — No. 4; $\diamond$ — No. 5; 1 — coniferous trees, $\psi_{spec} = 0.0063 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{sec})$; 2 — hardwood trees, $\psi_{spec} = 0.014 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{sec})$ [21]

responds to the humidity of Vietnamese trees in the most fire-hazardous dry period of the year.

Study results and their analysis

Fig. 2 shows the experimental dependence of the specific gasification rate of wood samples on the test time period.

Fig. 2 shows that local values ψ_{spec} after 2 minutes of tests are in the range of 0.0063 up to 0.014 $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{sec})$, where lower limit corresponds to the combustion of coniferous trees, and the upper — hardwood ones [21].

Fig. 3 shows the experimental dependence of the specific carbon monoxide formation coefficient on the time period. Analysis of the experimental results shows that the value of the specific carbon monoxide formation coefficient is negligible at the initial stage of testing. This is explained by the fact that during this period the oxygen concentration is almost constant and is equal to the concentration in the air of the room and carbon monoxide is oxidized to dioxide CO_2 . As the concentration of O_2 decreases concentration of CO increases rapidly.

Mean values during the experiment ψ_{spec} and L_{CO} shown in table 2.

It can be seen from table 2 that:

- experimental mean values ψ_{spec} are in the range of 0.0063 $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{sec})$ for coniferous trees 0.014 $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{sec})$ — for hardwood trees [21];
- experimental mean values L_{CO} are significantly less (more than 2 times) compared to those ones given in the database [21].

It can be seen from Fig. 2 that the dependences of the specific mass gasification rate of wood on the time

period have a maximum at the beginning of the gasification process. The time period taken to reach the maximum values does not exceed 0.5–2 minutes, depending on the type of wood, after which there is a relative stabilization of wood gasification process.

The values of the specific carbon monoxide formation coefficient according to Fig. 3 approximately in 2 minutes after the start of combustion is negligible. Then

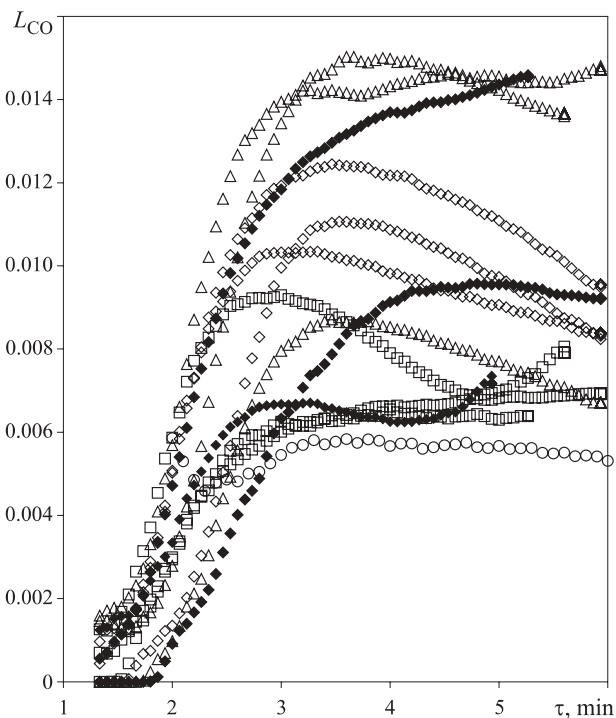


Fig. 3. The dependence of the specific carbon monoxide formation coefficient from the period of sample testing: $\square$ — No. 1; $\triangle$ — No. 2; $\blacklozenge$ — No. 3; $\circ$ — No. 4; $\diamond$ — No. 5

Table 2. Average values ψ_{spec} и L_{CO} during the experiment

Number of sample	ψ_{spec} (kg/(m ² ·sec))		L_{CO}	
	This article	[21]	This article	[21]
1	0.0093	0.014	0.0052	0.024
2	0.0102		0.0107	
3	0.0113	0.0063	0.0073	
4	0.0127	0.014	0.012	
5	0.0091		0.008	

within 1–2 minutes (depending on wood species) there is their sharp growth to the maximum values. This results from the fact that eventually there is a reduction of oxygen concentration in the combustion chamber (see Fig. 1) and not all carbon monoxide is oxidized to dioxide.

The obtained average experimental values of the specific mass gasification rate and the specific carbon monoxide formation coefficient for pulp samples of the most common hardwood and coniferous trees of Vietnam can be used to calculate the characteristics of running crowning fires.

Conclusion

Experimental studies of combustion process wood pulp samples of the most widespread hardwood and coniferous tree species of Vietnam allow to prove the choice of values of the specific carbon monoxide formation coefficient and the specific mass gasification rate, required for mathematical modeling of the parameters and heat impact of running crowning forest fires on the power engineering facilities in Vietnam.

REFERENCES

1. S. V. Puzach, S. S. Goriushkin. Assessment of the forest fire thermal effect on the electrical substation with oil transformers. *Pozhary i chrezvychaynyye situatsii: predotvrashcheniye, likvidatsiya / Fire and Emergencies: Prevention, Elimination*, 2017, no. 3, pp. 79–83 (in Russian). DOI: 10.25257/FE.2017.3.79-83.
2. G. A. Dorrer. *Dinamika lesnykh pozharov* [Dynamics of forest fires]. Novosibirsk, Publishing House of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 2008. 403 p. (in Russian).
3. A. M. Grishin. 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).
4. M. E. Alexander, M. G. Cruz, N. M. Vaillant. Toward improving our application and understanding of crown fire behavior. *Fire Management Today*, 2014, vol. 73, no. 4, pp. 46–47.
5. D. Morvan. Physical phenomena and length scales governing the behaviour of wildfires: a case for physical modelling. *Fire Technology*, 2011, vol. 47, issue 2, pp. 437–460. DOI: 10.1007/s10694-010-0160-2.
6. J. Mandel, L. S. Bennethum, J. D. Beezley, J. L. Coen, C. C. Douglas, M. Kim, A. Vodacek. A wildland fire model with data assimilation. *Mathematics and Computers in Simulation*, 2008, vol. 79, issue 3, pp. 584–606. DOI: 10.1016/j.matcom.2008.03.015.
7. A. L. Sullivan. Wildland surface fire spread modelling, 1990–2007. 3: Simulation and mathematical analogue models. *International Journal of Wildland Fire*, 2009, vol. 18, no. 4, pp. 387–403. DOI: 10.1071/wf06144.
8. M. C. Rochoux, C. Emery, S. Ricci, B. Cuenot, A. Trouvé. Towards predictive data-driven simulations of wildfire spread — Part II: Ensemble Kalman Filter for the state estimation of a front-tracking simulator of wildfire spread. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 2015, vol. 15, no. 8, pp. 1721–1739. DOI: 10.5194/nhess-15-1721-2015.
9. M. C. Rochoux, S. Ricci, D. Lucor, B. Cuenot, A. Trouvé. Towards predictive data-driven simulations of wildfire spread — Part I: Reduced-cost Ensemble Kalman Filter based on a Polynomial Chaos surrogate model for parameter estimation. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 2014, vol. 14, no. 11, pp. 2951–2973. DOI: 10.5194/nhess-14-2951-2014.
10. C. Tymstra, R. W. Bryce, B. M. Wotton, O. B. Armitage. *Development and structure of Prometheus: the Canadian wildland fire growth simulation model. Information Report NOR-X-417*. Edmonton, Natural Resources of Canada, Canadian Forest Service, 2010.
11. N. Sardoy, J.-L. Consalvi, B. Porterie, A. C. Fernandez-Pello. Modeling transport and combustion of firebrands from burning trees. *Combustion and Flame*, 2007, vol. 150, issue 3, pp. 151–169. DOI: 10.1016/j.combustflame.2007.04.008.
12. I. Kaur, A. Mentrelli, F. Bosseur, J.-B. Filippi, G. Pagnini. Turbulence and fire-spotting effects into wild-land fire simulators. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulations*, 2016, vol. 39, pp. 300–320. DOI: 10.1016/j.cnsns.2016.03.003.
13. J. Martin, T. Hillen. The spotting distribution of wildfires. *Applied Sciences*, 2016, vol. 6, no. 6, pp. 177. DOI: 10.3390/app6060177.

14. P. Cunningham, S. L. Goodrick, M. Y. Hussaini, R. R. Linn. Coherent vortical structures in numerical simulations of buoyant plumes from wildland fires. *International Journal of Wildland Fire*, 2005, vol. 14, issue 1, pp. 61–75. DOI: 10.1071/wf04044.
15. S. L. Kuznetsov, S. V. Puzach, A. V. Yaroshenko. Mathematical model of the spread of the edge of a natural fire, taking into account the main features of vegetation, terrain landscape and state of the atmosphere. In: *Materialy 20-y nauchno-tekhnicheskoy konferentsii "Sistemy bezopasnosti-2011"* [Materials of the 20th Scientific and Technical Conference "Security Systems-2011"]. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2011, p. 195–197 (in Russian).
16. J. M. Varner, C. R. Keyes. Fuels treatment and fire models: errors and corrections. *Fire Management Today*, 2009, vol. 69, no. 3, pp. 47–50.
17. S. V. Puzach, E. V. Suleykin. 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.
18. S. V. Puzach, R. G. Akperov. 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.
19. S. V. Puzach, E. V. Suleikin, R. G. Akperov, V. G. Puzach. About experimental toxicity assessment of combustion products at fire in premise. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti / Technology of Technosphere Safety*, 2013, issue 4(50). 11 p. (in Russian).
20. A. V. Ivanov. *Lesnaya pirologiya* [Forest pyrology]. 2nd ed. Yoshkar-Ola, Volga State University of Technology Publ., 2013. 275 p. (in Russian).
21. Yu. A. Koshmarov. *Prognozirovaniye opasnykh faktorov pozhara v pomeshchenii* [The prediction of dangerous fire factors in the room]. Moscow, State Fire Academy of Ministry of Internal Affairs of Russia Publ., 2000. 118 p. (in Russian).

Received 9 October 2018

For citation: S. V. Puzach, Tuan Anh Le. Justification of the choice of wood pulp combustion parameters for calculation of running crowning forest fires impact on power engineering facilities in Vietnam. *Pozharovzryvbezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2018, vol. 27, no. 11, pp. 5–14. DOI: 10.18322/PVB.2018.27.11.5-14.



Издательство «ПОЖНАУКА»

Представляет книгу



Д. Г. Пронин, Д. А. Корольченко
ДЕЛЕНИЕ ЗДАНИЙ НА ПОЖАРНЫЕ
ОТСЕКИ : учебное пособие.
 — М. : Издательство "ПОЖНАУКА".

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 6; тел./факс: (495) 228-09-03; e-mail: info@fire-smi.ru

Н. Г. ТОПОЛЬСКИЙ, д-р техн. наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, профессор кафедры информационных технологий, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: ntopolskii@mail.ru)

И. В. САМАРИН, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры автоматизации технологических процессов, Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И. М. Губкина (Россия, 119991, г. Москва, Ленинский просп., 65, корп. 1; e-mail: ivs@gubkin.ru)

А. Ю. СТРОГОНОВ, аспирант кафедры автоматизации технологических процессов, Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И. М. Губкина (Россия, 119991, г. Москва, Ленинский просп., 65, корп. 1)

УДК 681.5

МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КОМПЛЕКСНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В АСУТП С ПРИМЕНЕНИЕМ ДИАГНОСТИКИ ПОЖАРНЫХ ИЗВЕЩАТЕЛЕЙ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ УПРАВЛЕНИЯ ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТЬЮ

Изучены особенности оценки оборудования первого уровня автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУТП) как составных частей цепочки обеспечения безопасности объектов топливно-энергетического комплекса (ТЭК) с учетом плановых стабилизирующих процедур в особых условиях. Представлено обоснование выбора критерия оценки надежности работы извещателей АСУТП. При построении математической модели оценки надежности автоматизированной системы пожаровзрывобезопасности на объекте ТЭК выбран интегральный показатель качества. Описан способ оценки надежности с использованием вектора целей планирования. Дана характеристика четырем локальным показателям качества. Рассмотрен пример анализа ресурсного показателя. Обосновано применение инструментария стратегического планирования для достижения поставленной в статье задачи.

Ключевые слова: автоматизация; датчики; стабилизирующие процедуры; цифровой двойник; показатели качества; оценка надежности; математическая модель; стратегическое планирование.

DOI: 10.18322/PVB.2018.27.11.15-22

Введение

Объекты топливно-энергетического комплекса (ТЭК) являются составной частью экономики страны. Они выполняют одну из важнейших ее функций — обеспечение предприятий и организаций РФ топливом и продуктами переработки нефти и газа. Одним из основных материалов, перерабатываемых на них, являются легковоспламеняющиеся вещества, создающие реальную угрозу возникновения пожаров и взрывов. Для предотвращения опасных событий, связанных с подобными проявлениями, на объектах ТЭК предпринимаются меры безопасности [1]. Комплекс таких мер, в том числе мероприятий по предотвращению пожаров и взрывов, и определяет состояние комплексной безопасности на данных объектах [2].

В связи с интенсификацией технологических процессов на объектах ТЭК, вызванных обострением конкуренции, автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУТП) требуют не только постоянного обновления, но и своевременной диагностики уже установленного оборудования, что увеличивает нагрузку на персонал. В этих условиях вырастает риск невынужденных ошибок персонала и связанных с ними событий по неправильной или несвоевременной диагностике оборудования АСУТП, отвечающего за контроль процессов пожарной безопасности.

Принято считать, что наиболее эффективным средством контроля и работы по защите объектов от пожаров и взрывов в АСУТП является автома-

тизированная система пожаровзрывобезопасности (АСПВБ) [3]. Ее применение обеспечивает высокий уровень контроля технологического оборудования в ходе производственных процессов.

Целью статьи является построение математической модели оценки комплексной безопасности объектов ТЭК в АСУТП. Оценка выполняется в особых условиях проведения мероприятий по предупреждению пожаров, а именно проверки извещателей (датчиков). Решение поставленной задачи начинается с выбора функции оценки как зависимости извещателя от вектора целей управления объектом ТЭК. Введен интегральный показатель качества обеспечения надежности АСУТП как сумма соответствующих локальных показателей. При моделировании оценка надежности работы АСПВБ на объекте ТЭК осуществляется путем диагностики с использованием вектора целей планирования.

Методы исследования

Диагностические мероприятия по предупреждению пожаров на объектах ТЭК включают в себя следующие профилактические меры [4]:

- периодические проверки состояния пожарной безопасности объекта ТЭК в целом и его отдельных участков, а также обеспечение контроля за своевременным выполнением этих мероприятий;
- проведение пожарно-технических обследований объекта ТЭК представителями Государственного пожарного надзора с вручением предписаний; установление действенного контроля за выполнением выданных предписаний и приказов руководителя объекта ТЭК, изданных по ним;
- постоянный контроль над проведением пожароопасных работ, выполнением противопожарных требований на объекте ТЭК;
- проведение инструктажей и специальных занятий с рабочими и служащими объекта ТЭК по вопросам пожарной безопасности и других мероприятий по противопожарной пропаганде и агитации;
- проверку исправности и правильного содержания стационарных автоматических и первичных средств пожаротушения, противопожарного водоснабжения и систем извещения о пожарах;
- установку в цехах, мастерских, на складах и отдельных агрегатах систем пожарной автоматики.

При этом периодичность проверки готовности оборудования к пожарам на объекте ТЭК должна быть не реже 1 раза в квартал [5]. Планирование ресурсов для таких проверок осуществляется по заявкам обслуживающего персонала.

Ежемесячно ответственным персоналом объекта ТЭК должен также проводиться визуальный контроль давления в модуле газоанализатора (датчика)

по показаниям манометра модуля. Наблюдаемая отметка давления должна находиться в пределах затемненного поля для заданного значения температуры окружающей среды. Если она лежит ниже этой границы, модули датчика подлежат перезарядке. Результаты проверки фиксируют в специальном журнале.

Кроме того, 1 раз в 6 месяцев проводят:

- внешний осмотр и контроль составных частей установок (технологической части — трубопроводов, распылителей, рукавов, баллонов с огнетушащим веществом, манометров и распределительных устройств) на отсутствие механических повреждений, грязи, прочность крепления, наличие пломб;
- контроль рабочего положения основной и резервной запорной арматуры на составных частях установок.

Результаты проверки фиксируют в специальном журнале.

В состав ежегодных контрольных и планируемых мероприятий по предупреждению пожаров входят:

1) метрологическая поверка манометров. Для этого их извлекают из мест установки и отправляют в контрольно-измерительную лабораторию на поверку, после чего возвращают на место, предварительно проверив его;

2) метрологическая поверка манометров на всех объектах защиты (ОЗ), входящих в состав объекта ТЭК;

3) измерение сопротивления изоляции электрических цепей на противопожарном оборудовании и датчиках;

4) замена составных частей модулей датчиков, имеющих ограниченные сроки эксплуатации, если установлены факты несоответствия поступающей от них информации реальному состоянию среды.

Стоимость всех перечисленных работ в зависимости от размеров объекта ТЭК и объемов его помещений может меняться.

Теперь разберем подробнее ограничения особых условий и попробуем отразить это в критериях оценки диагностических мероприятий и мероприятий по повышению уровня комплексной (в том числе пожарной) безопасности. Согласно [6] износ изначально поставленного технологического оборудования на многих объектах ТЭК должен составлять не менее 80–100 % из-за большого срока эксплуатации. Некоторые узлы, устаревшие и физически, и морально, требуют либо замены, либо коренной модернизации. В этом смысле цифровые двойники не оставляют выбора руководителям объекта ТЭК [7]. Такие узлы меняют на импортное оборудование: датчики загазованности Draeger [8], отсечные клапаны Emerson, многокомпонентные анализаторы Modcon.

Кроме указанных узлов зарубежного производства, в настоящее время на объектах ТЭК применяются импортные системы контроля, диагностики и обеспечения пожарной безопасности [9, 10]. Во многом это обусловлено использованием в качестве АСУТП иностранных программных реализаций отдельных элементов технологического оборудования. Цифровые двойники, помимо ряда существенных преимуществ [11], имеют и недостатки [12]. Главный из них состоит в том, что их внедрение делает производственный процесс на объектах ТЭК фактически зависимым от иностранных технологий. Следовательно, применение к объектам ТЭК особых условий при использовании достижений “Индустрии 4.0” приведет к серьезным затруднениям в обеспечении как самого производственного процесса, так и комплексной безопасности объекта ТЭК.

Перечисленные противопожарные и профилактические мероприятия на объекте ТЭК призваны проиллюстрировать реальные цели плановых мероприятий по повышению надежности работы АСПВБ в АСУТП при диагностировании оборудования. Будем называть их стабилизирующими процедурами.

Рассмотрим с математической точки зрения модель обеспечения комплексной безопасности в АСУТП объектов ТЭК с учетом диагностики пожарных извещателей в особых условиях. Именно пожарные извещатели (датчики) могут быть наиболее чувствительным местом всей цепочки обеспечения безопасности [13, 14]. В связи с этим для определения зависимости их работы от стабилизирующих процедур (диагностики, проверок, ремонта, замены и т. п.) имеет смысл рассматривать функцию оценки отдельным выбранным датчиком состояния среды как его зависимость от вектора целей управления объектом ТЭК:

$$I_i = f_i(P), \quad (1)$$

где I_i — значение i -го извещателя с заданным порогом срабатывания;

P — вектор целей планирования (обеспечения достоверности информации) при управлении комплексной безопасностью объекта ТЭК; $P = \{P_1, P_2, \dots, P_K\}$.

Обстоятельства срабатывания датчиков зависят от стабилизирующих процедур и от времени их работы, поэтому формулу (1) следует переписать в виде

$$I_i = f_i(P_1(t_i^2), t_i^2, P_3(t_i^2)), \quad (2)$$

где t_i^2 — время работы датчиков;

$P_1(t_i^2)$ — цели планирования стабилизирующих процедур, продлевающих время работы датчиков; $P_3(t_i^2)$ — цели планирования стабилизирующих процедур, обеспечивающих их надежное срабатывание.

Оба направления работ персонала АСУТП подразумевают выполнение мероприятий, входящих в пересекающиеся, но несовпадающие множества. При их объединении в едином плановом задании по обеспечению надежности информации первого уровня в АСУТП [15] получаем:

$$I_i = f_i(P_i(t), t). \quad (3)$$

Так как функция $f_i(P_i(t), t)$ представляет собой кривую, для критерия оценки надежности работы первого уровня АСУТП в j -м кластере можно определить локальный показатель качества w_j^P для j -го кластера защиты:

$$w_j^P = \sum_{i=1}^{N_j} \int f_i(P_i(t), t) dt, \quad j \in \{1, 2, \dots, M\}, \quad (4)$$

где N_j — число мероприятий согласно планам достижения j -й цели;

M — число рассматриваемых кластеров, объединяющих датчики для заданного элемента (группы помещений, здания, сооружения) объекта ТЭК.

Интегральный показатель качества для объекта защиты ТЭК W_{O3}^P задается вектором

$$W_{O3}^P = \{w_1^P, w_2^P, \dots, w_M^P\}, \quad (5)$$

в котором w_i^P рассчитываются по формуле (4).

Формула (3) устанавливает функциональную зависимость работы датчика от целей плановых мероприятий. При этом сама функция целей имеет более сложный характер, чем указано в экспликации к (1).

Рассмотрим способ оценки надежности работы АСПВБ на объекте ТЭК путем диагностики с использованием вектора целей планирования:

$$P = \{V, F, R, W\}, \quad (6)$$

где V — общий потребный объем проводимых мероприятий, измеряемый в условных единицах (одно мероприятие — одна единица объема);

F — общее финансирование мероприятий в достижении целей, запланированных для повышения надежности АСПВБ;

R — общие запланированные для проведения мероприятий ресурсы, необходимые для гарантированного достижения поставленных целей повышения надежности АСПВБ;

W — общие затраты трудовых ресурсов в нормочасах, необходимые для гарантированного достижения запланированных целей повышения надежности АСПВБ.

Поскольку весь комплекс необходимых мероприятий комплексной безопасности на объекте ТЭК представляет собой многоуровневое дерево, во избежание загромождения модели оценки рассмотрим только их простую сумму [16]. Тогда общий потреб-

ный объем проводимых мероприятий, измеряемый в условных единицах, будет иметь вид:

$$V = \sum_{j=1}^K \sum_{i=1}^{N_j} m_i, \quad (7)$$

где K — число целей планирования (обеспечения достоверности информации) при управлении комплексной безопасностью на нефтеперерабатывающих производствах (НПП);

m_i — единичное мероприятие согласно планам достижения j -й цели;

$$m_i = \begin{cases} 0, & \text{не выполнено;} \\ 1, & \text{выполнено.} \end{cases} \quad (8)$$

Общее финансирование запланированных целей повышения надежности АСПВБ можно представить в виде

$$F = \sum_{j=1}^K \sum_{i=1}^{N_j} F_i, \quad (9)$$

где F_i — финансирование единичного мероприятия согласно планам для достижения j -й цели;

$$F_i = \begin{cases} 0, & \text{отсутствует;} \\ F_i, & \text{запланировано.} \end{cases} \quad (10)$$

Общие запланированные для проведения мероприятий ресурсы, необходимые для гарантированного достижения поставленных целей повышения надежности АСПВБ, представим в виде

$$R = \sum_{j=1}^K \sum_{i=1}^{N_j} R_i, \quad (11)$$

где R_i — ресурсы, выделенные для обеспечения выполнения единичного мероприятия согласно планам для достижения j -й цели;

$$R_i = \begin{cases} 0, & \text{отсутствуют;} \\ R_i, & \text{запланированы.} \end{cases} \quad (12)$$

Общие затраты трудовых ресурсов в нормочасах, необходимые для гарантированного достижения запланированных целей повышения надежности АСПВБ, можно определить как

$$W = \sum_{j=1}^K \sum_{i=1}^{N_j} W_i, \quad (13)$$

где W_i — нормочасы, предусмотренные для выполнения единичного мероприятия согласно планам для достижения j -й цели;

$$W_i = \begin{cases} 0, & \text{не предусмотрены;} \\ W_i, & \text{запланированы.} \end{cases} \quad (14)$$

В случае если мероприятия по обеспечению надежности АСУТП и ее диагностирование на первом уровне получения информации согласно целям пла-

нирования будут выражены в таком виде, то локальные показатели качества можно рассматривать в виде сумм (7), (9), (11) и (13). В этом случае интегральный показатель качества обеспечения надежности и иных задач АСУТП будет представлен в виде суммы соответствующих локальных показателей. В этом безразмерном контейнере данных будут учтены все необходимые для выполнения мероприятий показатели. Однако использовать его в качестве оценки можно только в теоретическом плане, так как финансирование и ресурсы будут давать львиную долю его значения.

Анализ результатов

Правильнее было бы рассматривать приведенные локальные показатели отдельно, поэтому для вывода об особых условиях эксплуатации оборудования и систем обеспечения объектов ТЭК, входящих в АСУТП, рассмотрим только ресурсный показатель качества.

Предположим, что на объекте ТЭК используется 40 % отечественных датчиков и 60 % датчиков зарубежного производства. Предположим также, что их эксплуатация требует соответствующего технического обслуживания (ТО), без которого они начинают работать некачественно (порог среды слишком сильно расходится с порогом срабатывания). При этом импортные датчики обслуживаются только иностранным производителем. В особых условиях, как было сказано выше, мероприятия по финансированию и любым иным действиям прекращаются. Следовательно, величина соответствующих R_i стремится к 0.

В этом случае коэффициент сокращения ресурсов r , доступных лицу, принимающему решения (ЛПР), для обеспечения безопасности в АСПВБ и надежности в АСУТП в особых условиях можно представить формулой

$$r = R_{oc} / R_{об}, \quad (15)$$

где R_{oc} , $R_{об}$ — локальные показатели качества по формуле (11) соответственно при особых и обычных условиях.

Для упрощения расчета будем полагать, что в состав используемых ресурсов входят датчики (газоанализаторы, пожарные извещатели), приборы их проверки и комплектующие, используемые в ремонте. Исходя из того, что и эти ресурсы имеют иностранное происхождение, будем считать, что все датчики, используемые в цифровых двойниках, импортные.

Тогда, предполагая, что запланированные ресурсы R_i отечественного производства не изменятся при переходе от обычных условий к особым, из (15) видим, что значение R_{oc} в числителе будет по ряду по-

зиций составлять только 40 % от значения $R_{об}$ в знаменателе. Из этого можно сделать однозначный вывод, что особые условия значительно снижают показатели надежности и качества информирования ЛПР в АСУТП на объекте ТЭК. Это снижение пропорционально количеству применяемых в соответствующих системах единиц оборудования импортного производства.

Отчасти это положение можно преодолеть планированием дополнительных финансовых и трудовых ресурсов. Тогда на дополнительные финансовые ресурсы может быть закуплено (или разработано) и установлено соответствующее оборудование, исходя из запланированных дополнительных трудовых ресурсов.

Такое положение с учетом общего времени проведения работ можно закрепить путем обоснованного стратегического планирования [17], агрегатной целью которого будет повышение надежности и живучести АСУТП в особых условиях. Следовательно, инструментарий стратегического планирования, включаемый в общий пакет возможностей поддержки управления ЛПР в качестве информационно-аналитической системы [18–20], будет способствовать достижению данной цели, а значит, и решению проблемы обеспечения комплексной безопасности в АСУТП (ее живучести и надежности)

на объектах ТЭК в особых условиях [21, 22]. Следует также отметить не рассмотренную в настоящей статье трудоемкую задачу определения объема мониторинга систем безопасности и противопожарной защиты. В работе [23] утверждается, что формирование объема мониторинга следует проводить с учетом экспертных оценок специалистов, вовлеченных в процесс работы данных систем. В предлагаемых методах стратегического планирования [17] рассмотрены способы анализа и сопряжения оценок экспертов для достижения поставленных целей. Такой инструмент будет полезен при возникновении необходимости расчета объема мониторинга требуемых систем.

Заключение

Таким образом, инструменты методологии стратегического планирования [18–20], включаемые в подсистемы АСПВБ в качестве алгоритмов поддержки управления, позволят повысить надежность работы АСУТП на объектах ТЭК и обеспечить качественное диагностирование оборудования первого звена информирования ЛПР. Методы поддержки управления в АСУТП с использованием аппарата стратегического планирования обеспечат необходимое качество информации ЛПР и уровень надежности АСУТП в особых условиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Dawoud S. M. Fire protection in the petroleum industry // SPE Annual Technical Conference and Exhibition (11–14 November, 2007, Anaheim, California, USA). DOI: 10.2118/110521-ms.
2. Смирнов А. В., Хабибулин Р. Ш., Тараканов Д. В. Применение многоагентного подхода для поддержки управления безопасностью в техносфере // Вестник Иркутского государственного технического университета. — 2018. — Т. 22, № 1(132). — С. 118–133. DOI: 10.21285/1814-3520-2018-1-118-133.
3. Абросимов А. А., Топольский Н. Г., Федоров А. В. Автоматизированные системы пожаровзрывобезопасности нефтеперерабатывающих производств. — М.: МИПБ МВД России, 1999. — 239 с.
4. РД 153-34.0-03.301-00 (ВППБ 01-02-95). Правила пожарной безопасности для энергетических предприятий. — М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2004. — 128 с.
5. О противопожарном режиме: постановление Правительства Российской Федерации от 25.04.2012 № 390 (ред. от 30.12.2017). URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_129263/ (дата обращения: 07.09.2018).
6. Проектирование НПЗ. URL: <http://neftegazproekt.com/proektirovanie-npz/> (дата обращения: 07.09.2018).
7. Prakash J. Digital twins define oil & gas 4.0. URL: <https://www.arcweb.com/blog/digital-twins-define-oil-gas-40> (дата обращения: 10.09.2018).
8. Alexandre M., Gerboles M. Review of small commercial sensors for indicative monitoring of ambient gas // Chemical Engineering Transactions. — 2012. — Vol. 30. — P. 169–174. DOI: 10.3303/CET1230029.
9. IRP 15: Snubbing Operations. An Industry Recommended Practice (IRP) for the Canadian oil and gas industry. — May 2015. — Vol. 15. — 167 p. URL: <http://www.enform.ca/resources/download-resource.cfm?resourceId=25&type=pdf> (дата обращения: 13.09.2018).
10. Construction Health and Safety Manual: Oil Refineries and Petrochemical Plants. URL: https://www.ihsa.ca/rft/health_safety_manual/pdfs/locations/Oil_Refineries.pdf (дата обращения: 13.09.2018).
11. Алыгин В. Б., Ишин Н. Н. Надежность технически сложных изделий в свете “Индустрии 4.0” // Актуальные вопросы машиноведения. — 2017. — Т. 6. — С. 43–54.

12. Ромашикова И. А., Лосаберидзе Т. Л. Реализация концепции “цифрового двойника” в российском производстве как этап перехода к четвертой промышленной революции // Постулат. — 2018. — № 5-1(31). — С. 139.
13. Самарин И. В. Модель оценки обеспечения комплексной безопасности на рассредоточенном объекте защиты в обычных условиях при помощи булевых извещателей в АСУП без учета координат для построения автоматизированной системы управления формированием плана мероприятий по защите объектов ТЭК // Естественные и технические науки. — 2018. — Вып. 8(122). — С. 180–186.
14. Bogue R. Sensors for fire detection // *Sensor Review*. — 2013. — Vol. 33, No. 2. — P. 99–103. DOI: 10.1108/02602281311299635.
15. Андреев Е. Б., Ключников А. И., Кротов А. В., Попадько В. Е., Шарова И. Я. Автоматизация технологических процессов добычи и подготовки нефти и газа : учебное пособие для вузов. — М. : Недра-Бизнесцентр, 2008. — 399 с.
16. Сухарев М. Г., Арсеньев-Образцов С. С., Жукова Т. М. Основы математического и компьютерного моделирования в задачах нефтегазового комплекса : учебное пособие для вузов. — М. : МАКС Пресс, 2010. — 120 с.
17. Alekhin E. M., Brushlinsky N. N., Sokolov S. V., Wagner P. Russian simulation for strategic planning // *Fire International*. — 1996. — No. 154. — P. 32–33.
18. Самарин И. В. Формализация задачи обоснования среднесрочного плана деятельности для построения автоматизированной системы управления стратегического планирования на предприятии // Инновации и инвестиции. — 2014. — № 4 — С. 177–183.
19. Самарин И. В. АСУ стратегического планирования на предприятии: уточнение методологических и инструментальных основ схемы планирования // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. — 2017. — № 2. — С. 31–44.
20. Самарин И. В. Стратегическое планирование: модифицированный метод парных сравнений для задач высокой размерности // Труды Российского государственного университета нефти и газа имени И. М. Губкина. — 2016. — № 1/282. — С. 121–134.
21. Beata P. A., Jeffers A. E., Kamat V. R. Real-time fire monitoring and visualization for the post-ignition fire state in a building // *Fire Technology*. — 2018. — Vol. 54, Issue 4. — P. 995–1027. DOI: 10.1007/s10694-018-0723-1.
22. Novak T., Gerstinger A. Safety- and security-critical services in building automation and control systems // *IEEE Transactions on Industrial Electronics*. — 2010. — Vol. 57, No. 11. — P. 3614–3621. DOI: 10.1109/tie.2009.2028364.
23. Steblev Yu. I., Susarev S. V., Bykov D. E. The principles of designing automated systems for diagnostic monitoring of the engineering structures of hazardous production objects // *Russian Journal of Nondestructive Testing*. — 2015. — Vol. 51, No. 4. — P. 185–197. DOI: 10.1134/s1061830915040063.

Материал поступил в редакцию 20 октября 2018 г.

Для цитирования: Топольский Н. Г., Самарин И. В., Строгонов А. Ю. Модель оценки обеспечения комплексной безопасности в АСУТП с применением диагностики пожарных извещателей для построения автоматизированной системы поддержки управления пожаровзрывобезопасностью // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2018. — Т. 27, № 11. — С. 15–22. DOI: 10.18322/PVB.2018.27.11.15-22.

English

MODEL OF EVALUATION OF COMPREHENSIVE SAFETY IN THE APCS WITH THE USE OF DIAGNOSTIC FIRE DETECTORS FOR THE CONSTRUCTION OF AUTOMATED SYSTEMS OF SUPPORT OF MANAGEMENT OF FIRE AND EXPLOSION SAFETY

N. G. TOPOLSKIY, Doctor of Technical Sciences, Professor, Honoured Science Worker of Russian Federation, Professor of Department of Information Technology, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail: ntopolskii@mail.ru)

I. V. SAMARIN, Candidate of Technical Sciences, Docent, Assistant Professor of Department of Automation of Technological Processes, Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University) (Leninskiy Avenue, 65, Bldg. 1, Moscow, 119991, Russian Federation; e-mail: ivs@gubkin.ru)

A. Yu. STROGOV, Postgraduate Student of Department of Automation of Technological Processes, Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University) (Leninskiy Avenue, 65, Bldg. 1, Moscow, 119991, Russian Federation)

ABSTRACT

Introduction. Beginning this paper considers the important measures determining the state of integrated security of facilities of the fuel and energy complex. It says about necessity regular equipment diagnostics of automated process control system (APCS). There is a serious risk of unforced human error. So it says about special automated systems of fire and explosion safety such as means of control of APCS. It is necessary to keep in mind that automated system of fire and explosion protection (ASFEP) is a part automated control system of technological process. The study aims to build a mathematical model of comprehensive safety of objects of fuel and energy complex in APCS. A special evaluation function was chosen. This function is the dependence of the detector on the vector of controlling purposes. The method of assessing the reliability of ASFEP is described using the vector of planning purposes.

Methodology. Diagnostic fire prevention events are described. Besides their specificities and frequency are mentioned. It was agreed that implementing of digital twin depend to foreign technologies significantly. This fact actually affects of a sustainability of manufacturing process at facilities of the fuel and energy complex. To study the integrated security in the APCS a mathematical model was built. A detector is an important object constructed model. The corresponding function is formed for connection of detectors operation with stabilizing procedures. The criteria for assessing the reliability of the equipment of the first level of APCS were determined. The local and integral quality indicators are presented. In addition the vector of planning purposes is considered for assessing the reliability of automated system of fire and explosion protection.

Results. It is important to analyze the local indicators separately. As an example the resource indicator of quality is described. This example leads to an important conclusion about special conditions of functioning of the equipment. The possibility of using the methodology of strategic planning as a part of information and analytical system for increase of reliability and survivability of APCS is shown.

Conclusion. The paper concludes that the tools of strategic planning as a subsystems of automated system of fire and explosion protection are able to provide the necessary diagnostics of the equipment of the first level of informing the decision-maker.

Keywords: automation; detectors; stabilizing procedures; digital twin; quality indicators; assessing the reliability; mathematical model; strategic planning.

REFERENCES

1. S. M. Dawoud. Fire protection in the petroleum industry. *SPE Annual Technical Conference and Exhibition (11–14 November, 2007, Anaheim, California, USA)*. DOI: 10.2118/110521-ms.
2. A. V. Smirnov, R. Sh. Habibulin, D. V. Tarakanov. Use of multi-agent approach for technosphere safety management support. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta / Proceedings of Irkutsk State Technical University*, 2018, vol. 22, no. 1, pp. 118–133 (in Russian). DOI: 10.21285/1814-3520-2018-1-118-133.
3. A. A. Abrosimov, N. G. Topolskiy, A. V. Fedorov. *Avtomatizirovannyye systemy pozharovzryvbezopasnosti neftepererabatyvayushchikh proizvodstv* [Computer-aided fire and explosion safety systems of petroleum refineries]. Moscow, State Fire Academy of the Ministry of Internal Affairs of Russia Publ., 1999. 239 p. (in Russian).
4. RD 153-34.0-03.301-00 (VPPB 01-02-95). *Fire safety regulations for energy companies*. Moscow, NTs ENAS Publ., 2004. 128 p. (in Russian).
5. *About fire prevention standard*. Russian Federation Government Resolution on 25 April 2012 No. 390 (ed. 30 December 2017) (in Russian). Available at: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_129263/ (Accessed 7 September 2018).

6. *The design of refinery* (in Russian). Available at: <http://neftegazproekt.com/proektirovanie-npz/> (Accessed 7 September 2018).
7. J. Prakash. *Digital twins define oil & gas 4.0*. Available at: <https://www.arcweb.com/blog/digital-twins-define-oil-gas-40> (Accessed 10 September 2018).
8. M. Aleixandre, M. Gerboles. Review of small commercial sensors for indicative monitoring of ambient gas. *Chemical Engineering Transactions*, 2012, vol. 30, pp. 169–174. DOI: 10.3303/CET1230029.
9. *IRP 15: Snubbing Operations. An Industry Recommended Practice (IRP) for the Canadian oil and gas industry*. May 2015, vol. 15. 167 p. Available at: <http://www.enform.ca/resources/download-resource.cfm?resourceId=25&type=pdf> (Accessed 13 September 2018).
10. *Construction Health and Safety Manual: Oil Refineries and Petrochemical Plants*. Available at: https://www.ihsa.ca/rtf/health_safety_manual/pdfs/locations/Oil_Refineries.pdf (Accessed 13 September 2018).
11. V. B. Algin, N. N. Ishin. Reliability of technically complicated items in terms of “Industry 4.0”. *Aktualnyye voprosy mashinovedeniya. Topical Issues of Mechanical Engineering*, 2017, vol. 6, pp. 43–54 (in Russian).
12. I. A. Romashkova, T. L. Losaberidze. The implementation of the concept “digital twin” in the Russian production as the transition to the fourth industrial revolution. *Postulat / Postulate*, 2018, no. 5-1(31), p. 139 (in Russian).
13. I. V. Samarin. The model of assessment of integrated complex safety in dispersed OS under normal conditions using Boolean detectors in a process control system without given coordinates for building of automated control system of formation of the plan of measures for the protection of facilities of the fuel and energy complex. *Estestvennyye i tekhnicheskiye nauki / Natural and Technical Sciences*, 2018, no. 8(122), pp. 180–186 (in Russian).
14. R. Bogue. Sensors for fire detection. *Sensor Review*, 2013, vol. 33, no. 2, pp. 99–103. DOI: 10.1108/02602281311299635.
15. E. B. Andreev, A. I. Klyuchnikov, A. V. Krotov, V. E. Popadko, I. Ya. Sharova. *Avtomatizatsiya tekhnologicheskikh protsessov dobychi i podgotovki nefti i gaza* [Automation of technological processes of oil and gas production and treatment]. Moscow, Nedra-Biznestsentr Publ., 2008. 399 p. (in Russian).
16. M. G. Sukharev, S. S. Arsenev-Obraztsov, T. M. Zhukova. *Osnovy matematicheskogo i kompyuternogo modelirovaniya v zadachakh neftegazovogo kompleksa* [Fundamentals of mathematical and computer modeling in the problems of oil and gas complex]. Moscow, MAKSPress Publ., 2010. 120 p. (in Russian).
17. E. M. Alekhin, N. N. Brushlinsky, S. V. Sokolov, P. Wagner. Russian simulation for strategic planning. *Fire International*, 1996, no. 154, pp. 32–33.
18. I. V. Samarin. Formalization of the problem of the justification of the medium-term action plan to build the automated control system of strategic planning at the enterprise. *Innovatsii i investitsii / Innovation and Investment*, 2014, no. 4, pp. 177–183 (in Russian).
19. I. V. Samarin. ACS strategic planning at the enterprise: refinement of methodological and instrumental basics of planning schemes. *Sovremennaya nauka: aktualnyye problemy teorii i praktiki. Seriya: Estestvennyye i tekhnicheskiye nauki / Modern Science: Actual Problems of Theory and Practice. Series: Natural and Technical Science*, 2017, no. 2, pp. 31–44 (in Russian).
20. I. V. Samarin. Strategic planning: modified method of pair comparisons for problems of high dimension. *Trudy Rossiyskogo gosudarstvennogo universiteta nefti i gaza imeni I. M. Gubkina / Proceedings of Gubkin Russian State University of Oil and Gas*, 2016, no. 1/282, pp. 121–134 (in Russian).
21. P. A. Beata, A. E. Jeffers, V. R. Kamat. Real-time fire monitoring and visualization for the post-ignition fire state in a building. *Fire Technology*, 2018, vol. 54, issue 4, pp. 995–1027. DOI: 10.1007/s10694-018-0723-1.
22. T. Novak, A. Gerstinger. Safety- and security-critical services in building automation and control systems. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 2010, vol. 57, no. 11, pp. 3614–3621. DOI: 10.1109/tie.2009.2028364.
23. Yu. I. Steblev, S. V. Susarev, D. E. Bykov. The principles of designing automated systems for diagnostic monitoring of the engineering structures of hazardous production objects. *Russian Journal of Nondestructive Testing*, 2015, vol. 51, no. 4, pp. 185–197. DOI: 10.1134/s1061830915040063.

For citation: Topolskiy N. G., Samarin I. V., Strogonov A. Yu. Model of evaluation of comprehensive safety in the APCS with the use of diagnostic fire detectors for the construction of automated systems of support of management of fire and explosion safety. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2018, vol. 27, no. 11, pp. 15–22 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2018.27.11.15-22.

А. Б. КУСАИНОВ, магистр естеств. наук, начальник кафедры защиты в чрезвычайных ситуациях Кокшетауского технического института Комитета по чрезвычайным ситуациям МВД Республики Казахстан (Республика Казахстан, 020000, Акмолинская обл., г. Кокшетау, ул. Акана-серы, 136; e-mail: arman_1703@mail.ru)

УДК 614.8

АЛГОРИТМ ОРГПРОЕКТИРОВАНИЯ ГАРНИЗОНА ПРОТИВОПОЖАРНОЙ СЛУЖБЫ ГОРОДА

Рассмотрены нормативно-правовые акты Республики Казахстан в области проектирования противопожарных подразделений. С помощью теории моделирования противопожарных подразделений и существующих алгоритмов проектирования подразделений разработан алгоритм определения необходимого числа пожарных автомобилей, противопожарных депо и численности личного состава. Проведено моделирование необходимого числа противопожарных подразделений. Установлено, что при размещении их в соответствии с существующими требованиями нормативно-правовых актов Республики Казахстан потребуется слишком большое количество пожарных депо. Предложено наиболее рациональное среднее время следования к месту вызова противопожарных подразделений в городах Республики Казахстан, которое составляет 7 мин.

Ключевые слова: противопожарные подразделения; алгоритм проектирования; число пожарных автомобилей; численность личного состава; среднее время следования.

DOI: 10.18322/PVB.2018.27.11.23-29

Введение

В настоящее время согласно данным, опубликованным на официальном интернет-ресурсе Комитета по чрезвычайным ситуациям МВД Республики Казахстан, противопожарную защиту населения и территории Республики Казахстан осуществляют 423 противопожарных подразделения государственной противопожарной службы.

Противопожарные подразделения Республики Казахстан спроектированы по советским нормам, принятым в далеком 1930 г. [1]. Согласно им [1] радиус зоны обслуживания пожарным депо был принят 3 км. В 50-х годах XX в. к нормативу был добавлен еще один показатель — число пожарных автомобилей, которое определялось из расчета один пожарный автомобиль (ПА) на 5 тыс. чел., проживающих в населенном пункте [2].

Данные нормы в качестве единственных параметров для обоснования числа противопожарных подразделений действовали вплоть до 2009 г. В этом же году Техническим регламентом “Общие требования к пожарной безопасности” Республики Казахстан были включены временные параметры прибытия к месту вызова первых противопожарных подразделений: 10 мин — для города и 20 мин — для сельской местности [2]. Данные временные параметры являются аналогами зарубежных норм [3].

Используемые в настоящее время нормативно-правовые акты Республики Казахстан в области про-

ектирования противопожарных подразделений не позволяют обеспечить соответствующую пожарную безопасность в городах [4].

Цель и задача исследования — разработка алгоритма организационного проектирования гарнизона противопожарной службы города [5].

Методология

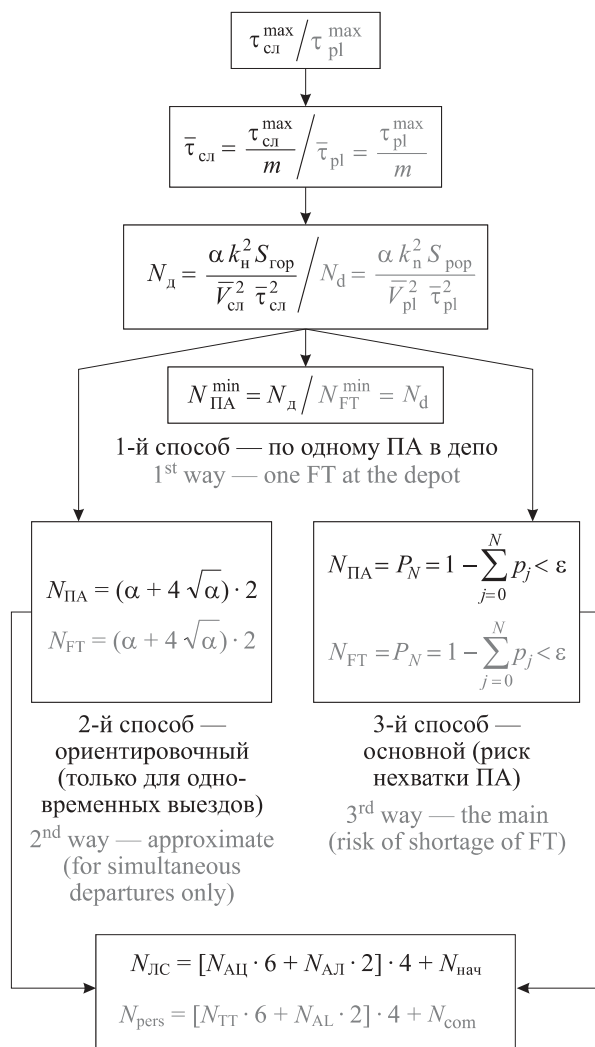
До настоящего времени в Республике Казахстан не проводились исследования по разработке научно обоснованных ресурсов противопожарных служб городов и населенных пунктов.

Применение положений теории моделирования противопожарных служб [6, 7], систематизации существующих алгоритмов проектирования подразделений [1, 8–12] позволили автору разработать алгоритм определения необходимого числа пожарных автомобилей, противопожарных служб (депо) и численности личного состава (ЛС) (см. рисунок).

Приведенный на рисунке алгоритм целесообразно реализовывать поэтапно.

Первый этап. Определение среднего времени следования $\bar{\tau}_{сл}$ (мин) пожарно-спасательных служб к месту вызова [13].

Второй этап. Определение требуемого для города числа пожарных депо с учетом среднего времени следования $\bar{\tau}_{сл}$, средней скорости следования $\bar{V}_{сл}^2 = 25 \div 36$ (км/ч), площади населенного пункта $S_{гор}$ (км²), безразмерного коэффициента непрямо-



линейности уличной сети k_n , изменяющегося в зависимости от сети города от 1 до $\sqrt{2} \approx 1,4$, и безразмерного эмпирического коэффициента α , учитывающего особенности каждого населенного пункта (чаще всего $\alpha = 0,3 \div 0,5$) [12].

Третий этап. Определение необходимого числа ПА тремя способами:

- 1) из расчета по одному ПА на депо;
- 2) ориентировочный, учитывающий одновременную занятость ПА, рассчитанную по приведенной интенсивности потока вызовов a (Эрл): $a = \lambda \tau_{\text{ср.обсл}}$ (где λ — среднее число вызовов в единицу времени; $\tau_{\text{ср.обсл}}$ — среднее время обслуживания вызовов);
- 3) основной, учитывающий риск нехватки ПА.

Четвертый этап. Определение необходимой численности личного состава $N_{\text{ЛС}}$ из расчета 6 чел. личного состава на 1 ПА, 2 чел. личного состава на 1 АЛ, умноженные на количество дежурных смен (в нашем случае на 4), и плюс 3 чел. начальствующего состава (начальника подразделения и двух заместителей).

Алгоритм определения необходимого числа пожарных автомобилей, пожарно-спасательных подразделений и численности личного состава: $\tau_{\text{сл}}$ — среднее время следования к месту вызова пожарно-спасательных служб, мин; $N_{\text{д}}$ — количество пожарных депо; $V_{\text{сл}}^2$ — средняя скорость следования, км/ч; $S_{\text{гор}}$ — площадь населенного пункта, км²; k_n — безразмерный коэффициент непрямолинейности уличной сети; α — безразмерный эмпирический коэффициент, учитывающий особенности каждого населенного пункта; $N_{\text{ПА}}$ — количество пожарных автомобилей; m — число выездов пожарных автомобилей; P_N — вероятность того, что в городе одновременно может быть занято более N отделений пожарно-спасательных служб; p_j — число одновременно занятых j отделений пожарно-спасательных служб; ε — критическое значение вероятности отказа; $N_{\text{ЛС}}$ — численность личного состава; $N_{\text{АЦ}}$ — количество автоцистерн в подразделении; $N_{\text{АЛ}}$ — количество автолестниц; $N_{\text{нач}}$ — численность начальствующего состава подразделения

Algorithm for determining the required number of fire trucks, fire and rescue units and the number of personnel: $\tau_{\text{пл}}$ — average time to the place of call of fire and rescue services, min; $N_{\text{д}}$ — number of depots; $V_{\text{пл}}^2$ — average speed, km/h; $S_{\text{пор}}$ — population area, km²; k_n — dimensionless coefficient of non-straightness of the street network; α — dimensionless empirical coefficient taking into account the characteristics of each locality; $N_{\text{ФТ}}$ — number of fire trucks, units; m — number of departures of fire trucks; P_N — probability that more than N fire and rescue departments may be occupied at the same time in the city; p_j — number of simultaneously occupied j offices of fire and rescue services; ε — critical value of the probability of failure; $N_{\text{перс}}$ — manpower; $N_{\text{ТТ}}$ — number of tank trucks in the division; $N_{\text{АЛ}}$ — number of ladders; $N_{\text{ком}}$ — number of commanders of the unit

Результаты и их обсуждение

В соответствии с указанным алгоритмом определения необходимого числа ПА, противопожарных служб и численности ЛС выполним проектирование гарнизона города К.

Площадь территории города составляет 81 км², т. е. $S_{\text{общ}} = S_{\text{застр}} = 81$ км²; коэффициент непрямолинейности примем $k_n = 1,3$.

Среднее время следования противопожарных подразделений города К к месту вызова составляет $\tau_{\text{сл}} = 7,2$ мин, скорость следования $V_{\text{сл}}^2 = 28$ км/ч, $\alpha = 0,4$.

Для первого способа ($N_{\text{ПА}}^{\text{min}} = N_{\text{д}}$) число пожарных депо $N_{\text{д}}$, требуемых городу К, вычислим по формуле (1), разработанной профессором Н. Н. Брушлинским [1]:

$$N_{\text{д}} = \alpha k_n^2 S_{\text{гор}} / (\bar{V}_{\text{сл}}^2 \bar{\tau}_{\text{сл}}^2). \quad (1)$$

Подставив в (1) ранее полученные значения, получаем $N_{\text{д}} = \frac{0,4 \cdot 1,69 \cdot 81}{0,22 \cdot 49,0} = 5$ депо.

Таким образом, при расчете по первому способу городу необходимо 5 депо и соответственно 5 ПА. При расчете по второму способу городу потребуется число ПА, рассчитанное по формуле

$$N_{ПА} = (\alpha + 4\sqrt{\alpha})2 = (0,12 + 4\sqrt{4})2 = 3 \text{ ПА.}$$

В оперативной деятельности противопожарных подразделений может возникать ситуация $\{>N\}$, в которой обслуживанием вызовов одновременно занято число ПА, превышающее их исходное количество.

Вероятность $p\{>N\}$ того, что в произвольный момент времени заданного числа ПА N недостаточно для обслуживания вызовов на исследуемой территории, вычисляется по формуле [1]:

$$p\{>N\} = 1 - p\{\leq N\} = 1 - \sum_{k=0}^N p\{k\} \quad (2)$$

$$(N = 0, 1, 2, 3, \dots),$$

где $p\{k\}$ — вероятность того, что одновременно заняты k пожарных автомобилей.

Ожидаемая за период времени наблюдения $T_{набл}$ суммарная продолжительность $T\{>N\}$ одновременной занятости обслуживанием вызовов в охраняемом районе числа ПА, превышающего заданное значение N (т. е. с привлечением дополнительных ПА), оценивается по формуле [1]:

$$T\{>N\} = T_{набл} p\{>N\} = T_{набл} - \sum_{k=0}^N T\{k\} \quad (3)$$

$$(N = 0, 1, 2, 3, \dots).$$

Частота возникновения отказов (как полных, так и частичных) $f_{отк}(N)$ в обслуживании вызовов в охраняемом районе при заданном числе ПА N вычисляется по формуле [1]:

$$f_{отк}(N) = \lambda - \sum_{k=1}^N f\{k\} = f_{отк}(N-1) - f\{N\} \quad (4)$$

$$(N = 0, 1, 2, 3, \dots).$$

Частота возникновения полных отказов $f_{по}(N)$ в обслуживании вызовов в охраняемом районе при заданном числе ПА N определяется по формуле [1]:

$$f_{по}(N) = \lambda p\{>N-1\} = \lambda \left(1 - \sum_{k=0}^{N-1} p\{k\} \right) \quad (5)$$

$$(N = 1, 2, 3, \dots).$$

Частота возникновения частичных отказов $f_{чо}(N)$ в обслуживании вызовов в охраняемом районе при заданном числе ПА N вычисляется по формуле [1]:

$$f_{чо}(N) = f_{отк}(N) - f_{по}(N) \quad (N = 0, 1, 2, 3, \dots). \quad (6)$$

Результаты расчетов для обоснования требуемого количества ПА противопожарной службы города К представлены в табл. 1. За период $T_{набл}$ взяты 1,5 мес. (январь – февраль), т. е. 1085 ч.

Таблица 1. Расчетные значения критериев для обоснования числа оперативных отделений противопожарной службы города К

Table 1. Estimated values of criteria to justify the number of operational departments of the K city fire department

Число ПА N Number of FT N	Вероятность возникновения нехватки ПА $p\{>N\}$ Likelihood of a shortage of FT $p\{>N\}$	Суммарная длительность $T\{>N\}$, ч Total duration of time $T\{>N\}$, hr	Частота отказов, случаев The failure rate, cases		
			$f_{отк}(N)$ $f_{fail}(N)$	$f_{по}(N)$ $f_{full fail}(N)$	$f_{чо}(N)$ $f_{part fail}(N)$
0	0,0677	593,05	696	696	0
1	0,0355	310,98	355,7	47,12	308,58
2	0,0169	148,04	183,9	12,63	171,27
3	0,0032	28,03	44,3	3,11	41,19
4	0,0004	3,50	10,4	0,14	10,26
5	0,0001	0,88	3,1	0,00	3,10
6	0,0000	0,00	0,6	0,00	0,60
7	0,0000	0,00	0,0	0,00	0,00
8	0,0000	0,00	0,0	0,00	0,00
9	0,0000	0,00	0,0	0,00	0,00

Из табл. 1 видно, что для противопожарной защиты города К при одновременном обслуживании вызовов достаточно 5 отделений на основных ПА. При этом суммарная продолжительность занятости дополнительных отделений обслуживанием вызовов в городе за рассматриваемый период составит около 0,88 ч, а за год — 8 ч. Это значит, что в боевом расчете город должен иметь не менее 6 ПА (плюс некоторый резерв).

По результатам расчетов установлено, что значения всех критериев монотонно убывают с увеличением числа оперативных отделений в городе (что соответствует повышению уровня его противопожарной защиты), поэтому из экономических соображений разумно ограничиться таким числом N отделений, которое обеспечивает достаточно малые значения рассматриваемых критериев [14, 15].

Требуемую численность личного состава $N_{ЛС}$ рассчитаем по формуле [2]:

$$N_{ЛС} = [N_{АЦ} \cdot 6 + N_{АЛ} \cdot 2] \cdot 4 + N_{нач}, \quad (7)$$

где $N_{АЦ}$ — количество автоцистерн в подразделении;
6 — боевой расчет одного ПА;
 $N_{АЛ}$ — количество автолестниц;
2 — боевой расчет одной АЛ;
4 — количество дежурных смен;
 $N_{нач}$ — численность начальствующего состава подразделения.

Анализ деятельности противопожарной службы города К показал, что для одновременного и без-

Таблица 2. Необходимое количество пожарных депо с учетом среднего времени следования**Table 2.** The required number of depots, taking into account the average travel time

Показатель Parameter	Значение показателя при средней скорости движения в городе, км/ч Characteristic value at average speed, km/hr																	
	30									28								
	При площади застройки, км ² / Built-up area of the city, km ²																	
	5	10	15	20	35	40	50	70	90	100	150	200	300	400	500	600	700	750
	Среднее время следования 7 мин / Average time 7 min																	
Число депо / Depot number	1	1	1	1	2	2	3	4	5	6	8	11	16	22	25	32	38	40
Площадь зоны обслуживания одним депо, км ² / Service zone area by one depot, km ²	5	10	15	20	17	20	17	17	18	17	19	18	19	18	20	19	18	19
Радиус зоны обслуживания одним депо, км / Service zone radius by one depot, km	1,4	1,9	2,4	2,8	2,6	2,8	2,6	2,6	2,6	2,6	2,7	2,6	2,7	2,6	2,8	2,7	2,6	2,7
	Среднее время следования 3 мин / Average time 3 min																	
Число депо / Depot number	1	3	5	7	12	14	17	24	30	34	51	68	102	136	170	205	239	256
Площадь зоны обслуживания одним депо, км ² / Service zone area by one depot, km ²	5,0	3,3	3,0	2,8	2,9	2,8	2,9	2,9	3,0	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9
Радиус зоны обслуживания одним депо, км / Service zone radius by one depot, km	1,4	1,1	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

отказного обслуживания вызовов достаточно 9 отделений на основных ПА [15].

При среднем времени следования 7 мин в городе должно быть 5 депо с численностью ЛС:

$$N_{\text{ЛС}} = [9 \cdot 6 + 2 \cdot 2] \cdot 4 + 6 \cdot 3 = 250 \text{ чел.}$$

Таким образом, получаем, что для обеспечения функционирования 5 противопожарных депо с 9 АЦ и 2 АЛ необходимо 250 чел. ЛС.

Кроме того, проведено моделирование необходимого числа пожарных депо с учетом среднего времени следования к месту вызова 3 и 7 мин, а также площади и радиуса зоны обслуживания [16]. Результаты моделирования представлены в табл. 2.

Из табл. 2 видно, что при размещении пожарных депо в соответствии с требованиями нормативно-правовых актов Республики Казахстан (т. е. максимальное время следования к месту вызова должно составлять 10 мин при среднем значении 3 мин) количество депо, необходимое для обеспечения противопожарной защиты всех населенных пунктов, будет недостаточно велико [17].

При среднем времени следования к месту вызова 3 мин в городах республики необходимо слишком большое число пожарных депо, причем на одно депо будет приходиться всего от 3 до 10 выездов в год. Содержание такого количества противопожарных подразделений экономически нецелесообразно [18].

Таким образом, наиболее рациональным значением среднего времени следования к месту вызова для города должно быть 7 мин, а для сельского населенного пункта — в среднем 14 мин. При этом максимальное время следования к месту вызова составит для города 18 мин (очень редко), а для сельской местности — 28 мин [19].

Выводы

В целях повышения эффективности системы обеспечения противопожарной безопасности городов и населенных пунктов Республики Казахстан на основании результатов исследований, проведенных в настоящей работе, разработаны научно обоснованные данные по определению необходимого числа противопожарных подразделений.

Основу для разработки нормативов составляют выводы по итогам анализа существующих нормативно-правовых актов и реальной деятельности пожарно-спасательных подразделений городов.

По результатам исследований обосновано наиболее рациональное значение среднего времени следования к месту вызова в городах, которое составляет 7 мин [20]. При внедрении обоснованного времени следования к месту вызова противопожарных подразделений [21] будет устранено существующее противоречие в нормативно-правовых актах и значительно повышен уровень пожарной безопасности [22] городов и населенных пунктов Республики Казахстан.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Брушлинский Н. Н., Соколов С. В.* Математические методы и модели управления в государственной противопожарной службе : учебник. — М. : Академия ГПС МЧС России, 2011. — 173 с.
2. *Брушлинский Н. Н., Соколов С. В., Алехин Е. М., Коломиец Ю. И.* Научно-практические основы организации территориальных подразделений противопожарной службы в России (общие вопросы). — М. : Академия ГПС МЧС России, 2007. — 58 с.
3. *Brushlinsky N. N., Hall J. R., Sokolov S. V., Wagner P.* World Fire Statistics / Center of Fire Statistics of CTIF. — 2010. — Report No. 15. — 57 p. URL: https://ctif.org/sites/default/files/ctif_report15_world_fire_statistics_2010.pdf (дата обращения: 05.10.2018).
4. *Токушев Ж. Е., Раимбеков К. Ж., Кусаинов А. Б.* Управление рисками чрезвычайных ситуаций : учебно-методическое пособие. — Кокшетау : Проектно-аналитический инновационный центр Многопрофильного колледжа гражданской защиты, 2016. — 282 с.
5. A good practice manual for fire protection in world heritage cities / HERITPROT Project. — Tenerife : INTERREG IVC, 2014.
6. *Carter G. M.* Simulation model of fire department operation: program description. — New York : Rand Corporation, 1974. — 214 p.
7. *Subhajit Das, Andrea McCarter, Joe Minieri, Nandita Damaraju, Sriram Padmanabhan, Duen Horng (Polo) Chau.* ISPARK: Interactive visual analytics for fire incidents and station placement // KDD 2015. Workshop on Interactive Data Exploration and Analytics (IDEA'15) (August 10, 2015, Sydney, Australia). URL: <http://poloclub.gatech.edu/idea2015/papers/p29-das.pdf> (дата обращения: 10.10.2018).
8. *Brushlinsky N. N., Sokolov S. V., Wagner P.* Humanity and fires. — Leipzig : German Fire Protection Association, 2010. 353 p.
9. *Брушлинский Н. Н.* Системный анализ деятельности Государственной противопожарной службы : учебник. — М. : МИПБ МВД России, 1998. — 255 с.
10. *Брушлинский Н. Н., Соколов С. В., Алехин Е. М., Вагнер П., Коломиец Ю. И.* Безопасность городов. Имитационное моделирование городских процессов и систем. — М. : ФАЗИС, 2004. — 172 с.
11. *Брушлинский Н. Н., Соколов С. В., Григорьева М. П.* Организация пожарно-спасательных служб в городах мира // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. — 2017. — № 1. — С. 49–55.
12. *Глуховенко Ю. М.* Методология проектирования организационной структуры Государственной противопожарной службы. — М. : АРС, 2001. — 162 с.
13. *Брушлинский Н. Н., Костюченко Д. А., Лупанов С. А., Соколов С. В.* Фактор времени // Пожарное дело. — 2012. — № 4. — С. 26–29.
14. *Savas E. S.* Simulations and cost-effectiveness analysis of New York's Emergency Ambulance Service // Management Science. — 1969. — Vol. 15, No. 12. — P. B-608–B-627. DOI: 10.1287/mnsc.15.12.b608.
15. *Климкин В. И.* Совершенствование организации и управления оперативной деятельностью пожарных подразделений города Москвы на основе применения технологий имитационного моделирования : дис. ... канд. техн. наук. — М., 2005. — 141 с.
16. *Брушлинский Н. Н., Соколов С. В.* О нормировании времени прибытия пожарных подразделений к месту пожара // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2011. — Т. 20, № 9. — С. 42–48.
17. *Sardquist S.* An engineering approach to fire-fighting tactic // Department of Fire Safety Engineering, Report 1014. — Lund : Lund Institute of Technology, 2010. — 83 p.
18. *Брушлинский Н. Н., Соколов С. В., Алехин Е. М., Коломиец Ю. И., Вагнер П.* Опыт применения компьютерных имитационных систем моделирования деятельности экстренных служб // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. — 2009. — № 1. — С. 11–22.
19. *Кусаинов А. Б.* Обоснование необходимости внесения изменений и дополнений в некоторые нормативные правовые акты в области проектирования объектов органов противопожарной службы // Актуальные проблемы и инновации в обеспечении безопасности : материалы Дней науки с международным участием, посвященных году гражданской обороны. — В 2 ч. — Екатеринбург : Уральский институт ГПС МЧС России, 2018. — Ч. 1. — С. 85–89.
20. *Herweg H., Wagner P.* Schnell wie die Feuerwehr // VFDB. — November 2013. — Heft 4. — S. 194–204 (in German).
21. World fire statistics. Fire risks in the World. — Moscow–Berlin : Center of Fire Statistics of CTIF, 2008. — 548 p.

22. Brushlinsky N. N., Hall J. R., Sokolov S. V., Wagner P. World fire statistics / Center of Fire Statistics of CTIF. — 2005. — Report No. 10. — 2nd ed. — 200 p. URL: https://ctif.org/sites/default/files/ctif_report10_world_fire_statistics_2005_0.pdf (дата обращения: 05.10.2018).

Материал поступил в редакцию 12 октября 2018 г.

Для цитирования: Кусаинов А. Б. Алгоритм оргпроектирования гарнизона противопожарной службы города // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2018. — Т. 27, № 11. — С. 23–29. DOI: 10.18322/PVB.2018.27.11.23-29.

English

ALGORITHM FOR THE ORGANIZATION OF THE GARNIZON OF THE FIRE FIGHTING SERVICE OF THE CITY

A. B. KUSSAINOV, Master of Natural Sciences, Head of Department for Emergency Protection of Kokshetau Technical Institute of Committee for Emergency Situations of Ministry of Internal Affairs of Republic of Kazakhstan (Akana-Sery St., 136, Akmol Region, 020000, Republic of Kazakhstan; e-mail: arman_1703@mail.ru)

ABSTRACT

Purpose. The purpose and objective of the study is to develop an algorithm for the organizational design of the garrison of the city fire department.

Methods. The methodological basis of the study is the existing theory of modeling fire services. So far, in the Republic of Kazakhstan, there have been no studies on the development of scientifically based standards for the design of fire fighting units.

Results. According to the above algorithm for determining the required number of fire trucks, fire depots and personnel, it was established that with an average time to the place of a call in 3 minutes, a large number of fire departments will be required to ensure the fire safety of the city. At the same time, on average, one unit will have from 3 to 10 visits per year, which is not economically feasible.

The optimal travel time to the place of call in cities should be on average 7 minutes, and 14 minutes for a settlement. The maximum travel time to the call site will be 18 minutes in cities and rural areas 28 minutes, which will be economically viable.

Scope of scientific results. The obtained results can be used in the development of regulatory acts in the field of design of fire fighting units of cities and settlements, as well as local executive bodies and authorized bodies in the field of fire safety in the development of appropriate management decisions on the design of fire services.

Conclusion. The analysis of regulatory legal acts of the Republic of Kazakhstan in the field of design of fire-fighting units showed that these norms are borrowed in the boundary camps and do not have scientific justification.

In order to improve the fire safety of cities and towns of the Republic of Kazakhstan, taking into account the socio-economic characteristics of the country, the most optimal time to the call site in cities is determined, which is 7 minutes.

Keywords: fire departments; design algorithm; number of fire trucks; number of personnel; average time to the place of call.

REFERENCES

1. N. N. Brushlinskiy, S. V. Sokolov. *Matematicheskiye metody i modeli upravleniya v gosudarstvennoy protivopozharnoy sluzhbe* [Mathematical methods and management models in the state fire service]. Moscow, State Fire Service Academy of Emercom of Russia Publ., 2011. 173 p. (in Russian).
2. N. N. Brushlinskiy, S. V. Sokolov, E. M. Alekhin, Yu. I. Kolomiets. *Nauchno-prakticheskiye osnovy organizatsii territorialnykh podrazdeleniy protivopozharnoy sluzhby v Rossii (obshchiye voprosy)* [Scientific and practical bases of the organization of territorial divisions of the fire service in Russia (general issues)]. Moscow, State Fire Service Academy of Emercom of Russia Publ., 2007. 58 p. (in Russian).

3. N. N. Brushlinsky, J. R. Hall, S. V. Sokolov, P. Wagner. *World Fire Statistics*. Center of Fire Statistics of CTIF, 2010, Report No. 15. 57 p. Available at: https://ctif.org/sites/default/files/ctif_report15_world_fire_statistics_2010.pdf (Accessed 5 October 2018).
4. Zh. E. Tokushev, K. Zh. Raimbekov, A. B. Kussainov. *Upravleniye riskami chrezvychaynykh situatsiy* [Management of emergency situation risks]. Kokshetau, Design and Analytical Innovation Center of the Multidisciplinary Civil Protection College Publ., 2016. 282 p. (in Russian).
5. *A good practice manual for fire protection in world heritage cities*. HERITPROT Project. Tenerife, INTERREG IVC, 2014.
6. G. M. Carter. *Simulation model of fire department operation: program description*. New York, Rand Corporation, 1974. 214 p.
7. Subhagit Das, Andrea McCarter, Joe Minieri, Nandita Damaraju, Sriram Padmanabhan, Duen Horng (Polo) Chau. ISPAK: Interactive visual analytics for fire incidents and station placement. In: *KDD 2015. Workshop on Interactive Data Exploration and Analytics (IDEA'15) (August 10, 2015, Sydney, Australia)*. Available at: <http://poloclub.gatech.edu/idea2015/papers/p29-das.pdf> (Accessed 10 October 2018).
8. N. N. Brushlinskiy, S. V. Sokolov, P. Wagner. *Humanity and fires*. Leipzig, German Fire Protection Association, 2010. 353 p.
9. N. N. Brushlinskiy. *Sistemnyy analiz deyatelnosti Gosudarstvennoy protivopozharnoy sluzhby* [System analysis of the activities of State Fire Service]. Moscow, Moscow Institute of Fire Safety of Ministry of the Interior of Russia Publ., 1998. 255 p. (in Russian).
10. N. N. Brushlinskiy, S. V. Sokolov, E. M. Alekhin, P. Wagner, Yu. I. Kolomiets. *Bezopasnost gorodov. Imitatsionnoye modelirovaniye gorodskikh protsessov i sistem* [City safety. Simulation modeling of urban processes and systems]. Moscow, FAZIS Publ., 2004. 172 p. (in Russian).
11. N. N. Brushlinsky, S. V. Sokolov, M. P. Grigorieva. The organization of fire and rescue services in cities around the world. *Pozhary i chrezvychaynyye situatsii: predotvrashcheniye, likvidatsiya / Fire and Emergencies: Prevention, Elimination*, 2017, no. 1, pp. 49–55 (in Russian).
12. Yu. M. Glukhovenko. *Metodologiya proyektirovaniya organizatsionnoy struktury Gosudarstvennoy protivopozharnoy sluzhby* [Designing methodology of the organizational structure of the State Fire Service]. Moscow, ARS Publ., 2001. 162 p. (in Russian).
13. N. N. Brushlinskiy, D. A. Kostyuchenko, S. A. Lupanov, S. V. Sokolov. The time factor. *Pozharnoye delo / Fire Business*, 2012, no. 4, pp. 26–29 (in Russian).
14. E. S. Savas. Simulations and cost-effectiveness analysis of New York's Emergency Ambulance Service. *Management Science*, 1969, vol. 15, no. 12, pp. B-608–B-627. DOI: 10.1287/mnsc.15.12.b608.
15. V. I. Klimkin. *Improving the organization and management of operational activities of fire departments of the city of Moscow through the use of simulation technology*. Cand. tech. sci. Moscow, 2005. 141 p. (in Russian).
16. N. N. Brushlinskiy, S. V. Sokolov. About regulations of response time of fire services. *Pozharovzryvo-bezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2011, vol. 20, no. 9, pp. 42–48 (in Russian).
17. S. Sardquist. *An engineering approach to fire-fighting tactic*. Department of Fire Safety Engineering, Report 1014. Lund, Lund Institute of Technology, 2010. 83 p.
18. N. N. Brushlinsky, S. V. Sokolov, E. M. Alekhin, J. I. Kolomietz, P. Wagner. Experience of application computer simulation systems of emergency services activities. *Problemy bezopasnosti i chrezvychaynykh situatsiy / Safety and Emergencies Problems*, 2009, no. 1, pp. 11–22 (in Russian).
19. A. B. Kussainov. Justification of the need to make changes and additions to some regulatory legal acts in the field of designing objects of fire service bodies. In: *Aktualnyye problemy i innovatsii v obespechenii bezopasnosti. Materialy Dney nauki s mezhdunarodnym uchastiyem, posvyashchennyykh Godu grazhdanskoy oborony* [Actual Problems and Innovations in Ensuring Security. Proceedings of the Days of Science with International Participation, Dedicated to the Year of Civil Defense Yekaterinburg, Ural Institute of the State Fire Service of the Emercom of Russia Publ., 2018, part 1, pp. 85–89 (in Russian).
20. H. Herweg, P. Wagner. Schnell wie die Feuerwehr. *VFDB*, November 2013, heft 4, ss. 194–204 (in German).
21. World fire statistics. Fire risks in the World. Moscow–Berlin, Center of Fire Statistics of CTIF, 2008. 548 p.
22. N. N. Brushlinsky, J. R. Hall, S. V. Sokolov, P. Wagner. *World fire statistics*. Center of Fire Statistics of CTIF, 2005, Report No. 10, 2nd ed. 200 p. Available at: https://ctif.org/sites/default/files/ctif_report10_world_fire_statistics_2005_0.pdf (Accessed 5 October 2018).

For citation: A. B. Kussainov. Algorithm for the organization of the garnizon of the fire fighting service of the city. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2018, vol. 27, no. 11, pp. 23–29 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2018.27.11.23-29.

А. И. НЕДОБИТКОВ, канд. техн. наук, доцент, кафедра информатики и математики, Казахский гуманитарно-юридический инновационный университет (Республика Казахстан, 070014, г. Усть-Каменогорск, ул. Астана, 48; e-mail: a.nedobitkov@mail.ru)

УДК 656.13;614.84

ПРИЗНАКИ ЭЛЕКТРОДУГОВОГО ПРОЦЕССА ПРИ ЭКСПЕРТНОМ ИССЛЕДОВАНИИ ПОСЛЕ ПОЖАРА МЕДНОЙ КОНТАКТНОЙ ПЛАСТИНЫ АВТОМОБИЛЬНОГО БЛОКА ПРЕДОХРАНИТЕЛЕЙ

Показана актуальность проблемы повышения пожарной безопасности автотранспортных средств. Приведены результаты исследования на растровом электронном микроскопе JSM-6390LV образцов медной контактной пластины автомобильного монтажного блока, используемого в электрической сети с напряжением 12 В и подвергшегося внешнему воздействию высоких температур и сверхтока. Даны снимки поверхностей оплавления медной контактной пластины автомобильного блока предохранителей после воздействия сверхтока и высоких температур. Приведены характерные диагностические признаки, позволяющие идентифицировать причину повреждения при пожаре (воздействие высоких температур, электродуговой процесс) медной контактной пластины автомобильного блока предохранителей. Установлено, что выявленные признаки являются устойчивыми и не подвержены изменениям в естественных условиях хранения автомобиля. Показано, что при выборе автомобильных предохранителей необходимо учитывать не только номинальное значение силы тока, но и материал изготовления, чтобы избежать образования недопустимой гальванической пары.

Ключевые слова: пожар; блок предохранителей; большое переходное сопротивление, сверхток; медь; цинк; растровая электронная микроскопия; диагностический признак; микрослед; пожарно-техническая экспертиза, недопустимая гальваническая пара.

DOI: 10.18322/PVB.2018.27.11.30-40

Введение

Пожары, являясь тяжелой чрезвычайной ситуацией (ЧС), наносят значительный ущерб экономике государств, в частности в промышленно развитых странах ущерб от пожаров превышает 1 % национального дохода и имеет тенденцию к постоянному росту [1–3]. Пожары на автотранспортных средствах относятся к особо тяжелым ЧС.

В работах [4–13] показано, что отдельные элементы электросистемы автомобиля могут служить источником возгорания в случае возникновения аварийного режима в какой-либо функциональной цепи.

В современном легковом автомобиле, имеющем, как правило, несколько блоков предохранителей, большинство цепей электрооборудования (электродвигатели, лампы, электронные устройства) защищены плавкими предохранителями. Так, например, автомобиль Mercedes-Benz S 500 2016 г. выпуска конструктивно имеет около 80 блоков управления различными электрическими устройствами, каждый из которых защищен предохранителем. В случае пожара на автомобиле на поверхности разрушения

медных, алюминиевых и цинковых плавких вставок автомобильных предохранителей могут фиксироваться признаки, позволяющие идентифицировать механизм образования повреждений — электродуговой либо высокотемпературный [12].

Это обстоятельство имеет важное значение для пожарно-технической экспертизы, которая является одним из видов профилактических мероприятий, направленных на предотвращение пожаров [6, 12].

По мнению автора [8], экспертиза пожаров “основана на комплексе специальных знаний, необходимых для исследования места пожара, отдельных конструкций, материалов, изделий и их обгоревших остатков в целях получения информации, необходимой для установления очага пожара, его причины, путей распространения горения, природы обгоревших остатков, а также для решения некоторых других задач, возникающих в ходе анализа причин, вызвавших пожар”.

Как наглядно показано авторами [7, 8, 10, 11], если “в очаговой зоне обнаружены характерные признаки разрушения токоведущих проводов, то неизбежно возникает вопрос о механизме повреждения

(электродуговой или тепловой) и, в частности, о первичности или вторичности короткого замыкания”. Данный вопрос далеко не прост. Попытки решить его инструментальными методами предпринимались криминалистами еще в 50-е годы прошлого столетия [7, 8, 10, 11, 13, 14]. Несмотря на это апробированная и научно обоснованная универсальная методика отсутствует до настоящего времени, удалось лишь решить пока ряд частных задач [4–24].

В [6, 12] даны ссылки на работу [23], авторы которой на основе результатов многочисленных экспериментов пришли к выводу, что образование круглых медных глобул с четкими линиями разграничения, так называемых “наплывов”, происходит на проводах не только под напряжением, но и без него. Эксперименты показали, что на некоторых проводах под напряжением возникает дуга, приводящая к образованию таких глобул, а у некоторых проводов без напряжения она отсутствует, но наблюдаются эти характерные наплывы [23]. Наплывы на некоторых проводах под напряжением, изученные под микроскопом, имели пористую структуру с большим количеством внутренних поровых пространств, в то время как в наплывах на других проводах последние отсутствовали. Авторы [23] отмечают, что эта же тенденция характерна и для проводов без напряжения. Таким образом, ни по одному из изученных физических аспектов наплывов у образцов проводов под напряжением и без него не обнаружено каких-либо значительных отличий [23]. Трудность визуальной дифференциации оплавлений медных проводников отмечена и в работе [10]. Это мнение в той или иной форме поддерживают такие исследователи, как V. Babrauskas, Kuan-Heng Liu, Yung-Hui Shih, Guo-Ju Chen и др., предлагая альтернативные методы исследования.

Настоящая работа, являясь продолжением исследования, проведенного автором [12], также посвящена установлению признаков, позволяющих идентифицировать причину разрушения медной контактной пластины автомобильного блока предохранителей.

Целью работы является разработка научно обоснованного метода исследования медной контактной пластины автомобильного блока предохранителей, подвергнутой воздействию как токовой перегрузки, так и высоких температур.

Исходя из этого поставлены следующие задачи исследования:

- доказать, что на поверхности разрушения медной контактной пластины под действием сверхтока могут быть выявлены признаки, позволяющие идентифицировать электродуговой процесс;
- показать, что высокая температура и развитие пожара на легковом автомобиле не приводят к

оплавлению медной контактной пластины автомобильного блока предохранителей;

- подтвердить предположение, что признаки, выявленные на поверхности разрушения медной контактной пластины автомобильного блока предохранителей, подвергнутой протеканию сверхтока, являются устойчивыми и не подвержены изменениям в естественных условиях хранения автомобиля (без умышленного уничтожения признаков);
- показать, что растровую микроскопию можно использовать при исследовании медной контактной пластины автомобильного блока предохранителей в качестве основного метода.

Материалы и методы

Исследования проводились в Региональной университетской лаборатории инженерного профиля “ІРГЕТАС” Восточно-Казахстанского государственного технического университета им. Д. Серикбаева на растровом электронном микроскопе JSM-6390LV с приставкой для энергодисперсионного микроанализа. Поверхности разрушения медной контактной пластины подвергались анализу без предварительной пробоподготовки.

В настоящей работе рассматривается фактический пример исследования разрушенной медной контактной пластины автомобильного блока предохранителей, изъятый с места пожара. Как правило, в моторном отсеке располагаются силовые предохранители, в салоне автомобиля и багажном отсеке — предохранители, защищающие цепи вспомогательного оборудования.

В работе [12] приведены полученные Елисеевым данные, показывающие, что максимальная температура поверхности капота легкового автомобиля, получившего термические повреждения при пожаре, согласно картам расчетного и фактического распределений термических поражений не превышает 950 °С. Общепринято считать, что среднеобъемная температура во второй фазе пожара на легковом автомобиле достигает 850–950 °С [12]. В связи с этим в настоящей статье под высокотемпературным воздействием подразумевается именно этот диапазон температур.

На рис. 1 показан принцип установки плавкого предохранителя в медную контактную пластину автомобильного блока предохранителей. Как следует из рис. 1, ножки контактной медной пластины в результате внешнего высокотемпературного воздействия повреждений не имеют, в то время как материал предохранителя полностью расплавился.

Общеизвестно, что автомобильные предохранители могут изготавливаться из алюминия, цинка и меди. Температура плавления цинка равна 419,5 °С,

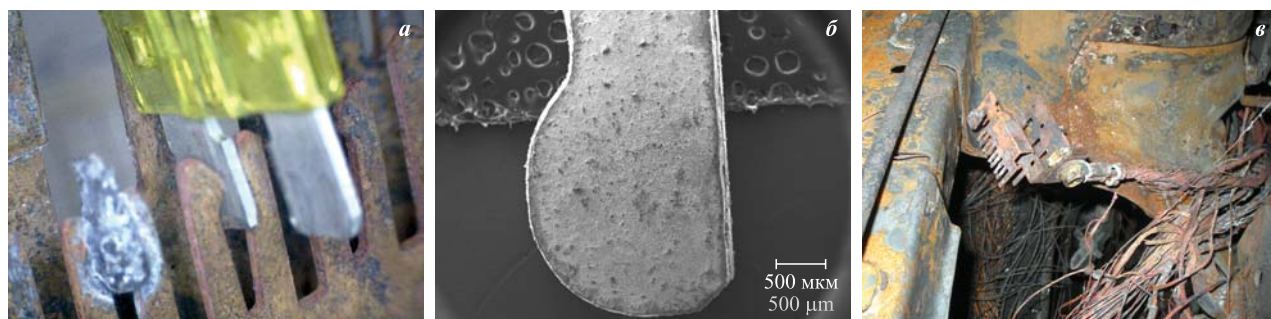


Рис. 1. Принцип установки плавкого предохранителя в медную контактную пластину автомобильного блока предохранителей (а), состояние ножки контактной медной пластины после высокотемпературного воздействия, увеличение 30[×] (б), общий вид контактной медной пластины автомобильного блока предохранителей после высокотемпературного воздействия (в)

Fig. 1. The principle of installation of the fuse in the copper contact plate of the automotive fuse box (a), condition of the pin of the contact copper plate after high temperature exposure, increase of 30[×] (b), general view of the copper contact plate of an automotive fuse box (v)

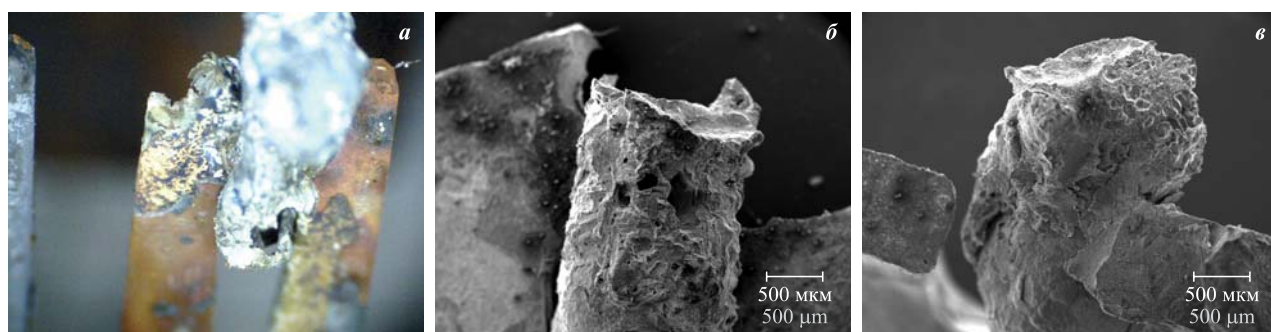


Рис. 2. Повреждения ножек контактной медной пластины с сохранившимся оплавленным фрагментом предохранителя: а — общий вид; б — вид сбоку, увеличение 30[×]; в — вид сверху, увеличение 30[×]

Fig. 2. Damage of legs of pin copper plate with the saved fire-polished fragment of safety device: a — general view; б — end-view, increase of 30[×]; в — top view, increase of 30[×]

алюминия — 660 °С, а меди — 1083 °С. Сравнивая температуры их плавления с диапазоном температур при пожаре легкового автомобиля (850–950 °С), можно сделать вывод, подтверждаемый практикой, что предохранители, выполненные из цинка и алюминия, в результате пожара легкового автомобиля расплавятся, а медная контактная пластина сохранит внешнюю целостность.

Результаты и их обсуждение

В настоящей работе проведено исследование следующих случаев повреждений ножек контактной медной пластины автомобильного блока предохранителей:

- повреждения с сохранением оплавленных фрагментов предохранителя;
- повреждения в виде косого среза;
- повреждения в виде прямого среза;
- повреждения в виде косого среза с образованием шаровидного оплавления.

На рис. 2 показано повреждение ножек контактной медной пластины, при котором сохранился оплавленный фрагмент предохранителя.

Как следует из рис. 2, у оплавленного фрагмента предохранителя на виде сбоку наблюдается наличие пор, а на виде сверху — лунок, характерных для токовой перегрузки. На рис. 3 показано расположение точек на поверхности оплавленного фрагмента предохранителя, в которых выполнен микроанализ. Результаты микроанализа участка, приведенного на рис. 3, представлены в табл. 1 и 2.

Как следует из табл. 1, содержание цинка в плавком автомобильном предохранителе, выполненном из цинка, снижается в оплавленном фрагменте по направлению сверху вниз с 85,92 до 23,96 %. Это свидетельствует о том, что в самом начале процесса оплавления предохранителя произошло образование на поверхности ножки контактной пластины расплавленной капли меди, которая под действием силы тяжести стекала вниз. Образование расплавленной капли меди на локальном участке говорит о наличии электродугового процесса. Наличие на расплавленном материале цинкового плавкого предохранителя меди свидетельствует о массопереносе, также характерном для электродугового процесса.

Из табл. 2 видно, что содержание меди в ножке контактной пластины, выполненной из меди, уве-

Таблица 1. Результаты микроанализа участка на рис. 3,а
Table 1. The results of the microanalysis of the section shown in Fig. 3,а

Номер точки измерения Measurement point number	Содержание химического элемента, % масс. Content of chemical element, % by mass					
	O	Al	Si	Ca	Cu	Zn
Спектр 1 Range 1	11,82				2,26	85,92
Спектр 2 Range 2	16,91	0,88			1,50	80,71
Спектр 3 Range 3	12,52				56,31	31,17
Спектр 4 Range 4	16,48	0,68	0,43	0,36	58,10	23,96

личивается по направлению сверху вниз с 5,49 до 71,29 %. Это свидетельствует о наличии на поверхности ножки каплей цинка, а значит, о массопереносе. А как уже отмечалось выше, массоперенос является характерным признаком электродугового процесса.

На рис. 4 показано повреждение ножек контактной медной пластины в виде косого среза, при этом фрагмент автомобильного предохранителя не сохранился.

Из сравнения рис. 4 с рис. 1,б следует вывод, что область контакта в виде закругленной части ножки медной пластины отсутствует. Локальное выгорание области контакта является признаком электродугового процесса, идентифицируемого как большое переходное сопротивление. В работе [24] отмечается, что пожарная опасность электрического соединения в режиме “плохого контакта” способна проявиться при номинальных значениях электрического тока или даже ниже их. В данном режиме переходное сопротивление и падение на нем напряжения в десятки и сотни раз превышают нормативные значения (падение напряжения составляет единицы вольт вместо долей милливольт, а рассеиваемая электрическая мощность — сотни ватт). Вероятными источниками зажигания при этом являются нагретые проводники, электрическая дуга, раскаленные или горящие частицы [24].

Таблица 2. Результаты микроанализа участка на рис. 3,б
Table 2. The results of the microanalysis of the section shown in Fig. 3,б

Номер точки измерения Measurement point number	Содержание химического элемента, % масс. / Content of chemical element, % by mass								
	O	Mg	Al	Si	S	Fe	Cu	Zn	Sn
Спектр 1 / Range 1	16,86		2,94				71,29	6,24	2,68
Спектр 2 / Range 2	27,84	0,53	1,92	2,54	0,69		60,01	3,94	2,54
Спектр 3 / Range 3	19,18		0,41		0,26		77,73	1,44	0,97
Спектр 4 / Range 4	38,16	7,04		1,38	0,21	1,39	5,49	31,15	

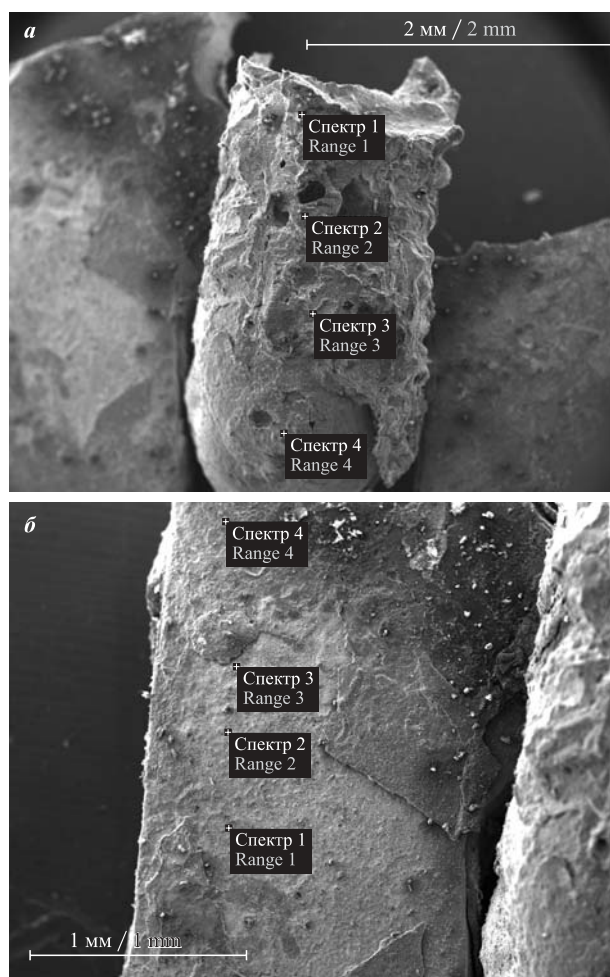


Рис. 3. Расположение точек, в которых был выполнен микроанализ, на поверхности оплавленного фрагмента предохранителя (а) и ножки контактной пластины (б)

Fig. 3. The location of the points at which the microanalysis was performed on the surface of the fused fragment of the fuse (а) and on the surface of the pin of the contact plate (b)

На рис. 4,в видно, что на участке повреждения выделяются области с различным рельефом поверхности. В табл. 3 приведены результаты микроанализа на поверхности разрушения, из которых следует, что на участке с гладкой поверхностью содержание меди достигает 63,44 %, в то время как на участках с шероховатой поверхностью содержание цинка составляет 24,92–31,11 %. Это говорит о том,

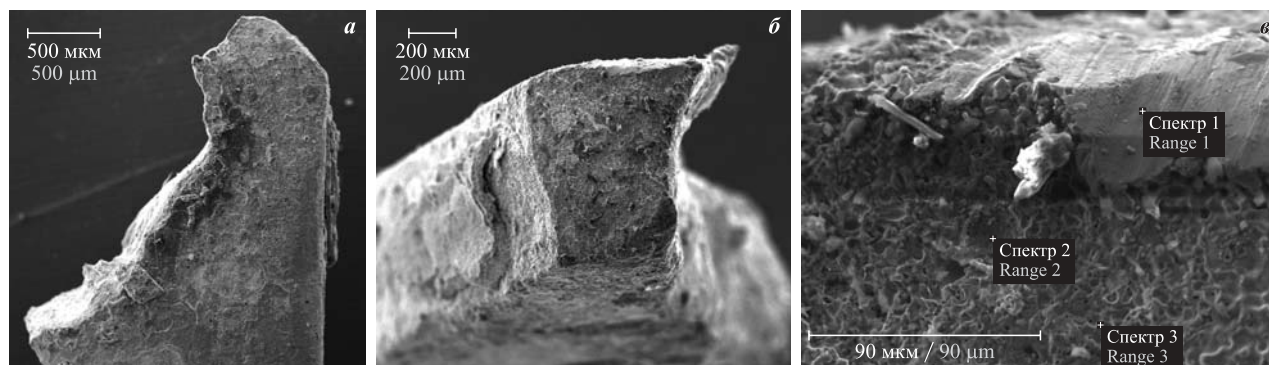


Рис. 4. Повреждение ножек медной контактной пластины в виде косого среза: *а* — вид сбоку, увеличение 35 $\times$; *б* — вид сверху, увеличение 60 $\times$; *в* — точки микроанализа на поверхности повреждения

Fig. 4. Damage to the legs of the copper contact plate in the form of an oblique cut: *a* — end-view, increase of 35 $\times$; *b* — top view, increase of 60 $\times$; *v* — points of microanalysis on the surface of damage

Таблица 3. Результаты микроанализа участка на рис. 4, *в*
Table 3. The results of the microanalysis of the section shown in Fig. 4, *v*

Номер точки измерения Measurement point number	Содержание химического элемента, % масс. Content of chemical element, % by mass					
	O	Mg	P	Ni	Cu	Zn
Спектр 1 Range 1	3,56				63,44	33,00
Спектр 2 Range 2	21,04	7,44	5,57	0,43	40,60	24,92
Спектр 3 Range 3	26,30	7,59	7,33		26,70	31,11

что поверхность разрушения ножки медной контактной пластины покрыта оксидами цинка, что свидетельствует о массопереносе в ходе электродугового процесса.

На рис. 5 показано повреждение ножек контактной медной пластины в виде прямого среза, при этом фрагмент автомобильного предохранителя не сохранился. Сравнивая рис. 5 с рис. 1, *б*, можно сделать вывод, что область контакта в виде закругленной части ножки медной пластины отсутствует. Локальное выгорание области контакта является признаком электродугового процесса, идентифицируемого как

большое переходное сопротивление. На поверхности разрушения выделяются участки с ровной поверхностью (см. рис. 5, *б*).

В табл. 4 представлены результаты микроанализа участка, приведенного на рис. 5, *в*. Из табл. 4 следует, что поверхность разрушения ножки медной контактной пластины покрыта оксидами и частицами цинка, процентное содержание которого достигает 61,25 %. Указанное обстоятельство свидетельствует о массопереносе в процессе электродугового процесса. В то же время отмечается наличие участков, на которых оксиды цинка практически отсутствуют, а процентное содержание меди достигает 59,74 %.

На рис. 6 показано повреждение ножек контактной медной пластины в виде косого среза с образованием шаровидного оплавления, а в табл. 5 — результаты микроанализа участка, приведенного на рис. 6, *в* и 6, *г*.

Из табл. 5 следует, что шаровое оплавление представляет собой каплю меди, покрытую оксидами цинка. Следует отметить, что в работе [10] описан механизм формирования следов протекания сверхтоков по медному проводнику, при этом отмечается образование вздутий или шаровых оплавлений. Из табл. 5 также следует, что плавкий автомобильный предохранитель был выполнен из цинка. Ис-

Таблица 4. Результаты микроанализа участка на рис. 5, *в*

Table 4. The results of the microanalysis of the section shown in Fig. 5, *v*

Номер точки измерения Measurement point number	Содержание химического элемента, % масс. / Content of chemical element, % by mass									
	O	Mg	Al	Si	S	K	Ca	Fe	Cu	Zn
Спектр 1 / Range 1	15,72		0,78				0,62	0,62	59,74	22,36
Спектр 2 / Range 2	15,42		1,21	1,57			0,61	0,61	56,54	24,66
Спектр 3 / Range 3	19,39		1,18	0,99	0,55				52,21	25,68
Спектр 4 / Range 4	55,50	0,83	1,87	4,23	6,44	0,58	1,32	1,32	3,42	15,13
Спектр 5 / Range 5	12,06		0,86	1,14	7,46		1,12	1,12	9,53	61,25

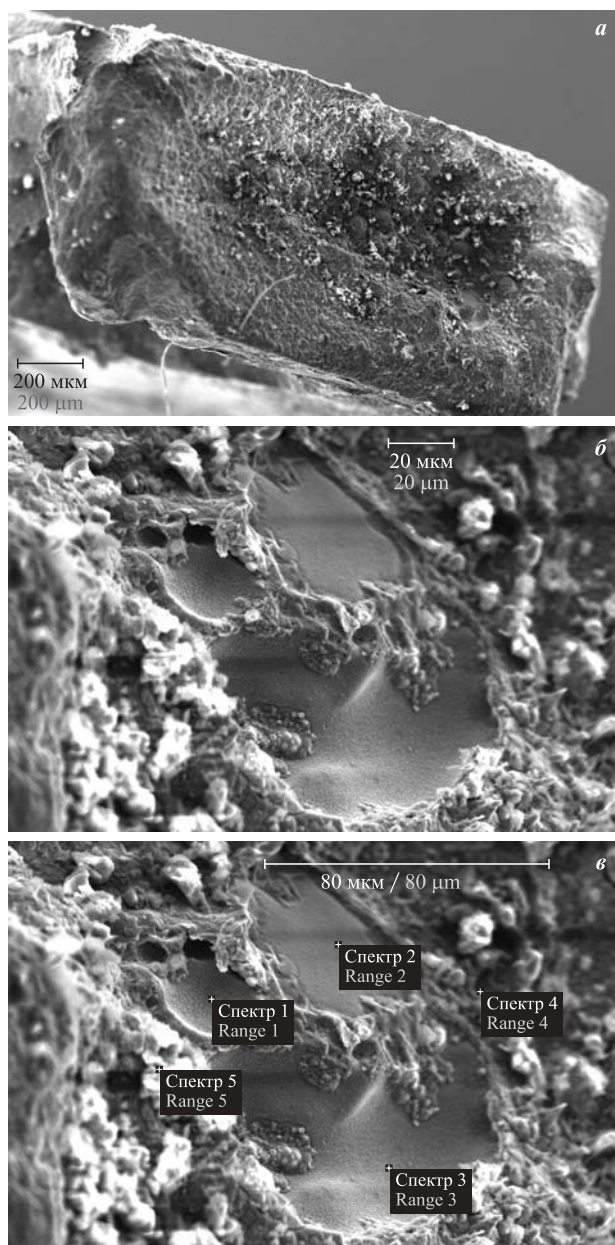


Рис. 5. Повреждение ножек медной контактной пластины в виде прямого среза: *а* — общий вид, увеличение 70[×]; *б* — участок с ровным рельефом, увеличение 650[×]; *в* — точки микроанализа на поверхности повреждения

Fig. 5. Damage to the legs of the copper contact plate in the form of a straight cut: *a* — general view, increase of 70[×]; *b* — section with a smooth relief, increase of 650[×]; *v* — points of microanalysis on the surface of damage

ходя из вышеизложенного вполне закономерным является вывод, что по ножке медной контактной пластины протекал сверхток. Однако в штатном режиме при протекании сверхтока в электрической цепи цинковый плавкий предохранитель должен был обесточить данную цепь. Таким образом, причиной возникновения электродугового процесса в контакте медная ножка — цинковый предохранитель является большое переходное сопротивление, вызывающее в том числе электрическую дугу [24].

Таблица 5. Результаты микроанализа участка на рис. 6, в и 6, г
Table 5. The results of the microanalysis of the section shown in Fig. 6, v and 6, g

Номер точки измерения Measurement point number	Содержание химического элемента, % масс. Content of chemical element, % by mass						
	O	Mg	Al	P	Fe	Cu	Zn
Спектр 1 Range 1	0,29		0,98			62,73	36,00
Спектр 3 Range 3	23,45	9,55	2,58			31,70	27,14
Спектр 4 Range 4	27,57	9,13	0,35		0,34	30,08	24,09
Спектр 5 Range 5	25,97	7,08		4,29		31,87	30,35
Спектр 6 Range 6	14,64					47,63	37,73
Спектр 7 Range 7	34,69	10,27		7,94	0,87	23,77	22,46

В свете изложенного необходимо подчеркнуть, что на поверхности разрушения всех исследованных в данной работе образцов, как медных, так и цинковых, встречались лунки, являющиеся характерным признаком протекания сверхтока (рис. 7) [6].

Таким образом, можно сделать вывод, что в соответствии с терминологией микротрасологии такие признаки на поверхности разрушения медной контактной пластины автомобильного блока предохранителей, как лунки, оплавления в виде косого и прямого среза, вздутия или шаровые оплавления, а также массоперенос, являются микроследами электродугового процесса.

Необходимо напомнить также, что согласно ГОСТ 9.005–72 контакт медь (ее сплавы) — цинк (его сплавы) является недопустимым, так как эти металлы образуют недопустимую гальваническую пару, т. е. во влажной среде пара цинк — медь будет разрушаться под действием коррозии. Очевидно, что коррозионные повреждения в контакте цинк — медь вызовут явление большого переходного сопротивления, что подтверждается результатами настоящего исследования.

Исследованные образцы медной контактной пластины автомобильного блока предохранителей хранились 3 мес. (что больше среднего срока расследования дел о пожарах), в разных условиях (в помещении без упаковки, в помещении в герметичной упаковке, в уличных условиях без доступа воды в жидком агрегатном состоянии, т. е. без погружения в воду). При сравнении образцов установлено, что выявленные признаки являются устойчивыми и не подвержены изменениям в естественных условиях хранения (без умышленного уничтожения признаков).

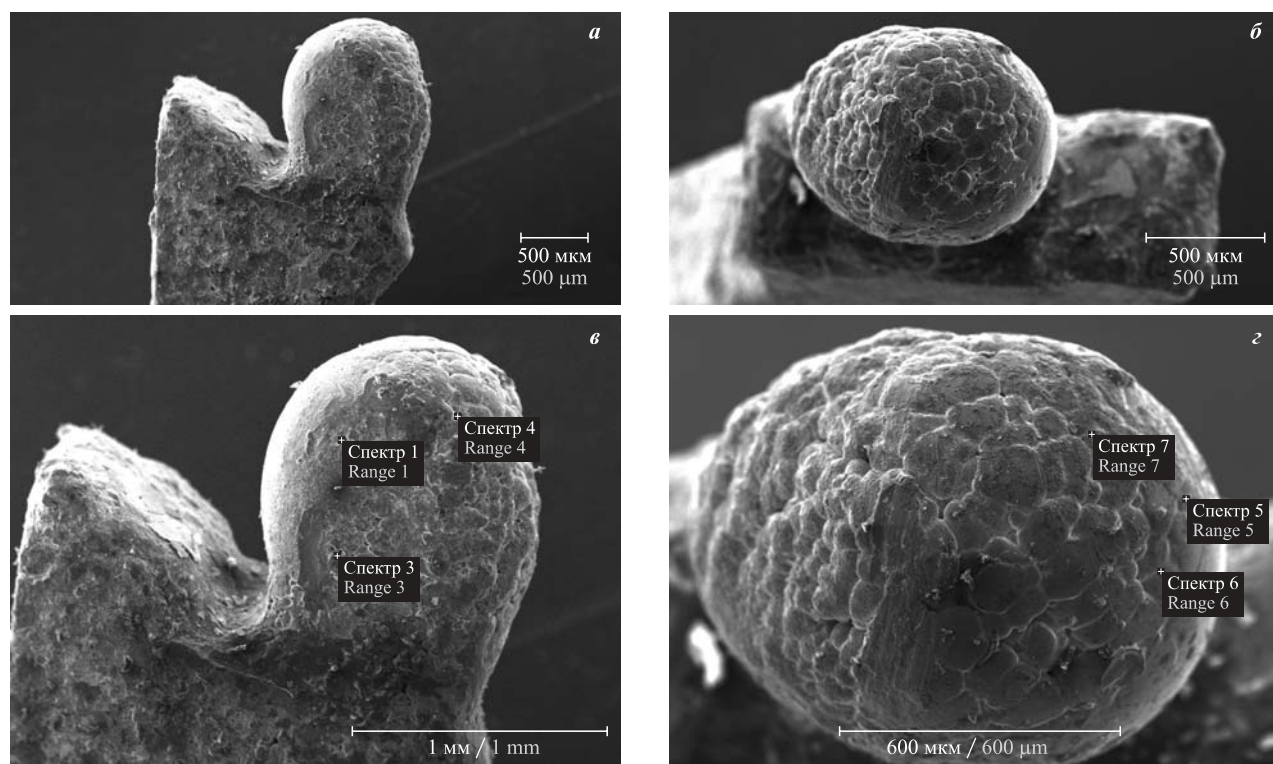


Рис. 6. Повреждение ножек медной контактной пластины в виде косого среза с образованием шаровидного оплавления: *а* — общий вид, увеличение 37 $\times$; *б* — вид сверху, увеличение 50 $\times$; *з* — точки микроанализа на поверхности повреждения

Fig. 6. Damage to the legs of the copper contact plate in the form of an oblique cut with the formation of spherical melting: *a* — general view, increase of 37 $\times$; *b* — top view, increase of 50 $\times$; *v, g* — points of microanalysis on the surface of damage

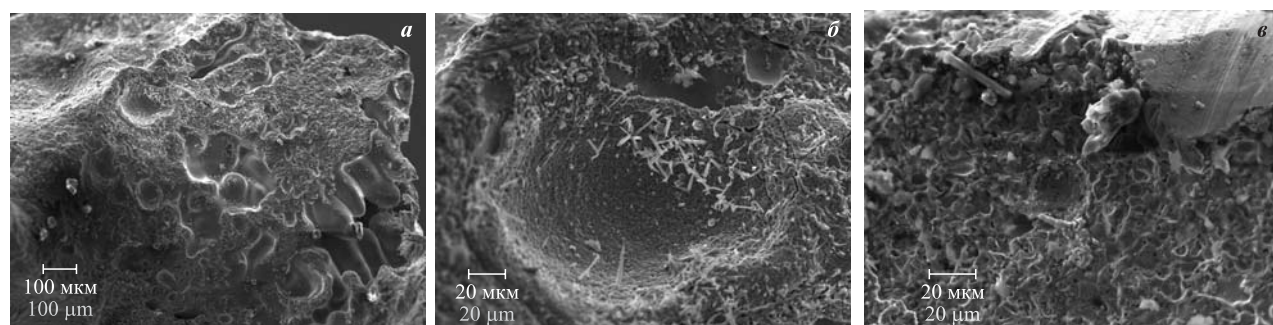


Рис. 7. Лунки на поверхности разрушения, наблюдаемые при исследовании образцов при увеличении 100 $\times$ (*а*), 550 $\times$ (*б*) и 700 $\times$ (*в*)

Fig. 7. Wells on the surface of the destruction of the studied samples at increase of 100 $\times$ (*a*), 550 $\times$ (*b*) and 700 $\times$ (*v*)

Таким образом, в результате исследования методом растровой микроскопии фрагментов медной контактной пластины автомобильного блока предохранителей, подвергшихся высокотемпературному воздействию или протеканию сверхтока, установлены характерные признаки, позволяющие идентифицировать процесс, который привел к их разрушению.

В заключение необходимо отметить, что, по мнению И. Д. Чешко [8], использование результатов инструментальных исследований в качестве “промежуточного продукта” в экспертном исследовании по пожару не снижает их ценности как важнейшего источника объективной информации, без которой выводы о причине пожара будут малоубедительными.

Заключение

Доказано, что на поверхности разрушения медной контактной пластины автомобильного блока предохранителей могут фиксироваться признаки, позволяющие идентифицировать электродуговой или высокотемпературный механизм образования повреждений. В частности, такие признаки, как прямой или косой срез, лунки, вздутия или шаровые оплавления, являются микроследами электродугового процесса, в данном случае — большого переходного сопротивления.

Кроме того, наглядно показано, что температура пожара на легковом автомобиле 850–950 °С не вы-

зывает изменения формы медной контактной пластины автомобильного блока предохранителей.

Показано, что растровую микроскопию можно использовать при исследовании фрагментов медной контактной пластины автомобильного блока предохранителей в качестве не только вспомогательно-го, но и основного метода исследования.

Настоящим исследованием установлено, что признаки, выявленные на поверхностях разрушения медной контактной пластины автомобильного блока предохранителей, являются устойчивыми и не под-

вержены изменениям в естественных условиях хранения (без умышленного уничтожения признаков).

Полученные результаты могут быть использованы при экспертном исследовании медных контактных пластин автомобильного блока предохранителей, изымаемых с мест пожаров, установлении механизма их повреждения и, в конечном счете, причины пожара автомобиля. Знание технической причины пожара даст возможность разработать профилактические мероприятия и технические решения, направленные на ее устранение.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Брушлинский Н. Н., Соколов С. В., Вагнер П. Человечество и пожары. — М. : ООО “ИПЦ Маска”, 2007. — 142 с.
2. Quintiere J. G. Fundamentals of fire phenomena. — England, Chichester : John Wiley and Sons Ltd, 2006. DOI: 10.1002/0470091150.fmatter.
3. Beyler C., Carpenter D., Dinunno P. Introduction to fire modeling. Fire Protection Handbook. — 20th ed. — Quincy : National Fire Protection Association, 2008.
4. Severy D., Blaisdell D., Kerkhoff J. Automotive collision fires // SAE Technical Paper 741180, 1974. DOI: 10.4271/741180.
5. Katsuhiro Okamoto, Norimichi Watanabe, Yasuaki Hagimoto, Tadaomi Chigira, Ryoji Masano, Hitoshi Miura, Satoshi Ochiai, Hideki Satoh, Yohsuke Tamura, Kimio Hayano, Yasumasa Maeda, Jinji Suzuki. Burning behavior of sedan passenger cars // Fire Safety Journal. — 2009. — Vol. 44, No. 3. — P. 301–310. DOI: 10.1016/j.firesaf.2008.07.001.
6. Недобитков А. И. Фрактография изломов медных проводников автомобильной электрической цепи // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2016. — Т. 25, № 2. — С. 21–27. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.02.21-27.
7. Богатищев А. И. Комплексные исследования пожароопасных режимов в сетях электрооборудования автотранспортных средств : дис. ... канд. техн. наук. — М. : Академия ГПС МЧС России, 2002. — 269 с.
8. Чешко И. Д. Экспертиза пожаров (объекты, методы, методики исследования). — 2-е изд., стереотип. — СПб. : СПб ИПБ МВД РФ, 1997. — 562 с.
9. Чешко И. Д., Мокряк А. Ю., Скодтаев С. В. Механизм формирования следов протекания сверхтоков по медному проводнику // Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России. — 2015. — № 1. — С. 41–46.
10. Мокряк А. Ю. Установление природы оплавлений медных проводников и латунных токоведущих изделий при экспертизе пожаров на объектах энергетики : дис. ... канд. техн. наук. — М. : Академия ГПС МЧС России, 2018. — 140 с.
11. Смелков Г. И., Чешко И. Д., Плотников В. Г. Экспериментальное моделирование пожароопасных аварийных режимов в электрических проводах // Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России. — 2017. — № 3. — С. 121–128.
12. Недобитков А. И. Признаки электродугового процесса при экспертном исследовании после пожара плавкого элемента автомобильного предохранителя // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2017. — Т. 26, № 11. — С. 21–30. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.11.21-30.
13. Смелков Г. И. Пожарная безопасность электропроводок. — М. : ООО “Кабель”, 2009. — 328 с.
14. Babrauskas V. Arc beads from fires: Can ‘cause’ beads be distinguished from ‘victim’ beads by physical or chemical testing? // Journal of Fire Protection Engineering. — 2004. — Vol. 14, No. 2. — P. 125–147. DOI: 10.1177/1042391504036450.
15. Delplace M., Vos E. Electric short circuits help the investigator determine where the fire started // Fire Technology. — 1983. — Vol. 19, No. 3. — P. 185–191. DOI: 10.1007/bf02378698.
16. Wright S. A., Loud J. D., Blanchard R. A. Globules and beads: what do they indicate about small-diameter copper conductors that have been through a fire? // Fire Technology. — 2015. — Vol. 51, No. 5. — P. 1051–1070. DOI: 10.1007/s10694-014-0455-9.
17. Babrauskas V. Arc mapping: a critical review // Fire Technology. — 2018. — Vol. 54, Issue 3. — P. 749–780. DOI: 10.1007/s10694-018-0711-5.

18. Hoffmann D. J., Swonder E. M., Burr M. T. Arc faulting in household appliances subjected to a fire test // Fire Technology. — 2016. — Vol. 52, Issue 6. — P. 1659–1666. DOI: 10.1007/s10694-015-0556-0.
19. Kuan-Heng Liu, Yung-Hui Shih, Guo-Ju Chen, Jaw-Min Chou. Microstructural study on oxygen permeated arc beads // Journal of Nanomaterials. — 2015. — Article ID 373861. — 8 p. DOI: 10.1155/2015/373861.
20. Lewis K. H., Templeton B. Morphological variation in copper arcs during post-arc fire heating // Proceedings of 3rd International Symposium on Fire Investigation Science & Technology. — Sarasota : National Association of Fire Investigators, 2008. — P. 183–195.
21. Murray I., Ajersch F. New metallurgical techniques applied to fire investigation // Fire & Materials '2009. — London : Interscience Communications Ltd., 2009. — P. 857–869.
22. Carey N. J. Developing a reliable systematic analysis for arc fault mapping : Ph. D. diss. — Strathclyde, United Kingdom : University of Strathclyde, 2009.
23. Roby R. J., McAllister J. Forensic investigation techniques for inspecting electrical conductors involved in fire // Final Technical Report for Award No. 239052. — Columbia : Combustion Science & Engineering, Inc., 2012.
24. Экспертное исследование после пожара контактных узлов электрооборудования в целях выявления признаков больших переходных сопротивлений : метод. реком. / К. Б. Лебедев, А. Ю. Мокряк, И. Д. Чешко. — М. : ВНИИПО, 2008. — 29 с.

Материал поступил в редакцию 7 октября 2018 г.

Для цитирования: Недобитков А. И. Признаки электродугового процесса при экспертном исследовании после пожара медной контактной пластины автомобильного блока предохранителей // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2018. — Т. 27, № 11. — С. 30–40. DOI: 10.18322/PVB.2018.27.11.30-40.

English

SIGNS OF ARC PROCESS DURING CONDUCT OF AN EXPERT STUDY AFTER FIRE OF A COPPER CONTACT PLATE OF A CAR FUSE BLOCK

A. I. NEDOBITKOV, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Department of Informatics and Mathematics, Kazakh Humanitarian Law
Innovative University (Astana St., 48, Ust-Kamenogorsk, 070014, Kazakhstan;
e-mail: a.nedobitkov@mail.ru)

ABSTRACT

Introduction. The data covered in the present article evidence that a problem of improvement of fire safety of motor vehicles is very important. The aim of the article is to develop a scientifically-based method of examination of copper contact plates of car fuse blocks, which could be employed during fire-technical examination in order to identify causes of their damages.

Materials and methodology. Researches have been conducted with the use of JSM-6390LV scanning electron microscope equipped with an add-on device for energy dispersive spectroscopy. Surfaces of failure of parts of the copper contact plate of the car fuse block have been analyzed without prior sample preparation.

Results and discussion. Based on analysis of practical data it has been proven that temperature of fire of a light motor vehicle in the range of 850–950 °C does not cause change in form of the copper contact plate of the car fuse block. It has been shown in a laboratory environment that contacts of the copper plate of the car fuse block have signs of overcurrent flow caused by high transient resistance. Transient resistance, in turn, is caused by inadmissible *copper – zinc* galvanic pair. The paper provides results of examination of parts of the copper contact plate of the car fuse block, which have different modes of failure. It has been proven that not only nominal value of current intensity shall be used for selection of car fuses, but also material of manufacture.

Conclusion. A method of differentiation of failures caused by fire (high-temperature impact, arc process) of the copper contact plate of the car fuse block has been proposed. The arc process is characterized by such indicators as straight or beveled cut, craters, swelling, ball-like meltback, or mass-transfer. It has been determined that signs identified at surfaces of failure of the copper contact plate of the car fuse block are persistent and are not exposed to changes under natural conditions of storage.

The information given in the article could be useful for specialists performing expert studies of car copper contact plates sampled from places of fires of motor vehicles, for identification of nature of their failures and, eventually, for identification of causes of fires of motor vehicles.

Keywords: fire; fuse block; high transient resistance; overcurrent; copper; zinc; scanning electron microscopy; diagnostic signs; ultratrace; fire-technical examination; inadmissible copper-zinc galvanic pair.

REFERENCES

1. N. N. Brushlinskiy, S. V. Sokolov, P. Wagner. *Chelovechestvo i pozhary* [Humanity and fires]. Moscow, IPTs Maska Publ., 2007. 142 p. (in Russian).
2. J. G. Quintiere. *Fundamentals of fire phenomena*. England, Chichester, John Wiley and Sons Ltd, 2006. DOI: 10.1002/0470091150.fmatter.
3. C. Beyler, D. Carpenter, P. Dinunno. *Introduction to fire modeling. Fire Protection Handbook*. 20th ed. Quincy, National Fire Protection Association, 2008.
4. D. Severy, D. Blaisdell, J. Kerkhoff. Automotive collision fires. *SAE Technical Paper 741180*, 1974. DOI: 10.4271/741180.
5. Katsuhiko Okamoto, Norimichi Watanabe, Yasuaki Hagimoto, Tadaomi Chigira, Ryoji Masano, Hitoshi Miura, Satoshi Ochiai, Hideki Satoh, Yohsuke Tamura, Kimio Hayano, Yasumasa Maeda, Jinji Suzuki. Burning behavior of sedan passenger cars. *Fire Safety Journal*, 2009, vol. 44, no. 3, pp. 301–310. DOI: 10.1016/j.firesaf.2008.07.001.
6. A. I. Nedobitkov. Fractography of car electric circuit copper conductor fractures. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2016, vol. 25, no. 2, pp. 21–27 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2016.25.02.21-27.
7. A. I. Bogatishchev. *Comprehensive research of fire hazardous modes in mains of electrical equipment of vehicles*. Cand. tech. sci. diss. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2002. 269 p. (in Russian).
8. I. D. Cheshko. *Ekspertiza pozharov (obyekty, metody, metodiki issledovaniya)* [Examination of fire (objects, methods, methods of research)]. Saint Petersburg, Saint Petersburg Institute of Fire Safety of Ministry of the Interior of Russian Federation Publ., 1997. 562 p. (in Russian).
9. I. D. Cheshko, A. Yu. Mokryak, S. V. Skodtaev. Formation mechanism of excess currents passage traces in copper conductors. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta Gosudarstvennoy protivopozharnoy sluzhby MChS Rossii / Herald of St. Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia*, 2015, no. 1, pp. 41–46 (in Russian).
10. A. Yu. Mokryak. *Determination of the nature of melting of copper conductors and brass current-carrying products in the examination of fires at power facilities*. Cand. tech. sci. diss. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2018. 140 p. (in Russian).
11. G. I. Smelkov, I. D. Cheshko, V. G. Plotnikov. Experimental modeling of fire-alarm emergency modes in electrical wires. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta Gosudarstvennoy protivopozharnoy sluzhby MChS Rossii / Herald of St. Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia*, 2017, no. 3, pp. 121–128 (in Russian).
12. A. I. Nedobitkov. Arc process features at post fire expert examination of car fuse elements. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2017, vol. 26, no. 11, pp. 21–30 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2017.26.11.21-30.
13. G. I. Smelkov. *Pozharnaya bezopasnost elektroprovodok* [Fire safety of wirings]. Moscow, Cable LLC Publ., 2009. 328 p. (in Russian).
14. V. Babrauskas. Arc beads from fires: Can ‘cause’ beads be distinguished from ‘victim’ beads by physical or chemical testing? *Journal of Fire Protection Engineering*, 2004, vol. 14, no. 2, pp. 125–147. DOI: 10.1177/1042391504036450.
15. M. Delplace, E. Vos. Electric short circuits help the investigator determine where the fire started. *Fire Technology*, 1983, vol. 19, no. 3, pp. 185–191. DOI: 10.1007/bf02378698.
16. S. A. Wright, J. D. Loud, R. A. Blanchard. Globules and beads: what do they indicate about small-diameter copper conductors that have been through a fire? *Fire Technology*, 2015, vol. 51, no. 5, pp. 1051–1070. DOI: 10.1007/s10694-014-0455-9.
17. V. Babrauskas. Arc mapping: a critical review. *Fire Technology*, 2018, vol. 54, issue 3, pp. 749–780. DOI: 10.1007/s10694-018-0711-5.
18. D. J. Hoffmann, E. M. Swonder, M. T. Burr. Arc faulting in household appliances subjected to a fire test. *Fire Technology*, 2016, vol. 52, issue 6, pp. 1659–1666. DOI: 10.1007/s10694-015-0556-0.

19. Kuan-Heng Liu, Yung-Hui Shih, Guo-Ju Chen, Jaw-Min Chou. Microstructural study on oxygen permeated arc beads. *Journal of Nanomaterials*, 2015, article ID 373861. 8 p. DOI: 10.1155/2015/373861.
20. K. H. Lewis, B. Templeton. Morphological variation in copper arcs during post-arc fire heating. In: *Proceedings of 3rd International Symposium on Fire Investigation Science & Technology*. Sarasota, National Association of Fire Investigators, 2008, pp. 183–195.
21. I. Murray, F. Ajersch. New metallurgical techniques applied to fire investigation. In: *Fire & Materials '2009*. London, Interscience Communications Ltd., 2009, pp. 857–869.
22. N. J. Carey. *Developing a reliable systematic analysis for arc fault mapping*. Ph. D. diss. Strathclyde, United Kingdom, University of Strathclyde, 2009.
23. R. J. Roby, J. McAllister. Forensic investigation techniques for inspecting electrical conductors involved in fire. In: *Final Technical Report for Award No. 239052*. Columbia, Combustion Science & Engineering, Inc., 2012.
24. K. B. Lebedev, A. Yu. Mokryak, I. D. Cheshko. *Ekspertnoye issledovaniye posle pozhara kontaknykh uzlov elektrooborudovaniya v tselyakh vyyavleniya priznakov bolshikh perekhodnykh soprotivleniy* [Expert research after the fire of the contact points of electrical equipment in order to identify signs of large transient resistance]. Moscow, VNIPO Publ., 2008. 29 p. (in Russian).

For citation: A. I. Nedobitkov. Signs of arc process during conduct of an expert study after fire of a copper contact plate of a car fuse block. *Pozharovzryvobezopasnost' / Fire and Explosion Safety*, 2018, vol. 27, no. 11, pp. 30–40 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2018.27.11.30-40.



Издательство «ПОЖНАУКА»



Г. И. Смелков, В. Н. Черкасов,
В. Н. Веревкин, В. А. Пехотиков, А. И. Рябиков

ЭЛЕКТРОУСТАНОВКИ во взрывопожароопасных зонах

Справочное пособие

Приводятся новые, отвечающие современной нормативной базе, требования по классификации горючих смесей и пожаровзрывоопасных зон; рекомендации по выбору и использованию оборудования, включая кабельные изделия во взрывопожароопасных зонах.

Издание предназначено для инженерно-технических работников, занимающихся проектированием и монтажом электроустановок, работников пожарной охраны и специалистов широкого профиля в качестве учебного пособия для подготовки и повышения квалификации в области пожаровзрывобезопасности электроустановок.

121352, г. Москва, а/я 6; тел./факс: (495) 228-09-03; e-mail: info@fire-smi.ru

А. И. БЫКОВ, ведущий инженер по промышленной безопасности, ООО “Газпром трансгаз Ухта” (Россия, Республика Коми, 169300, г. Ухта, наб. Газовиков, 10/1; e-mail: abykov@sgp.gazprom.ru)

А. В. НОВАК, инженер учебно-научной лаборатории диагностики и неразрушающего контроля, Ухтинский государственный технический университет (Россия, Республика Коми, 169300, г. Ухта, ул. Первомайская, 13; e-mail: avnovak84@gmail.com)

УДК 658.382

МЕТОДИКА ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛЕЙ ЗОН ТЕРМИЧЕСКОГО ПОРАЖЕНИЯ ПРИ ПОЖАРЕ НА МАГИСТРАЛЬНОМ ГАЗОПРОВОДЕ

Показано, что при пожаре на магистральном газопроводе, наряду с параметрами массы газа, средних значений давления и температуры, характеризующих горение, необходимо установить предельные состояния термического воздействия на персонал. Проведен расчет геометрических размеров пламени пожара на магистральном газопроводе для двух сценариев: C_1 — пожар в котловане в виде вертикально горящего столба (колонный пожар); C_2 — две горящие струи газа, направленные от точки разрыва в противоположные стороны вдоль оси магистрального газопровода (струевые пламена). Показано, что термическое воздействие при пожаре на магистральном газопроводе может оцениваться с помощью твердотельных геометрических моделей в виде цилиндра (колонный пожар) и усеченных конусов (струевой пожар). Обоснованы границы опасности теплового влияния для построения модели зон термического поражения.

Ключевые слова: колонный тип горения; струевой тип горения; интенсивность теплового потока; “огненный шар”; коэффициенты облучения; геометрические размеры пламени.

DOI: 10.18322/PVB.2018.27.11.41-50

Введение

Расчет геометрических размеров пламени пожара на магистральном газопроводе (далее — МГ) проводится для двух сценариев: C_1 — пожар в котловане в виде вертикально горящего столба (колонный пожар); C_2 — две горящие струи газа, направленные от точки разрыва в противоположные стороны вдоль оси МГ (пожар струевого типа). Моделирование этих типов пожаров на основе твердотельных моделей в виде вертикального цилиндра для колонного пожара и двух симметрично разнонаправленных усеченных конусов, вершины которых приурочены к точке разрыва МГ для струевого пожара, рекомендовано в СТО Газпром 2-2.3-351–2009 [1] (далее — СТО Газпром). Однако системная методика оценки геометрии, размеров и термического поражения персонала в этом документе не приводится. Отсутствует такая методика и в других действующих нормативных документах, что и определяет актуальность настоящей работы.

Задачами работы являются: 1) обоснование методики оценки распределения интенсивности тепловых потоков на уровне земли для пожара колонного типа (сценарий C_1), вдоль лепестка модели струевого пожара (сценарий C_2) и поперек такого лепестка на основе гипотетического представления

о распределении массы горящего газа внутри усеченного конуса в виде сфер типа “огненный шар”; 2) обоснование методики графического построения зон термического поражения для сценариев C_1 и C_2 с выделением границ территорий безопасных, опасных и фатально непригодных для жизнедеятельности человека в окрестности горящего факела.

Для построения моделей зон термического поражения необходимо зафиксировать границы опасности теплового влияния. Так, по стандарту Американского нефтяного института API 521 уровень теплового потока $q = 9,46 \text{ кВт/м}^2$ для человека без специальной защиты является смертельным в первые же секунды воздействия, а уровень болевого порога (уровень безопасности) по российским нормам, установленный в Методике, утвержденной приказом МЧС РФ № 404 [2], составляет $q_x = 1,4 \text{ кВт/м}^2$.

Целью настоящей статьи является разработка методики построения моделей зон термического поражения при пожаре на МГ.

1. Модель пожара колонного типа

Для пожара колонного типа (сценарий C_1) форма зоны потенциального термического поражения представляется в виде круга с внешним радиусом $R_{1\%}$ условного поражения, равного 1 %, и внутренним ра-

Таблица 1. Распределение теплового потока на уровне поверхности земли при пожаре колонного типа (сценарий C_1)
Table 1. Heat flux distribution at ground level for column-type fire (scenario C_1)

Параметр Parameter	Значение параметра при X , м / Parameter value at X , m											
	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1200	1300
φ_x	1,09	0,373	0,150	0,072	0,038	0,022	0,013	0,008	0,005	0,003	0,001	0,000
v_x	0,694	0,658	0,637	0,628	0,611	0,601	0,593	0,586	0,580	0,574	0,565	
q_x , кВт/м ² q_x , kW/m ²	128,6	41,7	16,2	7,5	3,9	2,25	1,31	0,8	0,5	0,3	0,1	

диусом $R_{100\%}$, соответствующим 100 %-ному условному поражению.

Построение модели зоны термического поражения основано на распределении теплового потока в окрестности горящего пламени и включает определение:

- 1) среднеповерхностной интенсивности теплового излучения пламени E_f (кВт/м²) (в рассматриваемом примере для колонного пожара $E_f \leq 170$ кВт/м²):

$$E_f = Q_{\text{изл}} / S_{\text{ф}}; \quad (1)$$

- 2) коэффициента поглощения теплового потока в атмосфере v_x :

$$v_x = 1,033 + w(0,66w - 0,18) - 0,12 \lg X; \quad (2)$$

- 3) углового коэффициента облучения φ_x :

$$\varphi_x = \frac{R_{\text{эф}}^2 X [1 + (1,7 \exp(0,0022X) \cos^2 \alpha)]}{(R_{\text{эф}}^2 + X^2)^{1,5}} \times [0,0937(\ln X)^2 - 2,29 \ln X + 11,7]; \quad (3)$$

- 4) интенсивности теплового потока q_x (кВт/м²):

$$q_x = E_f v_x \varphi_x, \quad (4)$$

где $Q_{\text{изл}}$ — поток теплового излучения, определяемый как часть общего тепловыделения, кВт;
 $S_{\text{ф}}$ — площадь излучающей поверхности, м²;
 w — относительная влажность, доли ед.;
 X — расстояние от источника горения до облучаемого объекта, м;

$R_{\text{эф}}$ — эффективный радиус пламени, м;
 α — угол наклона оси пламени к горизонту, град.
 Расчеты выполнялись при следующих условиях:

- угол наклона столба пожара к горизонту $\alpha = 90^\circ$ (столб пламени вертикальный);
- эффективный радиус $R_{\text{эф}}^{C_1}$ принимается из выражения

$$R_{\text{эф}}^{C_1} = 0,25 L_{\text{ф}}^{C_1} = 0,25 \cdot 386,41 = 96,6 \text{ м}, \quad (5)$$

где $L_{\text{ф}}^{C_1}$ — длина модели факельного пламени, м;

- среднеповерхностная интенсивность теплового излучения $E_f = 170$ кВт/м² в соответствии с условием, указанным в СТО Газпром [1].

Результаты расчетов представлены в табл. 1.

Как видно из табл. 1, расчет теплового потока можно проводить с любым шагом, что позволяет выявить границы опасности для различных зон теплового влияния [4–9]. Руководствуясь граничными значениями опасности термического поражения ($q \leq 1,4$ кВт/м² — безопасно, $q \geq 9,46$ кВт/м² — смертельно) из табл. 1 и применяя линейную интерполяцию, нетрудно установить, что граница 100 %-ного термического поражения человека в рассматриваемом примере расположена на расстоянии $R_{100\%} = 375$ м, а граница безопасности (вероятность поражения не более 1 %) — на расстоянии $R_{1\%} = 690$ м по горизонтали от центра очага горения до объекта облучения на поверхности земли. Схематично это отражено на рис. 1, на котором модель пожара колонного типа представлена в виде твердотельного цилиндра и зоны потенциального поражения (ЗПП) тепловым излучением, характеризующейся круговыми границами со 100 %-ным (при $q = 9,46$ кВт/м²) и 1 %-ным (при $q = 1,4$ кВт/м²) уровнями летальной опасности [10, 11].

Для оценки достоверности полученных результатов сравним их с расчетами возможных радиусов термического поражения человека, выполненными для вероятных пожаров на магистральных газопроводах Курской обл., на территории которой расположены четыре газопроводных магистрали диаметром $D_y = 1400$ мм с рабочим давлением $P_p = 7,5$ МПа (согласно схеме территориального планирования Курской обл. на <http://www.poiroz.ru>).

Результаты этих расчетов приведены в табл. 2.

Как видно из табл. 2, для колонного пожара при рекомендуемом времени [1] $t_{\text{рек}} = 60$ с возможный радиус термического поражения при вероятных пожарах на магистральных газопроводах Курской обл. по прогнозу МЧС РФ составляет $R_{п 1\%} = 687$ м, при этом зона 100 %-ного смертельного поражения распространяется на расстояние $R_{п 100\%} = 379$ м от центра очага горения. Те же показатели, полученные по предлагаемой расчетной методике, составляют соответственно $R_{п 1\%} = 690$ м и $R_{п 100\%} = 375$ м.

Такая достаточно тесная сходимость позволяет рекомендовать разработанный подход для оперативной оценки зон термического поражения людей

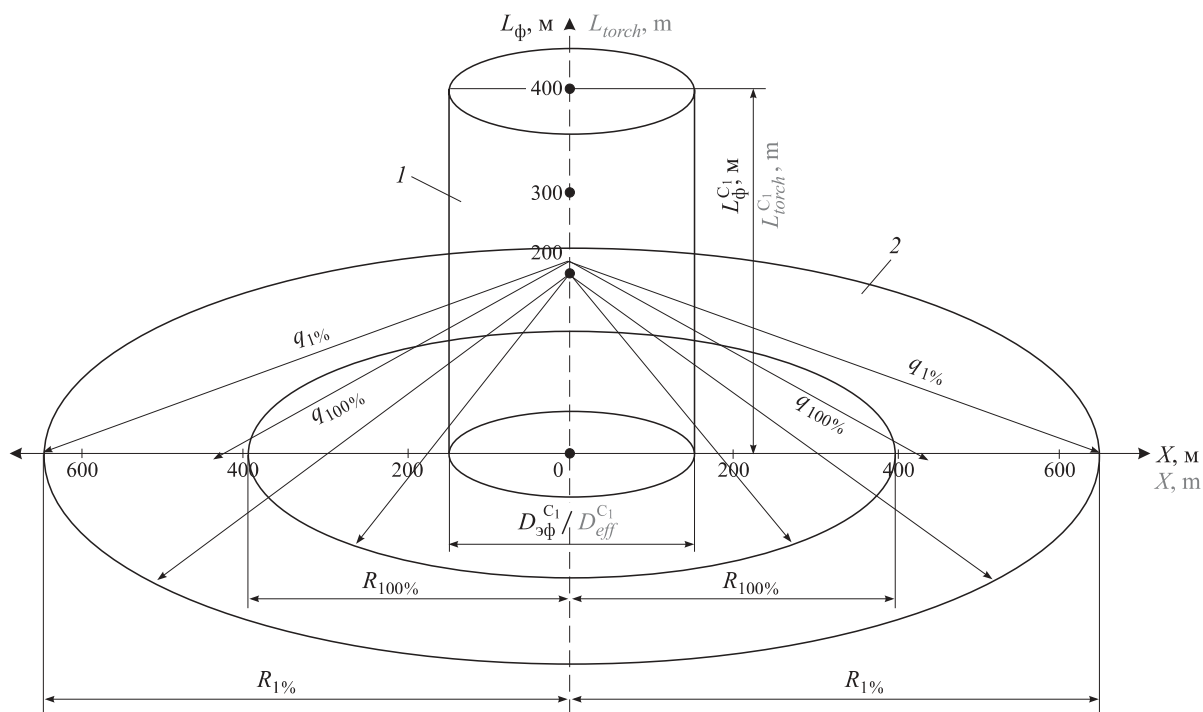


Рис. 1. Модель пожара колонного типа (сценарий C_1): 1 — модель факела (твердотельный цилиндр); 2 — зона термического поражения; $D_{\text{эф}}^{C_1}$ — эффективный диаметр модели факела

Fig. 1. Model of column type fire (scenario C_1): 1 — model of the torch (solid-state cylinder); 2 — heat affected zone; $D_{\text{eff}}^{C_1}$ — the effective diameter of the model of the torch

Таблица 2. Возможные радиусы термического поражения человека при пожаре на МГ Курской обл.

Table 2. Possible radii of thermal damage of the person at the fire on main gas pipeline of Kursk Region

№ п/п No.	Время нахождения в зоне пожара, с Time spent in the fire zone, sec	Радиус поражения R_n , м, при типе пожара Radius of thermal damage R_{dam} , m, at fire type			
		колонном column		струевом jet	
		$R_{n 100\%}$ $R_{\text{dam} 100\%}$	$R_{n 1\%}$ $R_{\text{dam} 1\%}$	$R_{n 100\%}$ $R_{\text{dam} 100\%}$	$R_{n 1\%}$ $R_{\text{dam} 1\%}$
1	5	306	566	690	1200
2	20	354	654	1060	1360
3	60	379	687	1114	1420

при пожарах колонного типа на магистральных газопроводах [12, 13].

Этот же методический подход предлагается использовать для определения зон термического поражения в случае струевого типа пожара.

2. Модель пожара струевого типа

Модель пожара струевого типа (сценарий C_2) в виде двух противоположно направленных твердотельных усеченных конусов, вершины которых приурочены к точке разрыва газопровода, а их образующие совпадают с плоскостью поверхности земли, представлена на рис. 2,а, а ее горизонтальная проекция в форме двулестковой фигуры — на рис. 2,б.

В силу этой особенности расчет распределения теплового потока следует выполнять для каждого лепестка модели вдоль и поперек оси его простираения [14, 15].

А. Распределение теплового потока вдоль оси лепестка модели струевого пламени

Для рассматриваемого примера по аналогии с предыдущим расчетом задаются значениями эффективного радиуса $R_{\text{эф}(i)}^{C_2}$ ($i = 1, 2$) для каждого лепестка струевого пламени исходя из рекомендаций СТО Газпром [1]:

$$R_{\text{эф}(1)}^{C_2} = 0,25 L_{\phi}^{C_2} = 0,25 \cdot 450,92 = 112,73 \text{ м};$$

$$R_{\text{эф}(2)}^{C_2} = 0,25 L_{\phi}^{C_2} = 0,25 \cdot 430,43 = 107,61 \text{ м},$$

где $L_{\phi}^{C_2}$ — общая длина пламени, м.

С учетом симметричности горения струевого пламени расчет распределения интенсивности теплового потока выполняется для одного лепестка модели с наибольшим радиусом $R_{\text{эф}(1)}^{C_2} = 112,73 \text{ м}$.

Далее с учетом угла наклона α оси усеченного конуса к горизонту рассчитывается распределение интенсивности теплового потока q_x на уровне поверхности земли аналогично тому, как это делается для колонного пожара. При этом ось усеченного конуса будет иметь наклон к горизонту под углом α (см. рис. 2,а), тангенс которого определяется по формуле

$$\text{tg } \alpha = 0,5 W_{2(1)} / L_{\phi(1)}^{C_2}. \quad (6)$$

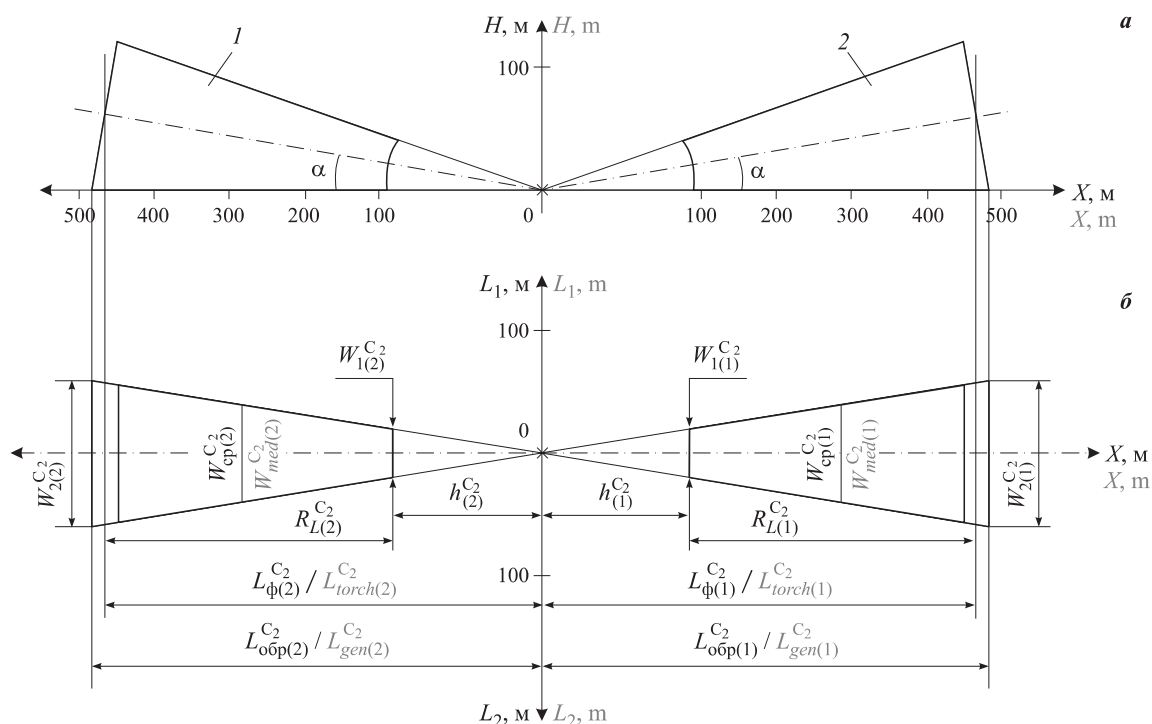


Рис. 2. Модель пожара струевого типа (сценарий C_2): $a, б$ — вертикальная и горизонтальная проекции модели; 1, 2 — модели усеченных конусов 1-й и 2-й струй пожара; (1), (2) — номера факельных струй; W_1, W_2, W_{cp} — ширина соответственно малого, большого и среднего оснований усеченных конусов; h — длина отрыва пламени; R_L — видимая длина пламени; $L_{обп}^{C_2}$ — длина образующей; 0 — точка разрыва газопровода

Fig. 2. Jet type fire model: a, b — vertical and horizontal projection of the model; 1, 2 — models of truncated cones of the 1st and 2nd jets of fire; (1), (2) — numbers of flare jets; W_1, W_2, W_{med} — the width of small, large and medium bases of truncated cones; h — length of separation of the flame; R_L — visible length of the flame; $L_{gen}^{C_2}$ — the length of the generatrix; 0 — break point of the pipeline

Для рассматриваемого случая

$$\operatorname{tg} \alpha = 0,5 \cdot 117,24 / 450,92 = 0,13.$$

Отсюда $\alpha = 7,4^\circ$.

Затем с использованием полученного значения α определяются:

- среднеповерхностная интенсивность теплового излучения E_f (кВт/м²) — по формуле (1) (для струевого пожара в рассматриваемом примере $E_f \leq 200$ кВт/м²);
- коэффициенты поглощения теплового излучения v_x — по формуле (2);
- угловые коэффициенты облучения φ_x — по формуле (3);
- интенсивность теплового потока q_x — по формуле (4).

Распределение интенсивности теплового потока вдоль оси простираения лепестка модели представлено в табл. 3.

Анализ табл. 3 показывает, что в рассматриваемом примере продольная зона опасного термического воздействия с вероятностью граничного поражения 1 % (при $q = 1,4$ кВт/м²) простирается на расстояние $R_{1\%}^{C_2} = 1355$ м от точки разрыва газопровода. Полученное значение эффективного радиуса по сравнению с прогнозом МЧС РФ для Курской обл. ($R_{1\%}^{C_2} = 1420$ м), выполненным для аналогичных условий (см. табл. 2), отличается менее чем на 5 %, что можно признать удовлетворительным для теплотехнических прогнозов [16, 17].

Однако распределение интенсивности теплового потока вдоль оси струевого пламени определяет

Таблица 3. Распределение интенсивности теплового потока вдоль оси простираения лепестка модели струевого пламени (сценарий C_2) / **Table 3.** Intensity of heat flux distribution along the axis of the blade strike of the jet flame model (scenario C_2)

Параметр Parameter	Значение параметра при X , м / Parameter value at X , m															
	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	
v_x	3,6	1,7	0,8	0,5	0,3	0,2	0,16	0,12	0,09	0,07	0,05	0,04	0,02	0,005	—	
φ_x	0,694	0,658	0,637	0,622	0,611	0,601	0,593	0,586	0,580	0,574	0,570	0,565	0,561	0,557	0,553	
q_x , кВт/м ² q_x , kW/m ²	505,2	221,1	107,0	59,7	37,9	26,4	19,0	14,1	10,4	8,0	5,7	4,1	2,35	0,56	—	

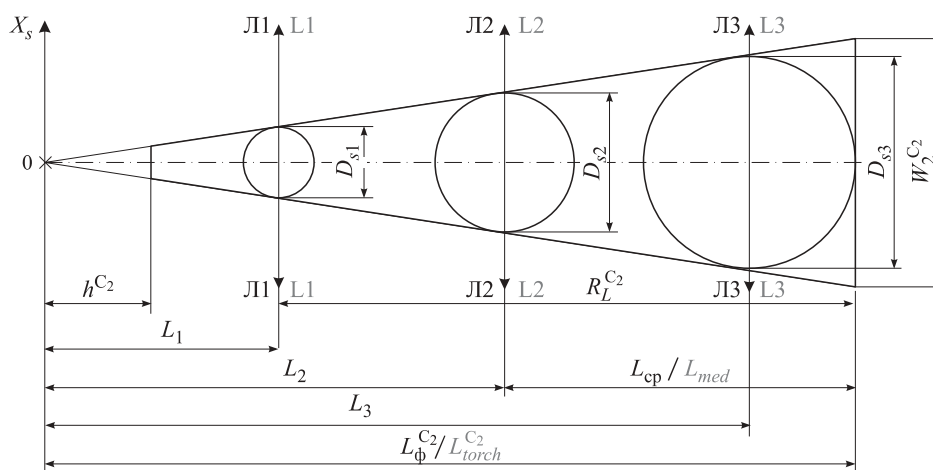


Рис. 3. Модель усеченного конуса с вписанными сферами “огненный шар”

Fig. 3. Model of a truncated cone with inscribed spheres “fireball”

только линейную координату положения точки облучения относительно точки воспламенения. Для определения границ зоны потенциального термического воздействия необходимо оценить тепловые потоки, направленные перпендикулярно оси горения струевого пламени.

Б. Распределение теплового потока поперек оси лепестка модели струевого пламени

Для решения этой задачи предлагается принять следующие допущения.

Положим, что масса горящего газа, заключенная в модели усеченного конуса, сосредоточена пропорционально в нескольких (например, в трех) шаровых сферах, вписанных в лепесток модели конуса с касанием большого основания, в сечении средней линии и вблизи малого основания. Модель усеченного конуса с вписанными сферами представлена на рис. 3.

При этом диаметр вписанного шара D_{s3} у большого основания модели усеченного конуса можно определить из геометрических построений:

$$D_{s3} = W_2^{C2} \operatorname{tg}(45 - \alpha/2), \quad (7)$$

где α — угол между образующей и осью модели конуса.

Для рассматриваемого примера угол α составляет $7,4^\circ$ (см. рис. 2). Подставив это значение в уравнение (7), получим:

$$D_{s3} = 117,24 \operatorname{tg}(45 - 7,4/2) = 103 \text{ м.}$$

Диаметры вписанных шаров средней линии D_{s2} и вблизи малого основания модели D_{s1} определяются из уравнений подобия:

$$D_{s1} = D_{s3} L_1 / L_3; \quad (8)$$

$$D_{s2} = D_{s3} L_2 / L_3, \quad (9)$$

где L_1 — расстояние от точки разрыва 0 до сечения D_{s1} ; принимается произвольно из условия $L_1 > h^{C2}$; L_2 — то же, до среднего сечения D_{s2} ; $L_3 = L_\phi^{C2} - R_L^{C2}/2$;

L_3 — то же, до сечения D_{s3} ; $L_3 = L_\phi^{C2} - D_{s3}/2$.

Для рассматриваемого примера

$$L_1 = 120 \text{ м} > h^{C2} = 90,18 \text{ м};$$

$$L_2 = 450,92 - 360,74/2 = 270,55 \text{ м};$$

$$L_3 = 450,92 - 103/2 = 399,42 \text{ м.}$$

Подставив эти значения в формулы (8) и (9), получим:

$$D_{s2} = 103 \cdot 270,55/399,42 = 69,77 \text{ м};$$

$$D_{s1} = 103 \cdot 120/399,42 = 30,94 \text{ м.}$$

Каждая из вписанных сфер принимается за “огненный шар”, тепловое излучение которого направлено по лучам Л1, Л2 и Л3, проведенным через проекции диаметров этих сфер на горизонтальную плоскость (см. рис. 3).

В этом случае интенсивность теплового излучения q_s (кВт/м²) для “огненного шара” определяется по Методике [2] в соответствии с п. 24 приложения 3 из выражения (П3.52):

$$q_s = E_s v_s \varphi_s, \quad (10)$$

где E_s — среднеповерхностная интенсивность теплового излучения “огненного шара”, кВт/м²; v_s — коэффициент пропускания атмосферы; φ_s — угловой коэффициент облучения.

Значение E_s для “огненного шара” в соответствии с рекомендациями п. 24 Методики [2] и ГОСТ 12.3.047–2012 принимается на основе имеющихся экспериментальных данных или равным 350 кВт/м². Однако методика проведения экспериментов по определению среднеповерхностной интенсивности излучения “огненных шаров” с горящим сжатым природным газом в нормативных документах отсутствует. В рассматриваемом примере параметр E_s для обеих струй горения газа имеет следующие расчетные значения:

$$E_{f(1)}^{C2} = 319,96 \text{ кВт/м}^2 < 350 \text{ кВт/м}^2;$$

$$E_{f(2)}^{C2} = 312,82 \text{ кВт/м}^2 < 350 \text{ кВт/м}^2.$$

В соответствии с принятым допущением о пропорциональности распределения лучистой энергии в объемах трех вписанных сфер интенсивность сред-неповерхностного излучения каждой из них $E_{s(i)}$ ($i = 1, 2, 3$) может быть определена из уравнения про-порциональности:

$$E_{s(i)} = V_{s(i)} E_{f(1)}^{C_2} / V_M, \quad (11)$$

где $V_{s(i)}$ ($i = 1, 2, 3$) — объем каждого из вписанных “огненных шаров”, м^3 ;

V_M — объем модели усеченного конуса, м^3 .

Объем для каждого из вписанных “огненных шаров” определяется по формуле [3]:

$$V_{s(i)} = \frac{\pi D_{s(i)}^3}{6} = 0,524 D_{s(i)}^3. \quad (12)$$

Для рассматриваемого примера:

$$V_{s(1)} = 0,524 \cdot 30,94^3 = 0,0155 \cdot 10^6 \text{ м}^3;$$

$$V_{s(2)} = 0,524 \cdot 69,77^3 = 0,1780 \cdot 10^6 \text{ м}^3;$$

$$V_{s(3)} = 0,524 \cdot 103^3 = 0,5726 \cdot 10^6 \text{ м}^3.$$

Объем модели усеченного конуса определяется из стандартного выражения:

$$V_M = \frac{\pi R_L^{C_2}}{3} \left[\left(\frac{W_1^{C_2}}{2} \right)^2 + \frac{W_1^{C_2}}{2} \frac{W_2^{C_2}}{2} \left(\frac{W_2^{C_2}}{2} \right)^2 \right]. \quad (13)$$

Для рассматриваемого примера объем модели усеченного конуса составит:

$$V_M = \frac{3,14 \cdot 360,74}{3} \left[\left(\frac{23,45}{2} \right)^2 + \frac{23,45}{2} \frac{117,24}{2} \left(\frac{117,24}{2} \right)^2 \right] = 1,61 \cdot 10^6 \text{ м}^3.$$

Тогда условные значения среднеповерхностного излучения $E_{s(i)}$ для каждого из вписанных “огненных шаров” составят:

$$E_{s(1)} = \frac{0,0155 \cdot 10^6 \cdot 319,96}{1,61 \cdot 10^6} = 3,08 \text{ кВт/м}^2;$$

$$E_{s(2)} = \frac{0,1780 \cdot 10^6 \cdot 319,96}{1,61 \cdot 10^6} = 35,37 \text{ кВт/м}^2;$$

$$E_{s(3)} = \frac{0,5726 \cdot 10^6 \cdot 319,96}{1,61 \cdot 10^6} = 113,79 \text{ кВт/м}^2.$$

Далее в соответствии с п. 24 Методики МЧС РФ [2] определяются значения интенсивности тепло-вого излучения $q_s(X_s)$ из выражения (10) с одновре-менным расчетом коэффициентов:

- облучения $\varphi_s(X_s)$:

$$\varphi_s(X_s) = \frac{1}{4 [1 + (X_s/D_s)^2]^{1,5}}; \quad (14)$$

- пропускания атмосферы $v_s(X_s)$:

$$v_s(X_s) = \exp \left[-7 \cdot 10^4 \left(\sqrt{X_s^2 + H_s^2} - H_s \right) \right], \quad (15)$$

где X_s — расстояние от облучаемого объекта до точ-ки на поверхности земли непосредственно под центром “огненного шара”, м;

H_s — высота центра “огненного шара”, м; $H_s = D_s/2$.

Таблица 4. Результаты расчета интенсивности теплового излучения $q_s(X_s)$ вписанных в модель “огненных шаров”

Table 4. Results of calculation of heat flows $q_s(X_s)$ inscribed in the model of “fireballs”

Параметр Parameter	Значение параметра при X_s , м / Parameter value at X_s , m										
	20	50	75	100	125	150	200	220	240	260	280
$E_{s1} = 3,08 \text{ кВт/м}^2$; $H_{s1} = 15,47 \text{ м}$; $D_{s1} = 30,94 \text{ м}$ / $E_{s1} = 3.08 \text{ kW/m}^2$; $H_{s1} = 15.47 \text{ m}$; $D_{s1} = 30.94 \text{ m}$											
Луч 1 / Beam 1											
$v_{s1}(X_s)$	0,99	0,97	0,96	0,94	0,93	0,91					
$\varphi_{s1}(X_s)$	0,15	0,04	0,014	0,006	0,003	0,002					
$q_{s1}(X_s)$	0,46	0,12	0,04	0,02	0,009	0,006					
$E_{s2} = 35,37 \text{ кВт/м}^2$; $H_{s2} = 34,89 \text{ м}$; $D_{s2} = 69,77 \text{ м}$ / $E_{s2} = 35.37 \text{ kW/m}^2$; $H_{s2} = 34.89 \text{ m}$; $D_{s2} = 69.77 \text{ m}$											
Луч 2 / Beam 2											
$v_{s2}(X_s)$	0,99	0,98	0,97	0,95	0,94						
$\varphi_{s2}(X_s)$	0,22	0,13	0,08	0,05	0,029						
$q_{s2}(X_s)$	7,83	4,50	2,74	1,68	0,93						
$E_{s3} = 113,79 \text{ кВт/м}^2$; $H_{s3} = 51,5 \text{ м}$; $D_{s3} = 103,0 \text{ м}$ / $E_{s3} = 113.79 \text{ kW/m}^2$; $H_{s3} = 51.5 \text{ m}$; $D_{s3} = 103.0 \text{ m}$											
Луч 3 / Beam 3											
$v_{s3}(X_s)$	1,0	0,99	0,97	0,96	0,94	0,93	0,90	0,89	0,87	0,86	0,84
$\varphi_{s3}(X_s)$	0,24	0,18	0,13	0,09	0,06	0,05	0,024	0,019	0,015	0,012	0,010
$q_{s3}(X_s)$	27,29	20,26	14,13	9,82	6,41	5,29	2,46	1,92	1,48	1,17	0,95

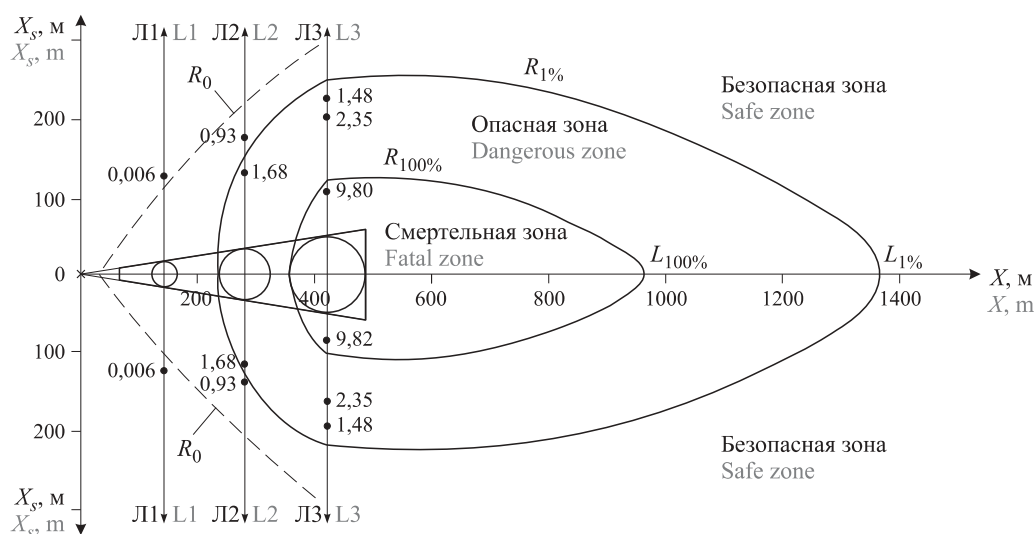


Рис. 4. Распределение теплового потока на горизонтальную плоскость при струевом типе пожара для одной струи горения: R_0 — граница теплового влияния (безопасная зона); $R_{1\%}$, $R_{100\%}$ — границы 1 %-ного поражения ($q = 1,4 \text{ кВт/м}^2$, опасная зона); 100 %-ного поражения ($q = 9,46 \text{ кВт/м}^2$, зона смертельного поражения); $L_{1\%}$, $L_{100\%}$ — координаты продольных длин участков соответственно с 1 %-ным ($q = 1,4 \text{ кВт/м}^2$) и 100 %-ным ($q = 9,46 \text{ кВт/м}^2$) термическим поражением; на лучах Л1, Л2 и Л3 — значения интенсивности теплового излучения, кВт/м^2 , в точках X_s

Fig. 4. The distribution of heat flow to the horizontal plane at the jet type of fire for one jet of combustion: R_0 — the boundary of the thermal effect (safe zone); $R_{1\%}$ — the boundary of 1 % damage ($q = 1,4 \text{ kW/m}^2$, dangerous zone); $R_{100\%}$ — the boundary of 100 % damage ($q = 9,46 \text{ kW/m}^2$, fatal zone); $L_{1\%}$, $L_{100\%}$ — the coordinates of the longitudinal lengths of the plots, respectively, with 1 % ($q = 1,4 \text{ kW/m}^2$) and 100 % thermal damage ($q = 9,46 \text{ kW/m}^2$); on beams L1, L2 and L3 — values of thermal radiation intensity, kW/m^2 , at points X_s

Результаты расчетов представлены в табл. 4.

Графический вид распределения теплового потока на горизонтальную плоскость при струевом типе пожара для одной струи горения представлен на рис. 4 (для противоположной струи горения графическое распределение теплового потока является аналогичным и размещается симметрично). Как видно из рис. 4, для струевого пожара (сценарий C_2) форма зоны потенциального поражения тепловым излучением представляется в виде лепестков. Внешняя граница лепестков определяется длиной $L_{1\%}$ продольной оси, ограниченной изолинией $R_{1\%}$ условного поражения, равного 1 %, и внутренним размером $L_{100\%}$ по изолинии $R_{100\%}$ условного поражения, равного 100 %, а также полушириной лепестков, образованных изолиниями $R_{1\%}$ и $R_{100\%}$ вероятности поражения, равной соответственно 1 и 100 % [18–21].

В рассматриваемом примере параметры полуширины лепестка с изолиниями $R_{1\%}$ и $R_{100\%}$ приурочены к лучу Л3 и составляют в линейном измерении соответственно $L_{31\%} = 245 \text{ м}$ и $L_{3100\%} = 106 \text{ м}$. Эти координаты полностью определяют территориальные размеры зон термического поражения с опасным ($L_{31\%}$) и смертельным ($L_{3100\%}$) исходом при горении струевых пламен (см. рис. 4). При этом луч Л2 определяет границу только 1 %-ной вероятности поражения — $L_{21\%} = 110 \text{ м}$, а в направлении луча Л1 фиксируется лишь незначительное тепловое влияние, исходящее от малого гипотетического “огненного шара”.

Как показывает анализ полученных результатов, преобладающая роль в определении территориальных размеров зон термического поражения принадлежит наибольшему гипотетическому “огненному шару”, приуроченному к большему основанию усеченного конуса, представляющего собой твердотельную модель струевого пламени.

В заключение следует отметить, что представленная методика построения моделей зон термического поражения при пожаре на МГ использована для разработки программного продукта “Экспертная система «Аналитик пожаров»”, позволяющего осуществлять текущий мониторинг уровня потенциального пожарного риска эксплуатируемого МГ.

Выводы

Таким образом, исходя из поставленной цели в настоящей статье приведена методика построения моделей зон термического поражения при пожаре на МГ для двух видов сценариев.

1. Предложена методика геометрического построения (в виде модели твердотельного цилиндра) зоны термического поражения при колонном типе пожара (сценарии C_1) на магистральном газопроводе, образующем круговую проекцию на поверхности ландшафта с радиальным распространением теплового потока от центра очага горения к внешней границе зоны.

2. Разработан способ построения зон термического поражения при струевом пожаре (сценарии

C₂) на магистральном газопроводе, основанный на гипотетическом допущении концентрации лучистой энергии в виде “огненных шаров”, размещен-

ных равномерно в границах усеченного конуса, представляющего собой твердотельную модель струевого пламени.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СТО Газпром 2-2.3-351–2009. Методические указания по проведению анализа риска опасных производственных объектов газотранспортных предприятий ОАО “Газпром”: распоряжение ОАО “Газпром” № 83 от 30.03.2009; введ. 30.12.2009. — М.: ООО “Газпром Экспо”, 2009. — 377 с.
2. Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах: приказ МЧС РФ от 10.07.2009 № 404 (ред. от 14.12.2010). URL: <http://docs.cntd.ru/document/902170886> (дата обращения: 18.10.2018).
3. Корн Г. А., Корн Т. М. Справочник по математике для научных работников и инженеров: определения, теоремы, формулы / Пер. с англ. — 5-е изд. — М.: Наука, 1984. — 831 с.
4. Белицкий В. Д., Ломов С. М. Проектирование и эксплуатация магистральных газопроводов. — Омск: ОмГТУ, 2011. — 62 с.
5. Брушлинский Н. Н., Глуховенко Ю. М., Коробко В. Б., Соколов С. В., Вагнер П., Лупанов С. А., Клепко Е. А. Пожарные риски. Вып 3. Прогнозирование динамики пожарных рисков / Под ред. Н. Н. Брушлинского. — М.: ФГУ ВНИИПО, 2005. — 64 с.
6. Бухмиров В. В. Расчет коэффициента теплоотдачи: учебное пособие для вузов. — Иваново: Ивановский гос. энергетический ун-т, 2007. — 78 с.
7. Быков А. И. Определение параметра среднего давления газа на участке магистрального газопровода // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2015. — Т. 24, № 1. — С. 49–54.
8. Быков А. И. Определение средней температуры газа на аварийном участке магистрального газопровода // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2015. — Т. 24, № 6. — С. 43–50.
9. Быков А. И. Методика оценки массы природного газа, участвующего в образовании огненного факела при разрыве магистрального газопровода // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2015. — Т. 24, № 9. — С. 48–54. DOI: 18322/PVB.2015.24.09.48-54.
10. Быков А. И. Оценка пожарной опасности газотранспортных объектов // Газовая промышленность. — 2013. — № 10(697). — С. 69–71.
11. Дектерев А. А., Гаврилов А. А., Литвинцев К. Ю., Амельчугов С. П., Серегин С. Н. Моделирование динамики пожаров в спортивных сооружениях // Пожарная безопасность. — 2007. — № 4. — С. 49–58.
12. Закиров А. М. Количественная оценка опасности поражения человека тепловым излучением при пожарах на химических и нефтехимических предприятиях: дис. ... канд. техн. наук. — Казань, 2011. — 105 с.
13. Цхадая Н. Д., Быков А. И. Методика определения величины радиационного теплового потока при пожаре на магистральном газопроводе // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. — 2017. — № 4. — С. 39–41.
14. Bohl D., Jackson G. Experimental study of the spill and vaporization of a volatile liquid // Journal of Hazardous Materials. — 2007. — Vol. 140, Issue 1-2. — P. 117–128. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2006.06.076.
15. Yang D., Li Z. P., Hong O. Y. Effects of humidity, temperature and slow oxidation reactions on the occurrence of gasoline-air explosions // Journal of Fire Protection Engineering. — 2013. — Vol. 23, No. 3. — P. 226–238. DOI: 10.1177/1042391513486464.
16. Wong W. C.-K., Dembsey N. A., Alston J., Lautenberger C. A multi-component dataset framework for validation of CFD flame spread models // Journal of Fire Protection Engineering. — 2013. — Vol. 23, No. 2. — P. 85–134. DOI: 10.1177/1042391512472087.
17. Zhai L., Li J. Correlation and difference between stoll criterion and damage integral model for burn evaluation of thermal protective clothing // Fire Safety Journal. — 2016. — Vol. 86, No. 2. — P. 120–125. DOI: 10.1016/j.firesaf.2016.10.007.
18. Rajendram A., Khan F., Garaniya V. Modelling of fire risks in an offshore facility // Fire Safety Journal. — 2015. — Vol. 71, No. 1. — P. 79–85. DOI: 10.1016/j.firesaf.2014.11.019.
19. Lau C. K., Lai K. K., Lee Y. P., Du J. Fire risk assessment with scoring system, using the support vector machine approach // Fire Safety Journal. — 2015. — Vol. 78, No. 8. — P. 188–195. DOI: 10.1016/j.firesaf.2015.10.003.
20. Zhen Y., Wang Z., Wang J., Wang C., Cui Y. Experimental and numerical study on connecting pipe and vessel size effects on methane-air explosions in interconnected vessels // Journal of Fire Sciences. — 2018. — Vol. 36, No. 3. — P. 164–180. DOI: 10.1177/0734904118760165.

21. Troitzsch J. H. Fires, statistics, ignition sources, and passive fire protection measures // Journal of Fire Sciences. — 2016. — Vol. 34, No. 3. — P. 171–198. DOI: 10.1177/0734904116636642.

Материал поступил в редакцию 20 октября 2018 г.

Для цитирования: Быков А. И., Новак А. В. Методика построения моделей зон термического поражения при пожаре на магистральном газопроводе // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2018. — Т. 27, № 11. — С. 41–50. DOI: 10.18322/PVB.2018.27.11.41-50.

English

TECHNIQUE OF BUILDING MODELS OF THE HEAT AFFECTED ZONES IN THE FIRE ON THE MAIN GAS PIPELINE

A. I. BYKOV, Lead Engineer for Industrial Safety of LLC “Gazprom transgaz Ukhta” (Embankment Gazovikov, 10/1, Ukhta, 169300, Komi Republic, Russian Federation; e-mail: abykov@sgp.gazprom.ru)

A. V. NOVAK, Engineer of Educational and Scientific Laboratory of Diagnostics and Nondestructive Testing, Ukhta State Technical University (Pervomayskaya St., 13, Ukhta, 169300, Komi Republic, Russian Federation; e-mail: avnovak84@gmail.com)

ABSTRACT

Introduction. It is known that the calculation of the parameters of uncontrolled combustion is very difficult because of its spontaneity and disordered forms. Therefore, they resort to the modeling of combustion on the basis of known geometric shapes. For example, for a strait fire the burning area is modeled in the form of a rectangle, when burning a torch — in the form of a circle, when igniting a tank with LVZh, GZh or LNG — in the form of a “fireball”, etc.

Methodology. Models of the fire to the main gas pipeline (MG) in accordance with the recommendations of STO Gazprom 2-2.3-351–2009 is a vertical solid cylinder to fire column type (scenario C_1) and two against solid-opalone directed truncated cones for jet-type combustion (scenario C_2). However, there are no systematic methods of quantitative assessment of the intensity of thermal effects and geometric construction of heat affected zones in case of fires at MG in the existing regulations. This gap explains the relevance of this article, which presents methods for determining the emissivity of heat fluxes at ground level for fires scenarios C_1 and C_2 and justified methods of geometric construction of zones of thermal danger in the vicinity of the burning flame column or two oppositely directed burning jets. A numerical example of the calculation of thermal parameters for the construction of geometric shapes of heat affected zones is given and the illustrations of their graphical execution are presented.

Conclusion. The method of construction of models of heat affected zones is put in the subsequent basis for the development of the software product “Expert system “Fire Analyst”, which provides operational monitoring of the level of potential fire risk operated by MG in the “online” mode.

Keywords: column burning type; jet-flames burning type; intensity of heat flow; “fireball”; radiation coefficient; geometrical dimensions of flame.

REFERENCES

1. STO Gazprom 2-2.3-351–2009. *Methodical guidelines for risk analysis of hazardous production facilities of gas transportation companies of JSC Gazprom*. Decree of LLC “Gazprom transgaz Ukhta” on 30.03.2009 No. 83. Moscow, LLC “Gazprom Expo” Publ., 2009. 377 p. (in Russian).
2. *The methodology for determining the estimated values of fire risk at the production facilities*. Order of Emercom of Russian Federation on 10.07.2009 No. 404 (ed. on 14.12.2010) (in Russian). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/902170886> (Accessed 18 October 2018).
3. G. A. Korn, T. M. Korn. *Mathematical handbook for scientists and engineers: definitions, theorems and formulas for reference and review*. 2nd ed. New York, McGraw-Hill, 1968. xix, 1130 p. (Russ. ed.: Korn G. A., Korn T. M. *Spravochnik po matematike dlya nauchnykh rabotnikov i inzhenerov: opredeleniya, teoremy, formuly*. Moscow, Nauka Publ., 1984. 831 p.).

4. V. D. Belitskiy, S. M. Lomov. *Proektirovaniye i ekspluatatsiya magistralnykh gazoprovodov* [Design and operation of gas pipelines]. Omsk, Omsk State Technical University Publ., 2011. 62 p. (in Russian).
5. N. N. Brushlinskiy (ed.), Yu. M. Glukhovenko, V. B. Korobko, S. V. Sokolov, P. Wagner, S. A. Lupanov, E. A. Klepko. *Pozharnyye riski. Vypusk 3. Prognozirovaniye dinamiki pozharnykh riskov* [Fire risks. Episode 3. Forecasting fire risk]. Moscow, VNIPO Publ., 2005. 64 p. (in Russian).
6. V. V. Bukhmirov. *Raschet koeffitsienta teplootdachi* [Calculation of heat transfer coefficient]. Ivanovo, Ivanovo State Energy University Publ., 2007. 78 p. (in Russian).
7. A. I. Bykov. Parameter definition of the average gas pressure in the section of the pipeline. *Pozharovzryvbezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2015, vol. 24, no. 1, pp. 49–54 (in Russian).
8. A. I. Bykov. Determination of the average gas temperature in the emergency section of the main pipeline. *Pozharovzryvbezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2015, vol. 24, no. 6, pp. 43–50 (in Russian).
9. A. I. Bykov. Method of estimating of the natural gas mass involved in the formation of a fiery torch at break of the main pipeline. *Pozharovzryvbezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2015, vol. 24, no. 9, pp. 48–54 (in Russian). DOI: 18322/PVB.2015.24.09.48-54.
10. A. I. Bykov. Estimation of fire danger of gas transportation objects. *Gazovaya promyshlennost' / Gas Industry*, 2013, no. 10(697), pp. 69–71 (in Russian).
11. A. A. Dekterev, A. A. Gavrilov, K. Yu. Litvintsev, S. P. Amelchugov, S. N. Seregin. Modelin of fire dynamics in sport building. *Pozharnaya bezopasnost / Fire Safety*, 2007, no. 4, pp. 49–58 (in Russian).
12. A. M. Zakirov. *Quantitative assessment of the danger of human exposure to thermal radiation in fires in chemical and petrochemical plants*. Cand. tech. sci. diss. Kazan, 2011. 105 p. (in Russian).
13. N. D. Tskhadaya, A. I. Bykov. The method of determining the value of the radiation flow in case of fire on the main gas pipeline. *Stroitelstvo neftyanykh i gazovykh skvazhin na sushe i na more / Construction of Oil and Gas Wells on Land and at Sea*, 2017, no. 4, pp. 39–41 (in Russian).
14. D. Bohl, G. Jackson. Experimental study of the spill and vaporization of a volatile liquid. *Journal of Hazardous Materials*, 2007, vol. 140, issue 1-2, pp. 117–128. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2006.06.076.
15. D. Yang, Z. P. Li, O. Y. Hong. Effects of humidity, temperature and slow oxidation reactions on the occurrence of gasoline-air explosions. *Journal of Fire Protection Engineering*, 2013, vol. 23, no. 3, pp. 226–238. DOI: 10.1177/1042391513486464.
16. W. C.-K. Wong, N. A. Dembsey, J. Alston, C. Lautenberger. A multi-component dataset framework for validation of CFD flame spread models. *Journal of Fire Protection Engineering*, 2013, vol. 23, no. 2, pp. 85–134. DOI: 10.1177/1042391512472087.
17. L. Zhai, J. Li. Correlation and difference between stoll criterion and damage integral model for burn evaluation of thermal protective clothing. *Fire Safety Journal*, 2016, vol. 86, no. 2, pp. 120–125. DOI: 10.1016/j.firesaf.2016.10.007.
18. A. Rajendram, F. Khan, V. Garaniya. Modelling of fire risks in an offshore facility. *Fire Safety Journal*, 2015, vol. 71, no. 1, pp. 79–85. DOI: 10.1016/j.firesaf.2014.11.019.
19. C. K. Lau, K. K. Lai, Y. P. Lee, J. Du. Fire risk assessment with scoring system, using the support vector machine approach. *Fire Safety Journal*, 2015, vol. 78, no. 8, pp. 188–195. DOI: 10.1016/j.firesaf.2015.10.003.
20. Y. Zhen, Z. Wang, J. Wang, C. Wang, Y. Cui. Experimental and numerical study on connecting pipe and vessel size effects on methane–air explosions in interconnected vessels. *Journal of Fire Sciences*, 2018, vol. 36, no. 3, pp. 164–180. DOI: 10.1177/0734904118760165.
21. J. H. Troitzsch. Fires, statistics, ignition sources, and passive fire protection measures. *Journal of Fire Sciences*, 2016, vol. 34, no. 3, pp. 171–198. DOI: 10.1177/0734904116636642.

For citation: A. I. Bykov, A. V. Novak. Technique of building models of the heat affected zones in the fire on the main gas pipeline. *Pozharovzryvbezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2018, vol. 27, no. 11, pp. 41–50 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2018.27.11.41-50.

Ю. Н. ШЕБЕКО, д-р техн. наук, профессор, главный научный сотрудник отдела пожарной безопасности объектов и технологий, ВНИИПО МЧС России (Россия, 143903, Московская обл., г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, 12; e-mail: yn_shebeko@mail.ru)

А. Ю. ШЕБЕКО, канд. техн. наук, начальник отдела пожарной безопасности строительных материалов, ВНИИПО МЧС России (Россия, 143903, Московская обл., г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, 12; e-mail: ay_shebeko@mail.ru)

А. Н. ГИЛЕТИЧ, д-р техн. наук, начальник отдела производственного контроля Департамента по строительству и эксплуатации гражданских объектов ПАО "Ростелеком" (Россия, 115172, г. Москва, ул. Гончарная, 30; e-mail: angiletich@mail.ru)

УДК 614.841.12

МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТРЕБУЕМЫХ ПРЕДЕЛОВ ОГНЕСТОЙКОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

Предложен новый вероятностный метод определения требуемых пределов огнестойкости строительных конструкций, отличный от приведенного в ГОСТ Р 12.3.047–2012. Показано, что он основан: во-первых, на сравнении распределений таких случайных величин, как расчетные времена эвакуации и спасения людей при пожаре на производственном объекте, с одной стороны, и пределы огнестойкости строительных конструкций — с другой, в отличие от стандартного метода, сравнивающего эквивалентную продолжительность пожара и предел огнестойкости; во-вторых, на праве владельца объекта рисковать своим имуществом при безусловном выполнении требований по безопасности персонала производственного объекта и населения, проживающего вблизи объекта. Представлены примеры применения предложенного метода для случаев эвакуации и спасения людей. Отмечено, что для широкого применения метода требуется задание таких исходных данных, как требуемая надежность строительных конструкций, расчетное время эвакуации и дисперсия его нормального распределения, расчетное время спасения и дисперсия его нормального распределения, дисперсия нормального распределения предела огнестойкости.

Ключевые слова: требуемые пределы огнестойкости; вероятностный подход; время эвакуации; время спасения; случайная величина; нормальное распределение; надежность строительных конструкций.

DOI: 10.18322/PVB.2018.27.11.51-57

Введение

В настоящее время ГОСТ Р 12.3.047–2012 регламентирована методика определения требуемых пределов огнестойкости строительных конструкций, основанная на [1, 2]. В этих работах реализован вероятностный подход, при котором сравниваются не фиксированные значения предела огнестойкости и эквивалентной продолжительности пожара, а распределения указанных параметров. Аналогичный принцип представлен в британском руководстве [3]. Обобщение основных принципов, описанных в [1, 2], реализовано в работе [4], в которой рассмотрены вероятностные аспекты определения условий пожарной безопасности производственных объектов (например, необходимое и расчетное время эвакуации рассматриваются как случайные величины). Однако на практике чаще всего встречаются ситуации, когда при отсутствии нормативных требований по огнестойкости собственник объекта из экономических

соображений готов примириться с потерей своего объекта, снизив требуемые пределы огнестойкости, которые могут быть рассчитаны по ГОСТ Р 12.3.047–2012. При этом в соответствии с Техническим регламентом о требованиях пожарной безопасности (Федер. закон № 123) должны быть обеспечены условия безопасной эвакуации (ст. 6 и 53) и проведения мероприятий по спасению людей при пожаре (пп. 1 и 2 ст. 80). В этом случае следует, задавшись вероятностями безопасной эвакуации или спасения, сравнивать распределения, с одной стороны, пределов огнестойкости, а с другой — времени эвакуации или спасения.

Необходимо отметить, что проблема определения требуемых пределов огнестойкости рассматривалась ранее в работах [5–19]. Однако их авторы основывались на детерминистских моделях и не учитывали, что как пределы огнестойкости, так и параметры, определяющие эквивалентную продол-

жительность пожара, являются случайными величинами.

В настоящей работе в соответствии с основным принципом вероятностного подхода, реализованного в работах [1–4], разработан метод определения требуемых пределов огнестойкости строительных конструкций производственных объектов, основанный на сравнении распределений таких случайных величин, как времена эвакуации и спасения, с одной стороны, и пределы огнестойкости — с другой. При этом рассматривается несущая способность строительных конструкций, что характерно для этажерок и эстакад предприятий нефтегазовой отрасли.

Методология определения требуемых пределов огнестойкости

Как и в работе [4], примем, что условие безопасности можно записать в виде соотношения параметров x_1 и x_2 :

$$x_1 < x_2, \quad (1)$$

где x_1 — расчетное время эвакуации или время спасения;

x_2 — предел огнестойкости.

Качественная интерпретация условия (1) представлена на рис. 1 [4].

Как было отмечено выше, параметры x_1 и x_2 являются случайными величинами, для которых предполагаются нормальные распределения плотностей вероятности P_1 и P_2 [20]:

$$P_1 = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_1} \exp \left[-\frac{(x_1 - x_{10})^2}{2\sigma_1^2} \right]; \quad (2)$$

$$P_2 = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_2} \exp \left[-\frac{(x_1 - x_{20})^2}{2\sigma_2^2} \right], \quad (3)$$

где x_1 и x_2 — параметры распределения;

x_{10} , x_{20} — центры распределений;

σ_1 , σ_2 — дисперсии распределений.

Параметр x_{10} для средней величины времени эвакуации рассчитывается методами, регламентированными в [21]. Он зависит от параметра σ_1 , который отражает различия в скоростях движения различных групп людей при эвакуации в случае пожара. Для параметра x_{10} , характеризующего время спасения людей при пожаре, нет общепринятых методик расчета. Можно сделать лишь экспертное предположение, что время спасения x_{10} будет, по крайней мере, в 2,5–3 раза больше времени эвакуации. Действительно, в случае эвакуации x_{10} представляет собой усредненное время самостоятельного движения людей с опасного объекта в безопасную зону. В случае спасения с объекта с малым количеством присутствующего персонала спасатели должны: во-первых, прибыть на объект; во-вторых, принять ре-

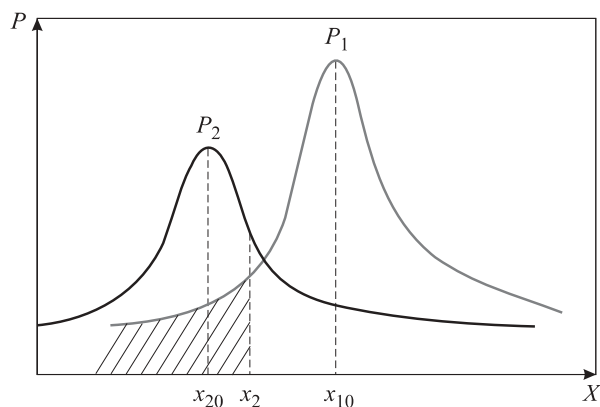


Рис. 1. Качественная интерпретация условий безопасной эвакуации: P — плотность вероятности для рассматриваемых распределений. Площадь заштрихованной области численно равна вероятности выполнения условия (1) при заданном значении x_2

Fig. 1. A qualitative interpretation of conditions of a safe evacuation: P is a probability density for the presented distributions. The shaded area is numerically equal to a probability of a fulfillment of the condition (1) at a given value x_2

шение о путях, по которым будет проводиться спасение; в-третьих, пройти по намеченным путям, что из-за развития пожара может занять заметно больше времени по сравнению с движением к месту проведения спасательных работ (например, в связи с блокированием опасными факторами пожара путей, по которым может быть осуществлено спасение).

Параметр x_{20} для средней величины предела огнестойкости должен быть определен исходя из заданной вероятности невыполнения условий безопасной эвакуации Q_0 , а также параметров x_{10} , σ_1 и σ_2 .

Следуя подходу [2, 3], развитому для определения надежности строительных конструкций, вероятность Q_0 невыполнения условия безопасной эвакуации (1) для нормальных распределений (2) и (3) можно описать соотношением

$$Q_0 = F(-\gamma) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{-\gamma} \exp \left(-\frac{x^2}{2} \right) dx, \quad (4)$$

где $F(-\gamma)$ — функция Лапласа, значения которой могут быть заимствованы из [20];

γ — параметр, описываемый соотношением

$$\gamma = (x_{20} - x_{10})/\sigma_s; \quad (5)$$

$$\sigma_s = (\sigma_1^2 + \sigma_2^2)^{1/2}. \quad (6)$$

На рис. 2 показана зависимость вероятности Q_0 невыполнения условия безопасной эвакуации (1) от параметра γ (по данным [4]). Эта зависимость может быть использована для расчета требуемого предела огнестойкости x_{20} . Методика его определения заключается в следующем.

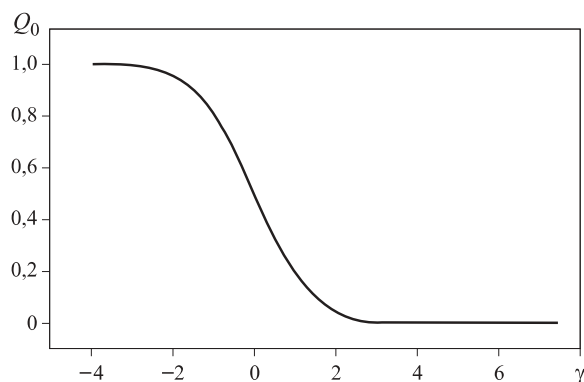


Рис. 2. Зависимость вероятности Q_0 невыполнения условий безопасности от параметра γ

Fig. 2. A dependence of the probability Q_0 of a non-fulfilment of the condition of a safety on a parameter γ

Определяется расчетное время эвакуации x_{10} и его дисперсия σ_1 . Далее находится дисперсия для предела огнестойкости σ_2 . Задается вероятность Q_0 исходя из экспертной оценки потери строительными конструкциями несущей способности до окончания эвакуации и/или спасения. На основе графика, представленного на рис. 2, по известному значению Q_0 находится соответствующий параметр γ . Затем по формуле, полученной из соотношений (5) и (6), определяется x_{20} :

$$x_{20} = x_{10} + \gamma (\sigma_1^2 + \sigma_2^2)^{1/2}. \quad (7)$$

Наиболее трудным вопросом при нахождении требуемого предела огнестойкости x_{20} является определение параметров σ_1 и σ_2 , которые, вообще говоря (даже если не принимать во внимание процедуру спасения), зависят от качества работ по огнезащите строительных конструкций, контингента эвакуирующихся, знания персоналом путей эвакуации. Для случая спасения задача определения параметра σ_1 существенно усложняется в силу малоизученности временных факторов процесса спасения.

Апробация предложенного метода

Для приближенной оценки величины σ_2 воспользуемся данными работы [22], в которой, в частности, приведены дисперсии времени выхода пожара на наружные ограждения здания. Ясно, что эти данные не в полной мере характеризуют параметр σ_2 , но могут быть использованы для оценочных расчетов. Согласно [22] σ_2 может достигать значения, составляющего до 20 % от указанного выше времени. Если ожидаемое значение x_{20} равно 60 мин, то $\sigma_2 = 12$ мин.

Согласно оценкам [5], полученным на основе экспериментальных данных по эвакуации людей с реальной технологической этажерки [23], σ_1 со-

ставляет около 10 % от расчетного времени эвакуации. Если принять $x_{10} = 15$ мин (это типичное время эвакуации с технологической части морской нефтеперерабатывающей платформы во временное убежище), то σ_1 составит 1,5 мин.

Полагая $Q_0 = 10^{-4}$, из рис. 2 находим, что $\gamma = 3,8$. Отсюда $x_{20} = 61$ мин. Остается дать интерпретацию данного параметра. Это время, в течение которого строительные конструкции должны сохранять несущую способность при различных сценариях проектного пожара (в том числе в случае углеводородного режима пожара и факельного горения). Если при углеводородном режиме пожара можно руководствоваться требованиями ГОСТ Р ЕН 1363-2-2014, то в случае факельного горения такой возможности нет, поскольку стандарт отсутствует. И это несмотря на то, что факельное горение, как показала практика, может существенно снизить предел огнестойкости строительной конструкции, особенно металлической без конструктивной огнезащиты. Возможно, поэтому в руководстве [24] регламентирован выбор предела огнестойкости несущих конструкций опор и несущих конструкций эстакад трубопроводов, а также площадок и этажерок в зоне воздействия пожара в диапазоне от 90 до 180 мин. В руководстве [24] под зоной воздействия пожара понимается пространство (как в длину и ширину, так и в высоту), в которое при аварийной ситуации могут выйти из оборудования и трубопроводов горючие сжиженные газы, легко воспламеняющиеся и горючие жидкости, горение которых может привести к существенным повреждениям технологического оборудования и трубопроводов.

Гораздо сложнее вопрос о требуемых пределах огнестойкости несущих конструкций с точки зрения безопасности процесса спасения людей. Для расчетов могут быть использованы приведенные выше формулы, однако нет надежных данных по времени спасения x_{10} и его дисперсии σ_1 . Как отмечено выше, по экспертным оценкам x_{10} может быть принято равным утроенному времени эвакуации, т. е. в нашем случае 45 мин. Тогда, принимая, что σ_1 составляет 10 % от x_{10} , получаем $\sigma_1 = 4,5$ мин. Расчет по формуле (7) дает при этом для прочих приведенных выше параметров $x_{20} = 94$ мин. Эта величина близка к минимальному регламентированному руководством [24] значению 90 мин.

Выводы

На основе вышеизложенного могут быть сделаны следующие выводы. В настоящей работе предложена новая методика оценки требуемых пределов огнестойкости строительных конструкций производственных объектов, которая, в первую очередь, актуальна для технологических эстакад и этажерок

предприятий нефтяной и газовой промышленности. Данная методика основана на сравнении времен эвакуации и спасения, с одной стороны, и пределов огнестойкости строительных конструкций, обеспечивающих безопасную эвакуацию, — с другой. Для простоты не рассматривалось блокирование путей эвакуации другими опасными факторами пожара. Кроме того, для простоты было принято, что распределения рассматриваемых параметров являются нормальными, хотя в ряде работ говорится об иных видах распределения (см., например, [25]). Поскольку основная задача настоящей работы заключалась в анализе необходимости использования вероятностных методов для определения требуемых пределов огнестойкости, сделанные упрощения, на наш взгляд, допустимы.

Представлены примеры модельных расчетов. При этом выявлена необходимость наличия некоторого минимума исходных данных (расчетное время эвакуации и дисперсия его распределения, расчетное время спасения и дисперсия его распределения, дисперсия распределения предела огнестойкости, требуемая вероятность потери строительными кон-

струкциями несущей способности до окончания эвакуации и/или спасения). Если требуемая вероятность потери строительными конструкциями несущей способности задается директивно, а время эвакуации может быть с определенным приближением рассчитано по имеющимся методикам, то в отношении определения прочих параметров требуются дальнейшие исследования (например, крупномасштабные испытания для определения дисперсий времен эвакуации и спасения, времени спасения, а также накопление статических данных по дисперсии предела огнестойкости). Следовательно, расчет требуемых пределов огнестойкости, исходя из условий безопасной эвакуации или безопасного спасения (с точки зрения возможного обрушения строительных конструкций), в настоящее время вряд ли возможен с необходимой надежностью результатов вычислений. В связи с этим на данном этапе представляется необходимым использовать на практике консервативный подход руководства API 2218 [20], особенно с учетом того, что отсутствует методика определения пределов огнестойкости при факельном горении.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Присадов В. И.* Надежность строительных конструкций при пожаре // Огнестойкость строительных конструкций : сб. тр. — М. : ВНИИПО, 1986. — С. 70–73.
2. *Присадов В. И.* Разработка методов выбора рациональных систем противопожарной защиты промышленных зданий : дис. ... д-ра техн. наук. — М., 1990. — 290 с.
3. PD 7974-7:2003. Application of fire safety engineering principles to the design of buildings — Part 7: Probabilistic risk assessment. — London : British Standards Institution, 2003. — 88 p.
4. *Шебеко Ю. Н., Шебеко А. Ю.* Условия пожарной безопасности при определении допустимых параметров функционирования производственных объектов // Пожарная безопасность. — 2009. — № 4. — С. 61–66.
5. *Law M.* A review of formulae for T-equivalence // Fire Safety Science. — 1997. — Vol. 5. — P. 985–996. DOI: 10.3801/iafss.fss.5-985.
6. *Thomas G. C., Buchanan A. H., Fleischmann C. M.* Structural fire design: the role of time equivalence // Fire Safety Science. — 1997. — Vol. 5. — P. 607–618. DOI: 10.3801/iafss.fss.5-607.
7. *Cadorin J. F., Perez Jimenez C., Franssen J. M.* Influence of the section and of the insulation type on the equivalent time // Proceedings of the 4th International Seminar on Fire and Explosion Hazards. — Ulster : University of Ulster, 2004. — P. 547–557.
8. *Шебеко А. Ю., Шебеко Ю. Н.* Взаимосвязь величин температуры строительных конструкций при стандартном и углеводородном температурных режимах пожара // Пожарная безопасность. — 2017. — № 2. — С. 46–49.
9. *Шебеко А. Ю., Шебеко Ю. Н., Гордиенко Д. М.* Расчетная оценка эквивалентной продолжительности пожара для стальных конструкций технологической эстакады нефтеперерабатывающего предприятия // Пожарная безопасность. — 2017. — № 1. — С. 25–29.
10. *Гилетич А. Н., Шебеко А. Ю., Шебеко Ю. Н., Гордиенко Д. М.* Требуемые пределы огнестойкости строительных конструкций высотных зданий // Пожарная безопасность. — 2012. — № 4. — С. 31–39.
11. NFPA 220. Standard on types of building construction. — Quincy, MA : National Fire Protection Association, 2012. — 12 p.
12. *Correia A. M., Pires T. A. C., Rodrigues J. P. C.* Behaviour of steel columns subjected to fire // Proceedings of the 6th International Seminar on Fire and Explosion Hazards. — Leeds, UK : University of Leeds, 2011. — P. 879–890. DOI: 10.3850/978-981-08-7724-8_13-01.

13. Torić N., Peroš B., Boko I. Reliability of steel structures under fire conditions // Proceedings of the 6th International Seminar on Fire and Explosion Hazards. — Leeds, UK : University of Leeds, 2011. — P. 890–901. DOI: 10.3850/978-981-08-7724-8_13-02.
14. Баратов А. Н., Молчадский И. С. Горение на пожаре. — М. : ВНИИПО, 2011. — 502 с.
15. Голованов В. И., Павлов В. В., Пехотилов А. В., Брешина В. Н., Шкутова Т. В. Обеспечение нормируемой огнестойкости стальных конструкций основания резервуаров в условиях температурного режима углеводородного пожара // Пожарная безопасность. — 2018. — № 2. — С. 17–25.
16. Qing Xu, Guo-Qiang Li, Jian Jiang, Yong C. Wang. Experimental study of the influence of topcoat on insulation performance of intumescent coatings for steel structures // Fire Safety Journal. — 2018. — Vol. 101. — P. 25–38. DOI: 10.1016/j.firesaf.2018.08.006.
17. Meijing Liu, Shenggang Fan, Wenjun Sun, Runmin Ding, Ting Zhu. Fire-resistant design of eccentrically compressed stainless steel columns with constraints // Fire Safety Journal. — 2018. — Vol. 100. — P. 1–19. DOI: 10.1016/j.firesaf.2018.06.006.
18. Maciulaitis R., Grigonis M., Malaikiene J. The impact of the aging of intumescent fire protective coatings on fire resistance // Fire Safety Journal. — 2018. — Vol. 98. — P. 15–23. DOI: 10.1016/j.firesaf.2018.03.007.
19. Lucherini A., Giuliani L., Jomaas G. Experimental study of the performance of intumescent coatings exposed to standard and non-standard fire conditions // Fire Safety Journal. — 2018. — Vol. 95. — P. 42–50. DOI: 10.1016/j.firesaf.2017.10.004.
20. Янке Е., Эмде Ф., Леш Ф. Специальные функции: формулы, графики, таблицы / Пер. с нем. — М. : Наука, 1964. — 344 с.
21. Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах : приказ МЧС России от 10.07.2009 № 404 (с изм. на 14.12.2010). URL: <http://docs.cntd.ru/document/902170886> (дата обращения: 05.09.2018).
22. Молчадский И. С., Присадков В. И. Моделирование пожаров в помещениях и зданиях // Юбилейный сборник трудов ВНИИПО / Под ред. А. Я. Корольченко. — М. : ВНИИПО, 1997. — С. 157–175.
23. Шебеко Ю. Н., Гордиенко Д. М., Некрасов В. П., Дроздов А. Е., Черноплеков А. Н., Шавкин С. В., Ляпин А. А., Дешевых Ю. И., Гилетич А. Н. Исследование процесса эвакуации людей при пожаре с этажерки технологической линии газоперерабатывающего завода // Пожарная безопасность. — 2008. — № 1. — С. 83–88.
24. API 2218. Fireproofing practices in petroleum and petrochemical processing plants. — Washington : American Petroleum Institute, 2013. — 60 p.
25. Холицевников В. В., Кудрин И. С. Экспериментальные исследования людских потоков в лестничной клетке многоэтажного здания // Пожаровзрывобезопасность. — 2013. — Т. 22, № 12. — С. 43–60.

Материал поступил в редакцию 14 октября 2018 г.

Для цитирования: Шебеко Ю. Н., Шебеко А. Ю., Гилетич А. Н. Методы определения требуемых пределов огнестойкости строительных конструкций производственных объектов // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2018. — Т. 27, № 11. — С. 51–57. DOI: 10.18322/PVB.2018.27.11.51-57.

METHOD OF A DETERMINATION OF REQUIRED FIRE RESISTANCE LIMITS FOR BUILDING STRUCTURES OF INDUSTRIAL OBJECTS

Yu. N. SHEBEKO, Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher of Department of Fire Safety of Industrial Objects, All-Russian Research Institute for Fire Protection (VNIIPPO, 12, Balashikha, Moscow Region, 143903, Russian Federation; e-mail: yn_shebeko@mail.ru)

A. Yu. SHEBEKO, Candidate of Technical Sciences, Head of Department of Fire Safety of Building Materials, All-Russian Research Institute for Fire Protection (VNIIPPO, 12, Balashikha, Moscow Region, 143903, Russian Federation; e-mail: ay_shebeko@mail.ru)

A. N. GILETICH, Doctor of Technical Sciences, Head of Department of Industrial Control at Construction and Operation of Civil Objects "Rostelecom" (Goncharnaya St., 30, Moscow, 115172, Russian Federation)

ABSTRACT

Introduction. In this study in accordance with the main principles of a probabilistic approach a method for a determination of required fire resistance limits of building structures of industrial objects was proposed. This method is based on a comparison of such random values as the fire resistance limits and the times required for an evacuation and a rescue. This method is particularly useful for external installation (for example pipe racks) of oil and gas plants.

Methods. A new probabilistic method for a determination of required fire resistance limits of building structures of industrial objects is proposed, which differs from that presented in GOST R 12.3.047–2012. The method is based on a comparison of distribution functions for such random values as an evacuation time, a time required for a rescue and fire resistance limits and differs from the method described in GOST R 12.3.047–2012, in which an equivalent fire duration and the fire resistance limits are compared. The proposed method takes into account that an owner of the object can risk of his property at an undoubtedly execution of requirements of a safety of people in the case of the fire (both personnel and people living near the object). These requirements are stated in a common in the article 6 of the Federal law on 22.07.2008 No. 123-FZ "On a technical regulation of a fire safety in Russian Federation".

Results. The method was tested for the cases of the evacuation and the rescue of people. It was mentioned that for an application of the proposed method the following input data are required: the required reliability of the building structures, the evacuation time and its standard deviation of a distribution, the time required for the rescue and its standard deviation of a distribution, the standard deviation of a distribution of the fire resistance limit.

Conclusion. In this study a new method for an evaluation of the required fire resistance limits of the building structures of industrial objects was proposed which is mostly applicable for the external technological installation (for example pipe racks) of oil and gas plants. The required reliability of the building structures is stated by a directive way. The evacuation time can be evaluated by the methods described in normative documents. But for other values either an analysis of statistical data is required (for the case of the standard deviation of the distribution of the fire resistance limit) or large scale experiments (the standard deviations of the distributions of the evacuation time and the time required for the rescue) should be performed.

Keywords: required fire resistance limits; probabilistic approach; evacuation time; time required for a rescue; random values; normal distribution; reliability of building structures.

REFERENCES

1. V. I. Prisadkov. A realibility of building structures at a fire. In: *Ognestoykost stroitelnykh konstruksiy* [Fire resistances of building structures]. Moscow, VNIPO Publ., 1986, pp. 70–73 (in Russian).
2. V. I. Prisadkov. *A creation of methods for a choice of an optimal fire protection system for industrial buildings*. Dr. tech. sci. diss. Moscow, 1990. 290 p. (in Russian).
3. PD 7974-7:2003. *Application of fire safety engineering principles to the design of buildings — Part 7: Probabilistic risk assessment*. London, British Standards Institution, 2003. 88 p.
4. Yu. N. Shebeko, A. Yu. Shebeko. About the fire safety conditions to determine the admissible parameters of industrial premises functioning. *Pozharnaya bezopasnost / Fire Safety*, 2009, no. 4, pp. 61–66 (in Russian).
5. M. Law. A review of formulae for T-equivalence. *Fire Safety Science*, 1997, vol. 5, pp. 985–996. DOI: 10.3801/iafss.fss.5-985.
6. G. C. Thomas, A. H. Buchanan, C. M. Fleischmann. Structural fire design: the role of time equivalence. *Fire Safety Science*, 1997, vol. 5, pp. 607–618. DOI: 10.3801/iafss.fss.5-607.
7. J. F. Cadorin, C. Jimenez Perez, J. M. Franssen. Influence of the section and of the insulation type on the equivalent time. In: *Proceedings of the 4th International Seminar on Fire and Explosion Hazards*. Ulster, University of Ulster, 2004, pp. 547–557.

8. A. Yu. Shebeko, Yu. N. Shebeko. Relationship of temperatures of building structures at the standard and hydrocarbon regimes of fires. *Pozharnaya bezopasnost / Fire Safety*, 2017, no. 2, pp. 46–49 (in Russian).
9. A. Yu. Shebeko, Yu. N. Shebeko, D. M. Gordienko. A settlement assessment of equivalent fire duration for steel structures of pipe rack of a refinery. *Pozharnaya bezopasnost / Fire Safety*, 2017, no. 1, pp. 25–29 (in Russian).
10. A. N. Giletich, A. Yu. Shebeko, Yu. N. Shebeko, D. M. Gordienko. The required fire resistance limits for the high-rise buildings structures. *Pozharnaya bezopasnost / Fire Safety*, 2012, no. 4, pp. 31–39 (in Russian).
11. NFPA 220. *Standard on types of building construction*. Quincy, MA, National Fire Protection Association, 2012. 12 p.
12. A. M. Correia, T. A. C. Pires, J. P. C. Rodrigues. Behaviour of steel columns subjected to fire. In: *Proceedings of the 6th International Seminar on Fire and Explosion Hazards*. Leeds, UK, University of Leeds, 2011, pp. 879–890. DOI: 10.3850/978-981-08-7724-8_13-01.
13. N. Torić, B. Peroš, I. Boko. Reliability of steel structures under fire conditions. In: *Proceedings of the 6th International Seminar on Fire and Explosion Hazards*. Leeds, UK, University of Leeds, 2011, pp. 890–901. DOI: 10.3850/978-981-08-7724-8_13-02.
14. A. N. Baratov, I. S. Molchadskiy. *Goreniye na pozhare* [Combustion at a fire]. Moscow, VNIPO Publ., 2011. 502 p. (in Russian).
15. V. I. Golovanov, V. V. Pavlov, A. V. Pekhotikov, V. N. Breshina, T. V. Shkutova. Ensuring the normable fire resistance of tank base steel structures in conditions of temperature regime of hydrocarbon fire. *Pozharnaya bezopasnost / Fire Safety*, 2018, no. 2, pp. 17–25 (in Russian).
16. Qing Xu, Guo-Qiang Li, Jian Jiang, Yong C. Wang. Experimental study of the influence of topcoat on insulation performance of intumescent coatings for steel structures. *Fire Safety Journal*, 2018, vol. 101, pp. 25–38. DOI: 10.1016/j.firesaf.2018.08.006.
17. Meijing Liu, Shenggang Fan, Wenjun Sun, Runmin Ding, Ting Zhu. Fire-resistant design of eccentrically compressed stainless steel columns with constraints. *Fire Safety Journal*, 2018, vol. 100, pp. 1–19. DOI: 10.1016/j.firesaf.2018.06.006.
18. R. Maciulaitis, M. Grigonis, J. Malaikiene. The impact of the aging of intumescent fire protective coatings on fire resistance. *Fire Safety Journal*, 2018, vol. 98, pp. 15–23. DOI: 10.1016/j.firesaf.2018.03.007.
19. A. Lucherini, L. Giuliani, G. Jomaas. Experimental study of the performance of intumescent coatings exposed to standard and non-standard fire conditions. *Fire Safety Journal*, 2018, vol. 95, pp. 42–50. DOI: 10.1016/j.firesaf.2017.10.004.
20. Janke E., Emde F., Losch F. *Tafeln hoherer funktionen*. Stuttgart, B. G. Teubner Verlagsgesellschaft, 1960 (Russ. ed.: Janke E., Emde F., Losch F. *Spetsialnyye funktsii: formuly, grafiki, tablitsy*. Moscow, Nauka Publ., 1964. 344 p.).
21. *On the approval of technique of determination of settlement sizes of fire risk on production objects*. Order of Emercom of Russia on 10.07.2009 No. 404 (ed. 14.12.2010) (in Russian). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/902170886> (Accessed 6 September 2018).
22. I. S. Molchadskiy, V. I. Prisadkov. Modeling of fires in rooms and buildings. In: *Yubileyny sbornik trudov VNIPO* [Jubilee Proceedings of VNIPO]. Moscow, VNIPO Publ., 1997, pp. 157–175 (in Russian).
23. Yu. N. Shebeko, D. M. Gordienko, V. P. Nekrasov, A. E. Drozdov, A. N. Chernoplekov, S. V. Shavkin, A. A. Lyapin, Yu. I. Deshevykh, A. N. Giletich. An investigation of a people evacuation from a technological pipe rack of a gas processing plant. *Pozharnaya bezopasnost / Fire Safety*, 2008, no. 1, pp. 83–88 (in Russian).
24. API 2218. *Fireproofing practices in petroleum and petrochemical processing plants*. Washington, American Petroleum Institute, 2013. 60 p.
25. Kholshchevnikov V. V., Kudrin I. S. Experimental investigations of human flows in staircases of a high rise building. *Pozharovzryvbezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2013, vol. 22, no. 12, pp. 43–60 (in Russian).

For citation: Yu. N. Shebeko, A. Yu. Shebeko, A. N. Giletich. Method of a determination of required fire resistance limits for building structures of industrial objects. *Pozharovzryvbezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2018, vol. 27, no. 11, pp. 51–57 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2018.27.11.51-57.

О. И. СТЕПАНОВ, начальник отдела подготовки пожарно-спасательных и аварийно-спасательных формирований, Главное управление МЧС России по Ханты-Мансийскому автономному округу — Югре (Россия, 628011, г. Ханты-Мансийск, ул. Студенческая, 5а; e-mail: oleg01911@yandex.ru)

А. Н. ДЕНИСОВ, канд. техн. наук, доцент, профессор кафедры пожарной тактики и службы в составе УНК "Пожаротушение", Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Б. Галушкина, 4; e-mail: dan_aleks@mail.ru)

УДК 519.8:614.842.651

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ СОЗДАНИЯ ПОЗИЦИЙ ПО ТУШЕНИЮ С ПРИМЕНЕНИЕМ СПЕЦИАЛЬНЫХ ПОЖАРНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

Приведена декомпозиция сил и средств пожарных подразделений, формализованная в виде структуры системы управления пожарно-спасательными подразделениями (ПСП) на месте пожара. Силы и средства ПСП представлены как позиции по тушению и обеспечению действий по тушению пожаров. Изложены результаты экспериментов по созданию позиций по тушению пожаров с применением специальных пожарных автомобилей в зданиях IV и V степени огнестойкости. Приведены выводы о складывающейся обстановке на месте пожара при ведении оперативно-тактических действий звеньями газодымозащитной службы. Обосновано создание позиций по тушению пожаров в зданиях IV и V степени огнестойкости на начальном этапе пожаротушения с применением специальных пожарных автомобилей.

Ключевые слова: пожаротушение; система управления; позиция по тушению; газодымозащитная служба; опасные факторы пожара.

DOI: 10.18322/PVB.2018.27.11.58-66

Введение

Руководитель тушения пожара (РТП) на месте пожара формирует систему управления, состоящую из управляющей и управляемой подсистем [1–3] (рис. 1). Распределение сил и средств подразделений, объединенных общей задачей по ведению оперативно-тактических действий (ОТД), по позициям (по тушению пожара (ПТ) и по обеспечению действий по тушению пожара (ПД)), позволяет формировать у руководящего состава предварительное представление о структуре создаваемой системы управления (СУ) пожарно-спасательными подразделениями (ПСП) на месте пожара.

Позиции по ведению оперативно-тактических действий на месте пожара представим как:

1) позиции по тушению пожара, на которых осуществляется ведение действий по спасению людей и имущества, подаче огнетушащих веществ (ОТВ) и выполнение специальных работ непосредственно на объекте пожара;

2) позиции по обеспечению действий по тушению пожара, на которых осуществляются обеспечивающие действия, непосредственно не связанные со спасением людей и подачей огнетушащих веществ на тушение пожара.

К позициям по обеспечению действий по тушению пожара отнесем активные ПД, осуществляющие доставку какого-либо вида ресурсов к ПТ (основной пожарный автомобиль (ПА), установленный на источник противопожарного водоснабжения (ИППВ); вспомогательная техника, осуществляющая вскрытие конструкций; ПА как ступень перекачки (подвоза) огнетушащих веществ и т. д.), а также технику, находящуюся в резерве (на месте пожара), так как данная техника представляет собою потенциальную позицию — пассивную ПД.

Основным проблемным вопросом при формировании позиций является создание наиболее эффективных позиций, позволяющих воздействовать ОТВ на зону горения. Исследования пожаров, происшедших в жилых зданиях IV и V степени огнестойкости, показали, что наиболее эффективными позициями с точки зрения объема выполняемых задач являются звенья газодымозащитной службы (ГДЗС) [3–5]. Более 85 % исследованных крупных пожаров в зданиях IV и V степени огнестойкости ликвидированы с применением ГДЗС. Одновременно с этим отмечается ограниченное количество зон развившегося пожара, в которых могут работать звенья ГДЗС, что вызвано ограниченными возможностями орга-

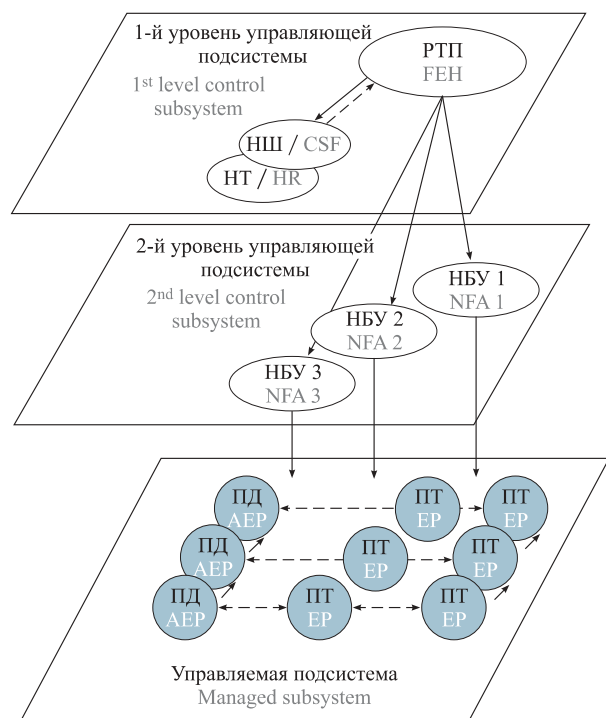


Рис. 1. Интерпретация конечной структуры системы управления силами и средствами: РТП — руководитель тушения пожара; НШ — начальник штаба пожаротушения; НТ — начальник тыла; НБУ — начальник боевого участка; ПТ — позиция по тушению; ПД — позиция, обеспечивающая действия по тушению

Fig. 1. Interpretation of the final structure of the management system of forces and means: FEH — fire extinguishing head; CSF — chief of staff of firefighting; HR — head of rear; HFA — head of the firefighting area; EP — extinguishing position; AEP — auxiliary extinguishing position

низма человека по пребыванию в зоне повышенных температур [6, 7].

Задачами исследования являются:

- выявление зон, в которых возможно применение звеньев ГДЗС, и определение временных параметров работы последних;
- установление целесообразности и эффективности позиций по тушению с применением специальных пожарных автомобилей.

Методика и материалы исследования

Моделирование пожаров в жилье, в том числе в жилых зданиях IV и V степени огнестойкости, полем методом на основе Fire Dynamics Simulator (FDS) показало высокую интенсивность нарастания опасных факторов пожара (ОФП) и их распространение в помещения 2-го этажа и на чердак (рис. 2) [8–10].

Установлено, что наиболее целесообразными путями ввода сил и средств ПСП на тушение пожаров в зданиях IV и V степени огнестойкости при прибытии первых оперативных отделений являются [3, 4, 11]:

1) пути эвакуации и места общего пользования (коридор, внутренняя лестница);

2) помещения здания, находящиеся на пути распространения пожара (в основном периферийные помещения);

3) чердачное пространство здания.

Эксперименты по ведению ОТД звеньями ГДЗС в жилых однотипных зданиях IV и V степени огнестойкости [12] позволяют выявить возможности данных позиций по проведению разведки и спасению пострадавших. На рис. 3 представлены усредненные значения по итогам проведенных опытов [12].

Опыты и результаты моделирования развития ОФП, а также действий, осуществляемых звеньями ГДЗС на стадиях развития пожара, на которых происходит переход горения из одного помещения на пути эвакуации и смежные этажи, свидетельствуют о снижении возможностей сил и средств по воздействию на зону горения [6, 12].

Существенным недостатком СУ на пожарах (40 % исследованных пожаров после локализации) является сосредоточение пожарной техники, не задействованной при пожаротушении. Зачастую это специальные пожарные автомобили (автолестницы (АЛ), коленчатые автомобильные подъемники (АКП)), так как изначальное неприменение данных видов техники осложняет их интеграцию в СУ пожаротушением ввиду перекрытия подъездов к объекту пожара проложенными магистральными линиями и расставленной ранее прибывшей техникой.

Эксперименты по созданию позиций с применением специальных пожарных автомобилей при пожаротушении в зданиях IV и V степени огнестойкости [13, 14] показали целесообразность их интеграции в СУ еще на начальном этапе пожаротушения.

Исходя из описаний рассмотренных пожаров, максимальная концентрация действий личного состава в звеньях ГДЗС приходится на начальную стадию пожаротушения [1], что вызвано целями проведения активной разведки объекта пожара и наличием первоначально готовых к «включению» дыхательных аппаратов и их пользователей. Проведение полной разведки на пожаре возможно в секциях здания IV и V степени огнестойкости, смежных с горящим подъездом. В объеме горящего подъезда звенья ГДЗС привлекаются для непосредственного воздействия на зону горения в основном в периферийных помещениях (через вскрытые дверные проемы и разрушенное остекление [15]).

Целесообразность интеграции специальных пожарных автомобилей в СУ пожаротушением в зданиях IV и V степени огнестойкости для создания ПТ обусловлена интенсивным распространением горения в области чердачного пространства (3–5 мин с момента начала пожара). Данное пространство

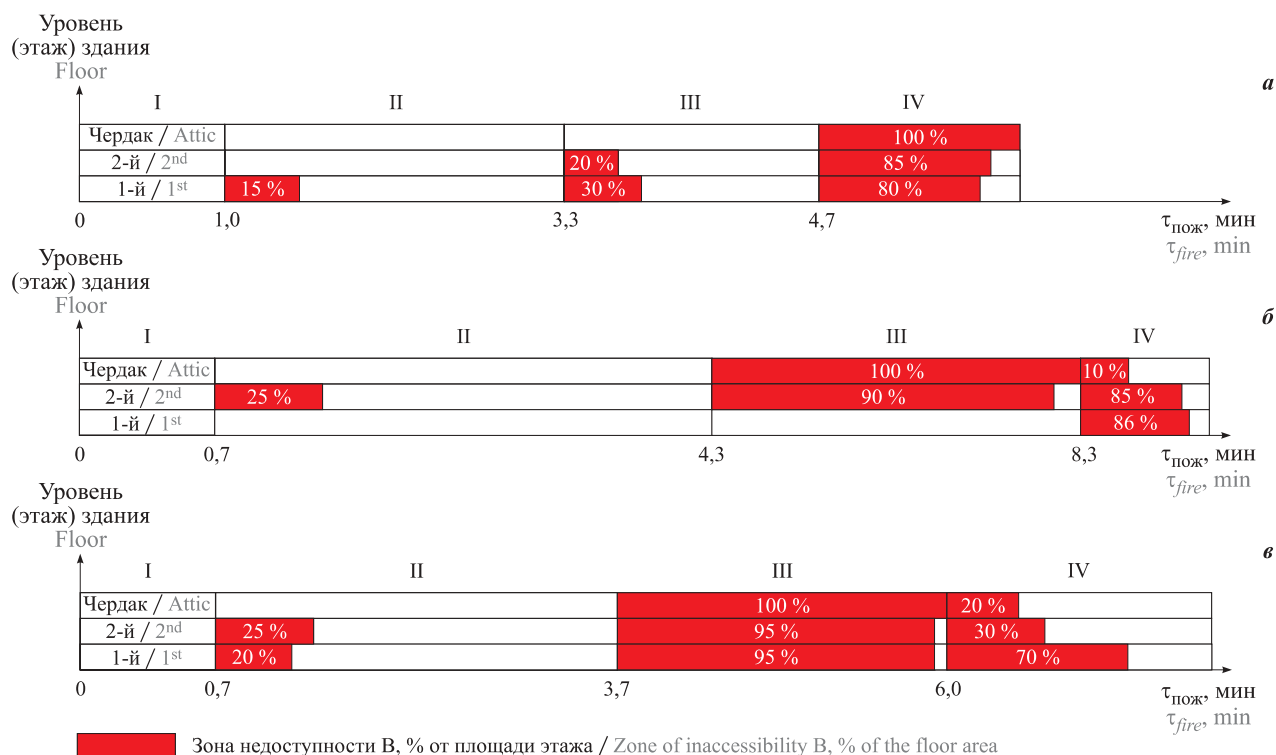


Рис. 2. Динамика развития зоны, где невозможно пребывание личного состава без средства подачи ОТВ (зона В), при первоначальном возгорании в помещении 1-го этажа (а), 2-го этажа (б) и на внутренней лестнице (в): I–IV — условные этапы развития пожара, характеризующие образованием зон В на этажах зданий

Fig. 2. The dynamics of the development of the zone, where it is impossible for the personnel to stay without the work of a fire extinguishing agent (zone B) in case of initial fire in the 1st floor (a), 2nd floor (b) and on the inside staircase (v): I–IV — the conditional stages of development of the fire characterized by formation of zones B on floors of buildings



Рис. 3. Результаты опытов по проведению разведки на месте пожара в подъезде двухэтажного жилого здания V степени огнестойкости

Fig. 3. The results of experiments on conducting reconnaissance in a fire place at the entrance of a two-story residential building of low fire resistance

является на начальной стадии пожара единственным путем перехода пожара на смежные подъезды объекта пожара, поскольку еще не образовались прогары в конструкциях здания.

Схемы развертывания сил и средств подразделений при этом могут включать позиции с применением: ручных пожарных стволов (позиции, связанные с задействованием личного состава для работы на высоте), роботизированных пожарных лафетных стволов, пожарных лафетных стволов с дистанционным управлением, пожарных стволов для подачи жидких ОТВ в виде водяных завес (рис. 4). При проведении эксперимента применялись ручные пожарные стволы (РСКЗ-70) и пожарные стволы для подачи жидких ОТВ в виде водяных завес (СПВЗ) [3, 14, 16], не предусматривающие задействование личного состава подразделений для работы со средством подачи ОТВ (см. рис. 4 и 5).

Интенсивность действий сил и средств подразделений (количество создаваемых позиций в единицу времени) напрямую влияет на сокращение времени локализации и ликвидации пожара [17]. С точки зрения управления подразделениями можно говорить о скорости сосредоточения сил и средств на позициях [18, 19].

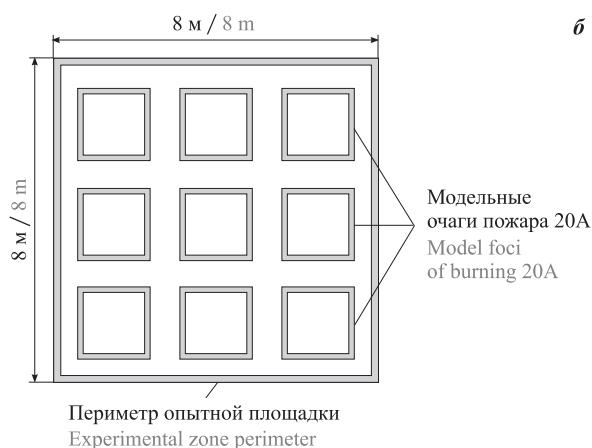
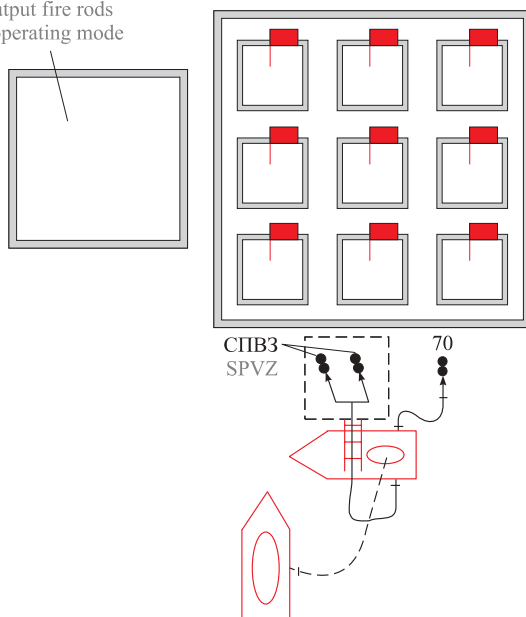


Рис. 4. Установка подачи ОТВ до ввода на тушение (а) и схема площадки с модельными очагами (б)

Fig. 4. Device of the supply of extinguishing agents before putting in the fire (a) and scheme of experimental zone with model sources of burning (b)

Зона вывода пожарных стволов на рабочий режим
Zone output fire rods on the operating mode



а



б

Рис. 5. Схема проведения эксперимента (а) и воздействие установки подачи ОТВ на модельные очаги (б)

Fig. 5. The scheme of the experiment (a) and fire extinguishing system impact on model sources of burning (b)

В связи с этим создание позиций, на которых не требуется привлечение личного состава для подачи ОТВ в зону горения, представляется целесообразным [14, 20], особенно для развившихся пожаров (при которых очевиден переход горения в смежные помещения, на пути эвакуации и наружу объекта).

Установка подачи ОТВ представлена следующим образом:

1) к выходным патрубкам гребенки присоединены два СПВЗ, гребенка с установленными СПВЗ закреплена на пожарной автоцистерне с лестницей (АЦЛ);

2) напорный рукав пожарный (РПМ-80-1,6) присоединен с одной стороны к выходному патрубку коллектора пожарного насоса, с другой — к входному патрубку гребенки.

Эксплуатационные характеристики СПВЗ определяли визуальным и инструментальным методами.

Расчет фактического расхода ОТВ $Q_{\text{СПВЗ}}^{\text{факт}}$ (л/с) осуществлялся по формуле

$$Q_{\text{СПВЗ}}^{\text{факт}} = \frac{V_{\text{ц}} - W}{\tau_{\text{раб}}^{\text{факт}}}, \quad (1)$$

где $V_{\text{ц}}$ — объем цистерны пожарного автомобиля, л;

W — объем пожарных рукавов, л;

$\tau_{\text{раб}}^{\text{факт}}$ — фактическое время работы системы, с.

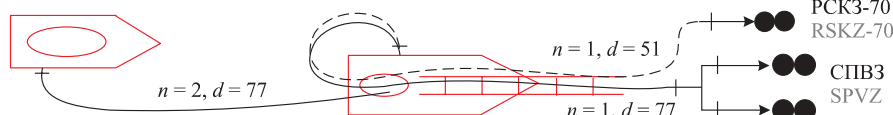
Результаты и их обсуждение

Полученные при расчете и в ходе эксперимента значения расхода ОТВ сведены в табл. 1.

Таблица 1. Расходы системы из двух СПВЗ (расчетный и фактический), установленные при подготовке и в ходе проведения эксперимента

Table 1. Calculated and actual supply of fire extinguishing agents from a system consisting of two fire rods (SPVZ) established during preparation and during the experiment

Расход системы Water supply system	Значение расхода, л/с Value of water supply, l/sec
Расчетный / Calculated	23,0
Фактический / Actual	23,5



Количество пожарной нагрузки $m_{п.н}$ (кг/м²) на единицу площади экспериментальной площадки в ходе опытов, исходя из массы древесины (горючий материал для модельных очагов), составило:

$$m_{п.н} = m_0 / S_{уч} = 1500 / 64 = 23,4 \text{ кг/м}^2, \quad (2)$$

где m_0 — масса горючей нагрузки на модельном участке, кг;

$S_{уч}$ — площадь модельного участка, м².

Указанное выше значение соответствует нагрузке 323,4 МДж/м², что превышает значение, выведенное при исследовании пожарной нагрузки в жилых домах частного сектора и составляющее 267,17 МДж/м² [21]. Требуемая интенсивность подачи огнетушащих веществ для тушения здания IV и V степени огнестойкости равна 0,15 л/(с·м²) [22].

Экспериментально установлена фактическая интенсивность, которая обеспечивается одним СПВЗ (табл. 2) [14].

Как показывает практика пожаротушения, создание управляющей подсистемы СУ приходится на период руководства вторым и последующими РТП, поэтому формирование управляемой подсистемы (первоначальных позиций по тушению) является основной функцией РТП-1, от выполнения которой зависит успех пожаротушения в целом [3, 23, 24].

Условиями создания СУ, адекватной обстановке, на любом пожаре являются:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^N \tau_{pli} = (W_{ц} - \sum_{j=1}^J n_{pj} \cdot W_j) / q, \\ \sum_{i=1}^N \tau_{pli} \geq \tau_{сл2} + \tau_{б,р2} \end{cases}, \quad (3)$$

где N — максимальное количество ПТ, созданных первым прибывшим ПСП;

i — позиция по тушению;

τ_{pli} — время работы позиций по тушению от первого прибывшего ПСП без установки на ИППВ, с;

$W_{ц}$ — объем АЦ первого прибывшего ПСП, л;

Таблица 2. Интенсивность, обеспечиваемая одним СПВЗ при различных напорах

Table 2. The intensity provided by one fire rod (SPVZ) at various pressures

Напор, м вод. ст. Head, meters of water column	Интенсивность подачи ОТВ, л/(с·м ²) The intensity of the supply of extinguishing agents, l/(sec·m ²)
60	0,31
70	0,33
80	0,36

Рис. 6. Схема сравнительных развертываний оперативных отделений
Fig. 6. Scheme of comparison of deployment of operational units

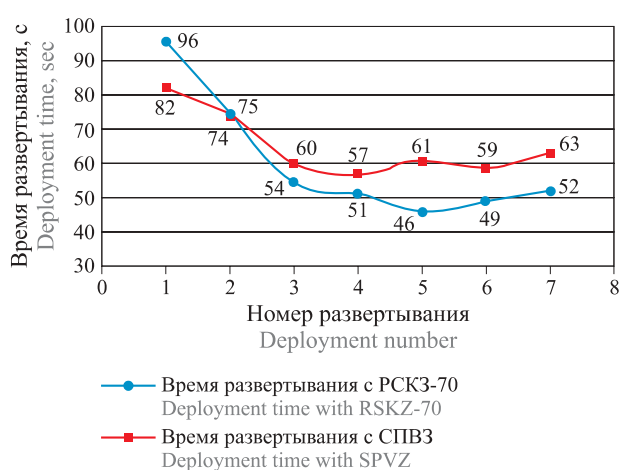


Рис. 7. Время развертывания пожарно-спасательного автомобиля и пожарной автоцистерны с лестницей с подачей СПВЗ и PCK3-70

Fig. 7. Time of deployment of a fire-fighting vehicle and a fire tanker with a ladder with a supply of fire rods SPVZ and manual fire rod RSKZ-70

n_{pj} — количество пожарных рукавов j -го вида;

W_j — объем пожарного рукава j -го вида, л;

q — подача ОТВ пожарными стволами, л/с;

$\tau_{сл2}$ — время следования последующего ПСП, с;

$\tau_{б,р2}$ — время развертывания последующего ПСП, с.

Условия (3) особенно актуальны для пожаров на объектах с конструкциями с низким пределом огнестойкости, поскольку невыполнение условий означает бездействие позиций по тушению при высокой скорости развития пожара.

В результате выполнения сравнительных развертываний оперативных отделений (рис. 6) на пожарно-спасательном автомобиле (ПСА) и АЦЛ с подачей ручного ствола и СПВЗ получены следующие значения времени создания позиции по тушению (рис. 7).

Выводы

Как видно из результатов забегов (развертываний), время выполнения упражнения с ручным стволом (РСКЗ-70) стабилизируется на уровне около 60 с, выполнения упражнения с СПВЗ — около 65 с. При этом эффективность позиции с ручным стволом по подаче ОТВ в зону горения, площади тушения и обеспечиваемой на данной площади интенсивности подачи веществ в 3 раза уступает позиции со стационарным устройством (СПВЗ). Эффективность позиций с применением ручных пожарных стволов на сегодняшний день может быть повышена путем применения автоматических пожарных стволов или средств подачи тонкораспыленной воды, при этом для работы на позиции требуется задействование 2–3 чел. личного состава [18, 22, 24, 25].

Распределение сил и средств подразделений (в том числе пожарной техники) на ПТ и ПД с их максимальным задействованием (стремление значения

тактического потенциала к 1 [26, 27]) способствует выполнению условий (3) и сокращает время развертывания отделений прибывающих подразделений, так как ПД для наращивания сил и средств уже созданы (или находятся на стадии развертывания).

Создание позиций с применением специальных пожарных автомобилей расширяет тактические возможности СУ, созданной на пожаре, позволяя воздействовать на зону горения в наиболее подверженной для распространения пожара части зданий IV и V степени огнестойкости — чердачном пространстве. Производительность данных позиций по обеспечиваемой интенсивности подачи ОТВ, площади тушения и времени воздействия на зону горения выше по сравнению с позициями, создаваемыми на других уровнях объекта пожара, и с учетом их расположения на пути наиболее интенсивного развития горения формирует наиболее благоприятные условия для локализации горения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Степанов О. И., Денисов А. Н. Алгоритм синтеза системы управления пожарными подразделениями на месте пожара // Техносферная безопасность. — 2018. — № 2(19). — С. 51–59.
2. Taktik Feuerwehr. — Kanton Zürich : Gebäudeversicherung. — Mai 2004. — 47 s.
3. Степанов О. И., Денисов А. Н., Надеев Р. В., Атанасов С. Н., Гундар С. В., Органов Т. М., Степанова Я. В. Оперативно-тактические действия пожарных подразделений по тушению пожаров в зданиях низкой устойчивости (IV–V степени) при пожаре : учебно-методическое пособие. — М. : Академия ГПС МЧС России, 2012. — 58 с.
4. Experimentelle Untersuchungen in der Holzbefeuerten Brandübungsanlage (HBUEA) der Feuerwehr Karlsruhe. — Karlsruhe : Karlsruher Institut für Technologie — Forschungsstelle für Brandschutztechnik, 2010. — 135 s.
5. Slaby Christoph, Wibel Adrian. Einsatztaktik für die Feuerwehr Hinweise zu Dachstuhlbränden. — Bruchsal : Landesfeuerwehrschule Baden-Württemberg. — August 2012. — 21 s.
6. Blockley W. V. Temperature tolerance: Man: Part 1. Heat and cold tolerance with and without protective clothing. Biology data book. — Bethesda, Maryland : Federation of American Societies for Experimental Biology, 1973. — 781 p.
7. Log T. Skin temperatures of a pre-cooled wet person exposed to engulfing flames // Fire Safety Journal. — 2017. — Vol. 89. — P. 1–6. DOI: 10.1016/j.firesaf.2017.02.001.
8. СИТИС 4-12. Рекомендации по использованию программы FDS с применением PyroSim 2012, SmokeView и “СИТИС: Фламмер 3”. — Екатеринбург : СИТИС, 2013. — 170 с.
9. Варфоломеев А. Ю. Повышение пожарной безопасности сельских поселений при разработке градостроительной документации // Жилищное строительство. — 2015. — № 10. — С. 38–42.
10. Vandecasteele F., Merci B., Verstockt S. Fireground location understanding by semantic linking of visual objects and building information models // Fire Safety Journal. — 2017. — Vol. 91. — P. 1026–1034. DOI: 10.1016/j.firesaf.2017.03.083.
11. Joerger S. Modern wood-frame construction: firefighting problems and tactics // Fire Engineering. — 2014. — Vol. 167, Issue 1.
12. Степанов О. И., Джабаев М. Д., Стахеев М. В., Осипенко С. И. Исследование реализации тактического потенциала сил и средств газодымозащитной службы при решении оперативных задач по тушению пожаров в зданиях IV–V степеней огнестойкости // Техносферная безопасность. — 2016. — № 1(10). — С. 26–32.
13. Степанов О. И., Стахеев М. В., Джабаев М. Д. Реализация поэтапного метода ввода сил и средств пожарных подразделений при тушении пожаров // Технологии техносферной безопасности. — 2014. — № 6(58). — 9 с.
14. Степанов О. И. Теоретическая реализация метода подачи огнетушащих веществ средствами с низким коэффициентом расхода // Актуальные проблемы обеспечения безопасности в Россий-

- ской Федерации : VI Всероссийская научно-практическая конференция. — В 2 ч. — Екатеринбург : Уральский институт ГПС МЧС России, 2012. — Ч. 2. — С. 136–141.
15. *Manzello S. L., Gann R. G., Kukuck S. R., Prasad K. R., Jones W. W.* An experimental determination of a real fire performance of a non-load bearing glass wall assembly // *Fire Technology*. — 2007. — Vol. 43, No. 1. — P. 77–89. DOI: 10.1007/s10694-006-0001-5.
 16. *Денисов И. П.* Перспективы использования мелкораспыленной воды и проведения тактической вентиляции при тушении пожаров // *Актуальные проблемы пожарной безопасности : материалы XXV Международной научно-практической конференции*. — М. : ВНИИПО, 2013. — С. 302–307.
 17. Об утверждении Боевого устава подразделений пожарной охраны, определяющего порядок организации тушения пожаров и проведения аварийно-спасательных работ : приказ МЧС России от 16.10.2017 № 444. URL: <http://docs.cntd.ru/document/542610435> (дата обращения: 05.09.2018).
 18. *Денисов А. Н., Нгуен Минь Хыонг, Пигусов Д. Ю.* Управление пожарными подразделениями при тушении пожаров в быстровозводимых складских зданиях 4–5 степени огнестойкости // *Технологии техносферной безопасности*. — 2015. — № 4(62). — С. 34–42.
 19. *Бобарико А. В., Заусаев А. А., Осипов А. В., Москалев Д. А., Родионов С. А.* Планирование и организация тушения пожаров : учебное пособие. — Химки : Академия гражданской защиты МЧС России, 2018. — 81 с.
 20. *Власов К. С., Цариченко С. Г.* Математическая модель организации управления роботизированными пожарными подразделениями при тушении крупных пожаров // *Технологии техносферной безопасности*. — 2015. — № 2(60). — С. 212–217.
 21. *Сорокин П. Д., Юшков В. П., Луговцова Н. Ю.* Исследование пожарной нагрузки в жилых домах частного сектора // *Экология и безопасность в техносфере: современные проблемы и пути решения : сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов*. — В 2 т. — Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2015. — Т. 2. — С. 307–309.
 22. *Иванников В. П., Ключ П. П.* Справочник руководителя тушения пожара. — М. : Стройиздат, 1987. — 288 с.
 23. *Повзик Я. С., Панарин В. М.* Тактическая и психологическая подготовка руководителя тушения пожара. — М. : Стройиздат, 1988. — 112 с.
 24. *Norwood P. J., Salameh N. J.* Today's evolving fire attack. URL: <https://www.fireengineering.com/articles/2018/09/todays-evolving-fire-attack.html> (дата обращения: 05.09.2018).
 25. *Fredricks A.* Little drops of water: 50 years later. Part 1 // *Fire Engineering*. — 2000. — Vol. 153, Issue 2.
 26. *Григорьев А. Н.* Поддержка принятия управленческих решений при тушении крупных пожаров в общественных зданиях : дис. ... канд. техн. наук. — М., 2012. — 209 с.
 27. *Данилов М. М., Денисов А. Н., Опарин Д. Е.* Некоторые аспекты принятия решений при управлении процессом тушения пожара // *Актуальные проблемы обеспечения безопасности в Российской Федерации : VI Всероссийская научно-практическая конференция*. — В 2 ч. — Екатеринбург : Уральский институт ГПС МЧС России, 2012. — Ч. 1. — С. 143–145.

Материал поступил в редакцию 29 сентября 2018 г.

Для цитирования: *Степанов О. И., Денисов А. Н.* Экспериментальное обоснование создания позиций по тушению с применением специальных пожарных автомобилей // *Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety*. — 2018. — Т. 27, № 11. — С. 58–66. DOI: 10.18322/PVB.2018.27.11.58-66.

English

EXPERIMENTAL SUBSTANTIATION OF CREATING POSITIONS FOR EXTINGUISHING WITH THE USE OF SPECIAL FIRE TRUCKS

O. I. STEPANOV, Head of Department of Preparation Rescue and Fire Fighting and Rescue Units, General Department of Emercom of Russia on Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug — Yugra (Studencheskaya St., 5a, Khanty-Mansiysk, 628011, Russian Federation; e-mail: oleg01911@yandex.ru)

A. N. DENISOV, Candidate of Technical Sciences, Docent, Professor of Department of State Fire Tactics and Service, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail: dan_aleks@mail.ru)

ABSTRACT

Introduction. The structure of the management system of forces and means of fire-fighting units in fire fighting is presented as structure consisting of the managing and managed subsystems. Forces and means are represented by positions on fire fighting and ensuring actions of fire extinguishing.

Methods. The expedient ways of entering forces and means of fire units to extinguish fires in buildings of low fire resistance are:

- 1) escape routes, places of common use;
- 2) premises of the building located on the way of fire spread;
- 3) attic.

Experiments on the action of units of gas and smoke protective service and simulation results of the development of dangerous fire factors indicate a decline in the ability of units to influence the combustion zone with an increase in parameters of the fire.

The experiments on the creation of positions with the use of special fire trucks in fire fighting showed the expediency of their integration into the system of management at the initial stage of fire fighting.

In the course of the experiment, manual fire rods (RSKZ-70) and fire rods were used to supply liquid fire extinguishing substances in the form of water curtains (SPVZ) (not involving the personnel at height).

Results and discussion. The actual intensity of supply of fire extinguishing agents provided by the SPVZ rod was experimentally established.

The conditions of the creation of the system of management corresponding to the situation at fire are presented.

The results of the comparative deployments of units on the fire rescue vehicle and a fire truck with a ladder with a supply of fire-rods are given.

Conclusions. The distribution of forces and means of units at the positions, with their maximum involvement, contributes to the fulfillment of the conditions of localization of the fire and reduces deployment time of incoming units.

Keywords: firefighting; management system; extinguishing position; gas and smoke protective service; fire dangerous factors.

REFERENCES

1. O. I. Stepanov, A. N. Denisov. The algorithm of synthesis of management system of fire and rescue divisions on the fire place. *Tekhnosfernaya bezopasnost' / Technosphere Safety*, 2018, no. 2(19), pp. 51–59 (in Russian).
2. Taktik Feuerwehr. — Kanton Zürich : Gebäudeversicherung, Mai 2004. 47 s. (in German).
3. O. I. Stepanov, A. N. Denisov, R. V. Nadeev, S. N. Atanasov, S. V. Gundar, T. M. Organokov, Ya. V. Stepanova. *Operativno-takticheskiye deystviya pozharnykh podrazdeleniy po tusheniyu pozharov v zdaniyakh nizkoy ustoychivosti (IV–V stepeni) pri pozhare* [Operational and tactical actions of fire units to extinguish fires in buildings of low resistance (IV–V degree) in case of fire]. Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2012. 58 p. (in Russian).
4. *Experimentelle Untersuchungen in der Holzbefeuerten Brandübungsanlage (HBUEA) der Feuerwehr Karlsruhe*. Karlsruhe, Karlsruher Institut für Technologie — Forschungsstelle für Brandschutztechnik, 2010. 135 s. (in German).
5. Christoph Slaby, Adrian Wibel. *Einsatztaktik für die Feuerwehr Hinweise zu Dachstuhlbränden*. Bruchsal, Landesfeuerwehrschule Baden-Württemberg, August 2012. 21 s. (in German).
6. W. V. Blockley. *Temperature tolerance: Man: Part 1. Heat and cold tolerance with and without protective clothing. Biology data book*. Bethesda, Maryland, Federation of American Societies for Experimental Biology, 1973. 781 p.
7. T. Log. Skin temperatures of a pre-cooled wet person exposed to engulfing flames. *Fire Safety Journal*, 2017, vol. 89, pp. 1–6. DOI: 10.1016/j.firesaf.2017.02.001.
8. *SITIS 4-12. Rekomendatsii po ispolzovaniyu programmy FDS s primeneniym PyroSim 2012, SmokeView i "SITIS: Flammer 3"* [SITIS 4-12. Recommendations for using the FDS program with the use of PyroSim 2012, SmokeView and "SITIS: Flammer 3"]. Yekaterinburg, SITIS Publ., 2013. 170 p. (in Russian).
9. A. Yu. Varfolomeev. Improving fire safety during the development of rural settlements planning documentation. *Zhilishchnoe Stroitelstvo / Housing Construction*, 2015, no. 10, pp. 38–42 (in Russian).
10. F. Vandecasteele, B. Merci, S. Verstockt. Fireground location understanding by semantic linking of visual objects and building information models. *Fire Safety Journal*, 2017, vol. 91, pp. 1026–1034. DOI: 10.1016/j.firesaf.2017.03.083.

11. S. Joerger. Modern wood-frame construction: firefighting problems and tactics. *Fire Engineering*, 2014, vol. 167, issue 1.
12. O. I. Stepanov, M. D. Dghabaev, M. V. Staheev, S. I. Osipenko. Research of realization of tactical potential of forces and means of GasSmokeProtectionService at the solution of operational tasks of suppression of the fires to buildings of the IV-V degree of fire resistance. *Tekhnosfernaya bezopasnost' / Technosphere Safety*, 2016, no. 1(10), pp. 26–32 (in Russian).
13. O. I. Stepanov, M. V. Stakheev, M. D. Dzhabaev. Realization of stage-by-stage method of input of resources of fire-fighters units during fire extinguishing. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti / Technology of Technosphere Safety*, 2014, no. 6(58). 9 p. (in Russian).
14. O. I. Stepanov. Theoretical realization of a method of giving of fire extinction substances with devices with low factor of the expense. In: *Aktualnyye problemy obespecheniya bezopasnosti v Rossiyskoy Federatsii. VI Vserossiyskaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya* [Current problems of safety in the Russian Federation. Proceedings of the VI All-Russian Scientific and Practical Conference]. In 2 parts. Yekaterinburg, Ural Institute of State Fire Service of Emercom of Russia Publ., 2012, part 2, pp. 136–141 (in Russian).
15. S. L. Manzello, R. G. Gann, S. R. Kukuck, K. R. Prasad, W. W. Jones. An experimental determination of a real fire performance of a non-load bearing glass wall assembly. *Fire Technology*, 2007, vol. 43, no. 1, pp. 77–89. DOI: 10.1007/s10694-006-0001-5.
16. I. P. Denisov. Prospects of use of fine-sprayed water and carrying out of clock ventilation at extinguishing of fires. In: *Aktualnyye problemy pozharoy bezopasnosti. Materialy XXV Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Actual problems of fire safety: Materials of the XXV International Scientific-Practical Conference]. Moscow, All-Russian Research Institute of Fire Protection Publ., 2013, pp. 302–307 (in Russian).
17. On approval of the Combat charter of fire protection units, determining the organization of fire extinguishing and rescue operations. Order of Emercom of Russia on 16 November 2017 No. 444 (in Russian). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/542610435> (Accessed 5 September 2018).
18. A. N. Denisov, Nguyen Minh Khuong, D. Yu. Pigusov. Management of fire departments in extinguishing fires in prefabricated storage buildings 4–5 degree of fire resistance. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti / Technology of Technosphere Safety*, 2015, no. 4(62), pp. 34–42 (in Russian).
19. A. V. Bobariko, A. A. Zausayev, A. V. Osipov, D. A. Moskalev, S. A. Rodionov. *Planirovaniye i organizatsiya tusheniya pozharov* [Planning and organization of extinguishing fires]. Khimki, Academy of Civil Defence of Emercom of Russia Publ., 2018. 81 p. (in Russian).
20. K. S. Vlasov, S. G. Tsarichenko. Mathematical model of management robotic fire departments during extinguishing large fires. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti / Technology of Technosphere Safety*, 2015, no. 2(60), pp. 212–217 (in Russian).
21. P. D. Sorokin, V. P. Yushkov, N. Yu. Lugovtsova. Research of fire load in residential houses of private sector. In: *Ekologiya i bezopasnost v tekhnosfere: sovremennyye problemy i puti resheniya: sbornik trudov Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii molodykh uchenykh, aspirantov i studentov* [Ecology and Safety in Technosphere: Current Problems and Solutions. Proceedings of All-Russian Scientific and Practical Conference of Young Scientists, Postgraduates and Students]. Tomsk, Tomsk Polytechnic University Publ., 2015, vol. 2, pp. 307–309 (in Russian).
22. V. P. Ivannikov, P. P. Klyus. *Spravochnik rukovoditelya tusheniya pozhara* [Handbook of fire extinguishing manager]. Moscow, Stroyizdat, 1987. 288 p. (in Russian).
23. Ya. S. Povzik, V. M. Panarin. *Takticheskaya i psikhologicheskaya podgotovka rukovoditelya tusheniya pozhara* [Tactical and psychological training of the head of fire extinguishing]. Moscow, Stroyizdat, 1988. 112 p. (in Russian).
24. P. J. Norwood, N. J. Salameh. Today's evolving fire attack. Available at: <https://www.fireengineering.com/articles/2018/09/todays-evolving-fire-attack.html> (Accessed 5 September 2018).
25. A. Fredricks. Little drops of water: 50 years later. Part 1. *Fire Engineering*, 2000, vol. 153, issue 2.
26. A. N. Grigoryev. *Support of management decision-making in case of large fires in public buildings*. Cand. tech. sci. diss. Moscow, 2012. 209 p. (in Russian).
27. M. M. Danilov, A. N. Denisov, D. E. Oparin. Some aspects of decision-making in management of fire extinguishing process. In: *Aktualnyye problemy obespecheniya bezopasnosti v Rossiyskoy Federatsii. VI Vserossiyskaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya* [Current problems of safety in the Russian Federation. Proceedings of the VI All-Russian Scientific and Practical Conference]. In 2 parts. Yekaterinburg, Ural Institute of State Fire Service of Emercom of Russia Publ., 2012, part 1, pp. 143–145 (in Russian).

For citation: O. I. Stepanov, A. N. Denisov. Experimental substantiation of creating positions for extinguishing with the use of special fire trucks. *Pozharovzryvobezopasnost' / Fire and Explosion Safety*, 2018, vol. 27, no. 11, pp. 58–66 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2018.27.11.58-66.

© Л. М. МЕШМАН, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник, ВНИИПО МЧС России (Россия, 143903, г. Балашиха Московской обл., мкр. ВНИИПО, 12; e-mail: fire404@mail.ru)

УДК 696

ТРЕБОВАНИЯ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ АУП И ВПВ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ДОШКОЛЬНЫМ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫМ И ОБЩЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫМ ОРГАНИЗАЦИЯМ

Рассмотрены нормативные документы по проектированию автоматических установок пожаротушения и внутреннего противопожарного водопровода применительно к дошкольным образовательным (ДОО) и общеобразовательным (ОО) организациям. Отмечается, что проектирование ДОО и ОО должно осуществляться согласно СП 251.1325800.2016 и СП 252.1325800.2016, но никаких конкретных указаний и требований не приводится. Поясняются причины, по которым до сих пор детские учреждения не защищаются ни АУП, ни ВПВ. Предлагаются локальные случаи применения спринклерных АУП или водяных завес и альтернативные варианты пожарной защиты школ, яслей и детских садов с использованием малорасходных пожарных кранов.

Ключевые слова: дошкольные образовательные организации; общеобразовательные организации; автоматические установки пожаротушения; внутренний противопожарный водопровод; проектирование.



ВОПРОС:

В редакцию журнала часто приходят письма с вопросом, почему, как это ни странно, для детских садов, яслей и школ нормативными документами не предусмотрена защита автоматическими установками пожаротушения или хотя бы использование внутреннего противопожарного водопровода, причем без существенного ущерба для помещений от пролитой при пожаре воды?

ОТВЕТ:

Проектирование детских садов и яслей должно осуществляться согласно СП 252.1325800.2016 [1].

Относительно АУП и внутреннего противопожарного водопровода (ВПВ) в [1] прописано следующее:

- 7.2.25: Системы внутреннего противопожарного водопровода и противодымной защиты в ДОО следует проектировать по условиям заданий на проектирование, учитывая требования противопожарных норм СП 5.13130.2009 [2], СП 7.13130.2013 [3], СП 10.13130.2009 [4] и Федерального закона от 22.07.2008 № 123-ФЗ [5];
- 9.3.1: При этом электроснабжение индивидуальных тепловых пунктов (ИТП), насосных станций хозяйственного и противопожарного водоснабжения, а также дренажных насосных станций (при их наличии) рекомендуется осуществлять согласно заданию на проектирование по одному из вариантов, приведенных в приложении В;
- 9.3.2: К I категории по надежности электроснабжения по ПУЭ [6] в зданиях ДОО и в крытых бассейнах комплексов ДОО следует относить следующие электроприемники инженерных систем:
 - автоматического пожаротушения и внутреннего пожарного водопровода, противопожарных устройств, аварийно-спасательного оборудова-

ния и пожарной техники (предусмотренной оперативным планом пожаротушения).

Если судить по приведенным пунктам, то в этих учреждениях должны в обязательном порядке присутствовать и АУП, и ВПВ. Однако ни в СП 5.13130.2009 [2], ни в СП 10.13130.2009 [4] упоминания относительно детских садов и яслей отсутствуют и никаких требований по проектированию АУП и ВПВ не приводится.

Таким образом, основания по оснащению детских садов и яслей автоматическими установками пожаротушения и внутренним противопожарным водопроводом у проектировщиков отсутствуют.

Детские сады и ясли, как правило, имеют не более двух этажей; коридоры небольшие, прямые, широкие; старшие группы располагаются на верхнем этаже, а младшие — на первом; при детях неотлучно находятся воспитатели или нянечки. Пожарные запасные выходы персоналу детских садов и яслей известны, пути эвакуации небольшие. Такие условия носят название “организованная среда, организованные действия”.

Следует отметить, что, например, в крупных торговых центрах также имеются и запасные пожарные выходы, и планы эвакуации, но в отличие от детских учреждений посетители центров, как правило, редко интересуются и местом расположения запасных пожарных выходов, и планами эвакуации. Такие условия носят название “организованная среда, неорганизованные действия”.

Поскольку в каждом помещении детских садов и яслей присутствует кто-то из взрослых, пожар сразу же будет обнаружен в самый начальный период его развития, вследствие чего эвакуация будет проведена своевременно. Пожарная нагрузка в детских садах невысокая и разобшенная (не соизмерима с пожарной нагрузкой в торговых центрах), поэтому спринклер-

ная АУП (если бы она была) сработала бы достаточно поздно.

Использовать АУП в детских садах остерегаются, видимо, из-за вероятности ложного срабатывания, но даже при своевременном ее срабатывании все равно потребуются немедленно эвакуировать детей из здания. Иначе не исключено, что дети окажутся в стрессовой ситуации. Кроме того, если дети намокнут, переодеть их немедленно будет не во что, а это может привести к массовым простудным заболеваниям.

Возникает опасность и иного рода. При ложном срабатывании АУП возможен не только значительный материальный ущерб от пролитой воды. Вследствие вынужденного перерыва в работе тех детских групп, помещения которых стали временно непригодны для пребывания в них детей (даже если пострадает только одна группа, а это около 30 ребят), их родители будут вынуждены прервать свою работу. А если такой возможности у них нет, то как быть?

Проектирование школ должно осуществляться в соответствии с СП 251.1325800.2016 [7]. Относительно АУП и ВПВ в этом своде правил прописано:

- 7.3.19: Пожарные краны следует размещать в многофункциональных интегрированных пожарных шкафах, предназначенных для размещения и обеспечения сохранности первичных средств пожаротушения, индивидуальной защиты, спасения людей и материальных ценностей, в соответствии с СП 10.13130.2009 [4], ГОСТ Р 51844–2009 [8];
- 11.17: Для обеспечения пожарной безопасности кабинеты (лаборатории) физики, электротехники и другие, где учащиеся работают с электрооборудованием, аппаратами и приборами напряжением до 0,4 кВ, а также школьные мастерские комплектуют противопожарным инвентарем: ящиком с песком, лопатой, плотной мешковиной (пропитанной огнестойким составом), огнетушителем.

В приведенных пунктах ни слова не сказано об использовании АУП для защиты помещений общеобразовательных организаций, а применительно к ВПВ упоминается, что пожарные краны должны размещаться (а не проектироваться!) согласно СП 10.13130.2009 [4] в пожарных шкафах. Обращаем внимание, что именно размещаться, а не проектироваться, так как в СП 10.13130.2009 [4] по проектированию ВПВ в школах никаких требований не предъявляется даже к лабораторным помещениям и школьным мастерским.

Ни слова не упоминалось об АУП и в ТСН 31-306–2004 (МГСН 4.06–03) [9], хотя и указывалось в п. 9.13, что “внутренний противопожарный водопровод следует предусматривать для зданий III степени огнестойкости и при реконструкции (капитальном ремонте) существующих зданий выше 4-х этажей в количестве 2 струй с расходом воды не менее 2,5 л/с”. Иначе гово-

ря, ВПВ предполагалось использовать только в г. Москве для ограниченного количества школьных зданий.

Следовательно, и для оснащения зданий общеобразовательных организаций автоматическими установками пожаротушения и внутренним противопожарным водопроводом у проектировщиков никаких оснований не имеется.

Школы несколько выше детских садов — 4–5 этажей, но и дети там старше. Для школ также характерны прямые широкие коридоры, пожарная нагрузка невысокая и разобшенная; при школьниках неотлучно находятся учителя; преподаватели и дети знакомы с местом нахождения запасных пожарных выходов. В школах должны в обязательном порядке проходить занятия по обучению действиям школьников в случае пожара, по ознакомлению их с планами и путями эвакуации в зависимости от того, где их застал пожар. Поэтому даже при большом числе школьников их эвакуация не должна вызвать особых затруднений, т. е. для школ, как и для дошкольных учреждений, имеют место те же условия — организованная среда и организованные действия.

Использовать АУП и ВПВ в школах остерегаются, вероятно, не столько из-за вероятности ложного срабатывания АУП и последствий этого срабатывания, сколько прежде всего из-за присущего детям такого возраста озорного поведения или целенаправленных хулиганских действий (например, сломать спринклерный ороситель, открыть пожарный кран и залить водой коридор, чтобы сорвать контрольную или пораньше уйти из школы в кино).

Наиболее пожароопасными помещениями в школах являются химические кабинеты, поэтому стоит подумать об оснащении этих кабинетов вторым выходом с противоположной стороны стены, о монтаже спринклерных оросителей, запитанных хотя бы от хозяйственно-питьевого водопровода.

Применительно к внутреннему противопожарному водопроводу сухотруб — это совокупность не заполненных водой трубопроводов, находящихся под атмосферным давлением, как правило, вертикальных стояков с размещенными на них на каждом этаже или полуэтаже клапанами пожарных кранов в комплекте с соединительными головками; нижняя часть сухотрубов с соединительными головками на конце выводится на фасад здания на высоте $(1,35 \pm 0,15)$ м от поверхности земли [10].

Альтернативной пожарной защитой школ, яслей и детских садов могут явиться малорасходные пожарные краны (ПК-м) [11]. Вследствие низкого расхода ПК-м их можно подключить к хозяйственно-питьевому водопроводу, не оборудуя дорогостоящей насосной установкой. Небольшие очаги пожара, которые сразу же будут обнаружены персоналом, достаточно легко могут быть потушены из этого крана даже женским персоналом.

Для исключения преднамеренного использования пожарных кранов учащимися можно было бы предусмотреть звуковое оповещение на рабочем месте вахтера школы.

В лабораторных помещениях и школьных мастерских возможно применение спринклерных оросителей, запитанных хотя бы от хозяйственно-питьевой сети, тем более что химические кабинеты, как правило, оснащены водопроводом. Можно предусмотреть над дверями в эти кабинеты и малорасходные водяные завесы, включаемые вручную, или малорасходные пожарные краны (по одному крану у каждого выхода). Причем во избежание несанкционированного включения водяных завес или малорасходных пожарных кранов они могут приводиться в действие только во время занятий. В остальное время лаборатории и мастерские должны быть закрыты на ключ. Таким образом, при проведении занятий и в случае возникновения пожара обученный преподаватель обеспечит эвакуацию детей и сможет потушить или локализовать небольшие очаги пожара еще до приезда пожарных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СП 252.1325800.2016. Здания дошкольных образовательных организаций. Правила проектирования. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200139949> (дата обращения: 15.10.2018).
2. СП 5.13130.2009. Системы противопожарной защиты. Установки пожарной сигнализации и пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200071148> (дата обращения: 15.10.2018).
3. СП 7.13130.2013. Отопление, вентиляция и кондиционирование. Требования пожарной безопасности. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200098833> (дата обращения: 15.10.2018).
4. СП 10.13130.2009. Системы противопожарной защиты. Внутренний противопожарный водопровод. Требования пожарной безопасности (с изм. № 1). URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200071153> (дата обращения: 15.10.2018).
5. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : Федер. закон РФ от 22.07.2008 № 123-ФЗ (с изм. на 29.07.2017, в ред. 31.07.2018). URL: <http://docs.cntd.ru/document/902111644> (дата обращения: 15.10.2018).
6. ПУЭ 7. Правила устройства электроустановок. — Изд. 7-е. URL: <http://files.stroyinf.ru/Data1/7/7177/> (дата обращения: 15.10.2018).
7. СП 251.1325800.2016. Здания общеобразовательных организаций. Правила проектирования (с изм. № 1). URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200139445> (дата обращения: 15.10.2018).
8. ГОСТ Р 51844–2009. Техника пожарная. Шкафы пожарные. Общие технические требования. Методы испытаний. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200071922> (дата обращения: 15.10.2018).

9. ТСН 31-306–2004 г. Москвы (МГСН 4.06–03). Общеобразовательные учреждения. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200036965> (дата обращения: 15.10.2018).

10. Мешман Л. М., Былинкин В. А., Губин Р. Ю., Романова Е. Ю. Внутренний противопожарный водопровод : учебно-методическое пособие. — М. : ВНИИПО, 2010. — 496 с.

11. Мешман Л. М., Романова Е. Ю., Губин Р. Ю. Проблемы проектирования внутреннего противопожарного водопровода на базе малорасходных пожарных кранов низкого и высокого давления. Часть 1. Аналитический обзор по малорасходным пожарным кранам и их аналогам // Пожарная безопасность. — 2018. — № 2. — С. 115–125.

Для цитирования: Мешман Л. М. Требования по проектированию АУП и ВПВ применительно к дошкольным образовательным и общеобразовательным организациям // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2018. — Т. 27, № 11. — С. 67–69.

English

DESIGN REQUIREMENTS OF AFEI AND ISHS WITH RESPECT TO PRESCHOOL EDUCATIONAL AND EDUCATIONAL ORGANIZATIONS

L. M. MESHMAN, Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia (12, VNIPO, Balashikha, Moscow Region, 143903; e-mail: fire404@mail.ru)

ABSTRACT

Normative documents on design of automatic fire extinguishing installations (AFEI) and installation of standpipe and hose systems (ISHS) in relation to preschool educational (PEO) and general education (GEO) organizations are considered. It is noted that the design of PEO and GEO should be carried out according to SP 251.1325800.2016 and SP 252.1325800.2016. However, no specific instructions or requirements are given. Explains the reasons for which are still institutions are not protected neither AFEI nor ISHS. Available local applications of AFEI or sprinkler water curtains and the alternatives for fire protection, schools, nurseries, economical fire taps.

Keywords: preschool educational organizations; educational organizations; automatic fire extinguishing installations; installation of standpipe and hose systems; design.

For citation: L. M. Meshman. Design requirements of the AFEI and ISHS in relation to preschool educational and general education organizations. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2018, vol. 27, no. 11, pp. 67–69 (in Russian).

© А. С. ХАРЛАМЕНКОВ, старший преподаватель кафедры специальной электротехники, автоматизированных систем и связи, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4; e-mail: h_a_s@live.ru)

УДК 614.841.33

КАТЕГОРИРОВАНИЕ ПОМЕЩЕНИЙ ГАЗОВЫХ КОТЕЛЬНЫХ ПО ВЗРЫВОПОЖАРНОЙ И ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ

Рассмотрены нормативные документы, регламентирующие порядок оценки категории помещений по взрывопожарной и пожарной опасности. Отмечены особенности определения категории помещения газовой котельной. Представлены примеры расчетов наиболее важных характеристик, влияющих на выбор категории. Указаны различные варианты трактовки норм, ведущих к их разночтению специалистами.

Ключевые слова: промышленные здания; пожарная безопасность; пожаровзрывоопасные зоны; вероятность отказа; удельная пожарная нагрузка.



ВОПРОС:

Котельные, работающие на природном газе, являются наиболее экономически выгодными и экологически чистыми производствами среди аналогичных им объектов. В то же время для них характерна значительная пожарная опасность в связи с применением взрывоопасного горючего газа. Степень опасности отражается в категории помещения котельной, а также в установленном для нее классе пожаро- или взрывоопасной зоны. Эти показатели напрямую влияют на проектные объемно-планировочные решения и выбор безопасного оборудования, в том числе для систем противопожарной защиты.

По причине разночтений нормативных документов, касающихся обеспечения пожарной безопасности газовых котельных, специалисты и проектировщики дают разную оценку их степени опасности. В то же время верный подход к определению категории помещений котельных и их класса зоны позволит обеспечить должный уровень их пожарной безопасности.

Каким образом следует проводить оценку пожарной опасности газовой котельной с определением ее категории и класса зоны?

ОТВЕТ:

Газовая котельная, как и другие производственные объекты класса функциональной пожарной опасности Ф5.1, подлежит категорированию по пожарной и взрывопожарной опасности.

Независимо от назначения производственного помещения его принадлежность к той или иной категории должна определяться путем проверки (обычно инженерного расчета), порядок которой приведен в СП 12.13130.2009 [1]. Данное требование изложено в п. 4 ст. 27 ФЗ-123 [2]. Однако многие специалисты считают, что любое помещение котельной следует автоматически относить к категории Г, где горючие газы сжигаются в качестве топлива (см. п. 9 ст. 27

ФЗ-123 [2]). Такой подход намного упрощает процесс оценки категории помещения котельной и снижает затраты на реализацию закладываемых в проект инженерных решений.

Первый вариант оценки, предусматривающий проведение инженерных расчетов, требует больших затрат, однако последние могут быть сокращены при обосновании малого времени срабатывания системы автоматики отключения трубопроводов. По паспортным данным для электромагнитных клапанов это время составляет 1 с плюс время задержки при срабатывании газоанализатора (10–20 с). При аварийной утечке газа из подводящего трубопровода за такое время в помещение котельной произойдет незначительный по массе выброс, а расчетное избыточное давление взрыва составит менее 5 кПа (с учетом работы аварийной вентиляции). Единственным камнем преткновения станет обоснование вероятности отказа $Q(t)$ системы автоматики, которая не должна превышать 10^{-6} в год при отсутствии резервирования ее элементов [1]. В систему автоматического срабатывания, помимо электромагнитного клапана, входит газоанализатор и подключаемый к нему шлейф сигнализации. Таким образом, система будет состоять как минимум из трех самостоятельных элементов, каждый из которых имеет свою вероятность отказа. В этом случае суммарная вероятность отказа $\Sigma Q(t)$ всей системы будет определяться произведением вероятностей отказа каждого ее элемента. Для определения значения вероятности отказа $Q(t)$ можно либо провести статистическую и вероятностную оценку, либо знать интенсивность отказов λ каждого элемента. Изготовитель оборудования в паспорте указывает значение средней наработки на отказ в часах, по которой можно оценить интенсивность отказа элемента, вероятность безотказной работы $P(t)$ и вероятность отказа в год для каждого элемента системы. Если выполнить приблизительную оценку вероятности отказа системы, которая обнаруживает

утечку газа до взрывоопасной концентрации с последующим перекрытием трубопровода, получим значение, превышающее 10^{-6} в год. Так, для электромагнитного клапана наработка на отказ составляет 15 000–30 000 ч. Следовательно, интенсивность отказов $\lambda = 1/30000 = 0,00003333 = \text{const}$, а $P(t) = \exp(-\lambda t) = \exp(-0,00003333 \cdot 365 \cdot 24) \approx 0,75$ в год. Тогда $Q(t) = 1 - P(t) \approx 0,25$. Такой путь оценки значительно усложняет работу специалистов-проектировщиков, поэтому следует обязать производителей систем автоматики указывать значения $Q(t)$ в паспортах устройств.

Если обосновать малую вероятность отказа системы не получится, то придется обеспечить резервирование элементов системы или принять расчетное время отключения трубопроводов равным 120 с (см. п. 1 прил. А [1]). В случае такой длительной утечки, даже с учетом аварийной вентиляции, расчетное избыточное давление взрыва превысит 5 кПа, а значит, помещение газовой котельной придется отнести к категории А с классом взрывоопасной зоны 2 (см. ст. 19 ФЗ-123 [2]). В результате все электроприборы придется устанавливать во взрывозащищенном исполнении, прокладку кабелей силовой сети осуществлять в стальных трубах и принимать более жесткие меры к системам заземления и молниезащиты.

Похожая ситуация изложена в СП 89.13330.2016 [3]. В табл. Б.1 прил. Б [3] котельным залам, работающим на газообразном топливе, присваивается ориентировочная категория помещения (здания) Г. В примечании к таблице отмечено, что, помимо категории, требуется определить расчетный допустимый объем помещения $V_{\text{доп}}$. Если свободный объем помещения получится меньше допустимого, то помещение котельной должно быть оборудовано системой автоматического контроля загазованности, аварийной вентиляцией с кратностью воздухообмена не менее 5 объемов в час, с резервными вентилятором и источником питания, а также с взрывозащищенным электрооборудованием, соответствующим 2-му классу взрывоопасной зоны.

Следует отметить, что причиной неоднозначных трактовок ст. 27 [2] является отсутствие четких пояснений по порядку расчетов категории помещения котельной. Для категорий А и Б такие расчеты выполняются в случае аварийной ситуации с утечкой газа в результате разгерметизации трубопровода. Для категорий В1–В4 расчет сводится к определению максимальной удельной пожарной нагрузки в помещении и сравнению ее со значениями табл. Б.1 прил. Б СП 12 [1]. Какие-либо расчеты по определению категорий Г и Д отсутствуют, а переход от пожароопасной категории В4 к Г выполняется условно, если удельная пожарная нагрузка в помещении составит менее 1 МДж/м². Однако в этом случае возникает вопрос, а может ли в помещении котельной быть такая малая нагрузка? Ответ однозначный: такая нагрузка маловероятна.

Приведем простой пример. Возьмем минимально допустимую по СП 12 [1] ячейку помещения котельной площадью 10 м². Представим, что в ней по периметру проложен трехжильный кабель марки ВВГнг сечением 1,5 м², длиной 14 м, который будет занимать не более 2 % общей площади ячейки. Масса изоляции из поливинилхлорида (ПВХ) за вычетом массы медных жил составит 0,4 кг. Тогда пожарная нагрузка (в МДж), равная произведению массы изоляции (в кг) на низшую теплоту сгорания ПВХ, не распространяющего горение (22 МДж/кг), составит 8,8 МДж, что для ячейки 10 м² создаст удельную пожарную нагрузку 0,88 МДж/м². В примере не учитывалась масса иных горючих материалов, которые могли находиться в рассматриваемой ячейке помещения котельной и увеличить пожарную нагрузку в ней до значений, превышающих 1 МДж/м². Следовательно, практически для любого помещения котельной пожарная нагрузка с учетом всех горючих материалов составит более 1 МДж/м², поэтому почти каждое помещение котельной может быть отнесено к категории В1–В4 с классом пожароопасной зоны П-IIа, где располагаются твердые горючие вещества (см. ст. 18 ФЗ-123 [2]). Такое положение дел приведет к значительным затратам на покупку пожарозащищенного (IP) оборудования и к удорожанию монтажных работ.

Указанные выше неопределенности в оценке категории помещения (здания) газовой котельной требуют внесения изменений и пояснений в действующие нормативные документы по строительству и пожарной безопасности. До внесения таких изменений автор статьи останется сторонником того, что газовая котельная по пожарной и взрывопожарной опасности должна относиться к категории Г без наличия в ней взрывопожароопасных зон. Ведь недаром п. 7.3.43 Правил устройства электроустановок (ПУЭ) [4] указывает на то, что зоны в помещениях, в которых газообразные горючие вещества сжигаются в качестве топлива, не относятся в части их электрооборудования к взрывоопасным (за исключением помещений отопительных котельных, встроенных в здание).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СП 12.13130.2009. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности (с изм. № 1). — Введ. 01.05.2009. — М.: ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2009.
2. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности: Федер. закон РФ от 22.07.2008 № 123-ФЗ (в ред. от 29.07.2017) // Собр. законодательства РФ. — 2008. — № 30 (ч. I), ст. 3579.
3. СП 89.13330.2016. Котельные установки. Актуализированная редакция СНиП II-35–76. — Введ. 17.06.2017. — М.: Стандартинформ, 2017.
4. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). — 6-е изд. — М.: Энергоатомиздат, 1986.

Для цитирования: Харламенков А. С. Категорирование помещений газовых котельных по взрывопожарной и пожарной опасности // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2018. — Т. 27, № 11. — С. 70–72.

English

CATEGORIZATION OF GAS BOILER ROOMS ON EXPLOSION AND FIRE HAZARD

A. S. KHARLAMENKOV, Senior Lecturer of Department of Special Electrical Engineering, Automation Systems and Communication, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail: h_a_s@live.ru)

ABSTRACT

The normative documents regulating the procedure for assessing the category of premises on explosion and fire hazards are considered. The features of the definition of the category of gas boiler room are noted. Examples of calculations of the most important characteristics affecting the choice of category are presented. Various variants of interpretations of the norms leading to their different interpretation by experts are indicated.

Keywords: industrial building; fire safety; fire and explosion hazard zones; probability of failure; specific fire load.

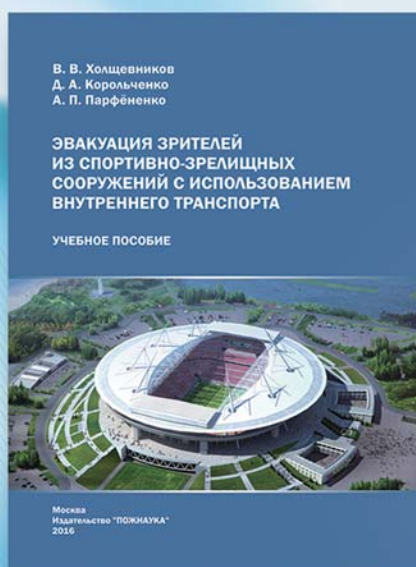
For citation: A. S. Kharlamenkov. Categorization of gas boiler rooms on explosion and fire hazard. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2018, vol. 27, no. 11, pp. 70–72 (in Russian).



ООО «Издательство «ПОЖНАУКА»

предлагает Вашему вниманию

Учебное пособие



Холщевников В. В.
Корольченко Д. А.
Парфёненко А. П.

ЭВАКУАЦИЯ ЗРИТЕЛЕЙ ИЗ СПОРТИВНО-ЗРЕЛИЩНЫХ СООРУЖЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВНУТРЕННЕГО ТРАНСПОРТА

М. : Изд-во «ПОЖНАУКА», 2016. — 88 с.

Впервые в практике архитектурно-строительного преподавания рассмотрена методология учета важнейшего функционального процесса — движения людских потоков с использованием эскалаторов и лифтовых установок при различных режимах эксплуатации зданий, включая чрезвычайную ситуацию пожара, на примере реального объекта с большим количеством находящихся в нем людей.

Для заказа книги пишите нам по адресу:

121352, г. Москва, а/я 6,

или звоните по телефону

8 (495) 228-09-03.

Вы можете также оформить заказ через электронную почту:

mail@firepress.ru.

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ!

Направляемые в журнал “ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТЬ / FIRE AND EXPLOSION SAFETY” 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. Авторы должны указать, к какому типу относится их статья:

- научно-теоретическая;
- научно-эмпирическая;
- аналитическая (обзорная);
- дискуссионная;
- рекламная.

Не допускается направлять в редакцию работы, 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 адресу info@fire-smi.ru.

Статья должна быть ясно и лаконично изложена и подписана всеми авторами (скан страницы с подписями). Основной текст статьи должен содержать в себе четкие, логически взаимосвязанные разделы. Все разделы должны начинаться приведенными ниже заголовками, выделенными полужирным начертанием. Для научной статьи традиционными являются следующие разделы:

- введение;
- материалы и методы (методология) — для научно-эмпирической статьи;
- теоретические основы (теория и расчеты) — для научно-теоретической статьи;
- результаты и их обсуждение;
- заключение (выводы).

Редакция допускает и иную структуру, обусловленную спецификой конкретной статьи (аналитической (обзорной), дискуссионной, рекламной) при условии четкого выделения разделов:

- введение;
- основная (аналитическая) часть;
- заключение (выводы).

Подробную информацию о содержании каждого из обозначенных выше разделов см. на сайте издательства www.fire-smi.ru.

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 недопустима транслитерация с русского языка, кроме непереводаемых названий собственных имен, приборов и других объектов, имеющих собственные названия, а также непереводаемый сленг, известный только русскоговорящим специалистам. Это касается также 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, 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, страну, индекс, 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.), так как это затрудняет идентификацию организации. Обращаем Ваше внимание, что при переводе необходимо указывать официально принятое название организации на английском языке. Все почтовые сведения (кроме наименования улицы, которое 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 для статьи теме. Аннотация к научной статье представляет собой краткое 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 авторское резюме на английском языке в русскоязычном издании является 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 (должно 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);
- объемом не менее 200–250 слов.

Структура резюме должна повторять структуру статьи и включать четко обозначенные подразделы Введение (Introduction), Цели и задачи (Aims and Purposes), Методы (Methods), Результаты (Results), Обсуждение (Discussion), Заключение (выводы) (Conclusions).

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

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

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

Сокращения и условные обозначения, кроме общеупотребительных, следует применять в исключительных случаях или давать их расшифровку и определение при первом упоминании в тексте резюме.

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

Для повышения эффективности при онлайн-поиске включите в текст аннотации ключевые слова и термины из основного текста и заглавия статьи.

2.6. Ключевые слова на русском и английском языках (не менее 5 слов или словосочетаний). Они 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), артиклей “a”, “the” и т. п.

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

Цитируемый текст из других публикаций следует брать в кавычки. Таблицы, рисунки, методы, численные данные (за исключением общеизвестных величин), опубликованные ранее, должны сопровождаться ссылками.

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

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 предоставляются 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 печатать PDF-файл из этой программы. Все иллюстрации должны иметь сквозную нумерацию. Чертежи и карты в качестве иллюстраций неприемлемы. 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.

Для двуязычного представления табличного и графического материала необходимо прислать перевод на английский язык:

- для таблицы: ее названия, шапки, боковика, текста во всех строках, сносок и примечаний;
- для рисунка: подрисунковой подписи и всех текстовых надписей на самом рисунке;
- для схемы: подписи к ней и всего содержания самой схемы.

2.8. Пристатейные 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.

Наряду с этим для научных статей список литературы должен отвечать следующим требованиям.

Список литературы должен содержать не менее 20 источников (в это число не входят нормативные документы, патенты, ссылки на сайты компаний и т. п.). При этом количество ссылок на статьи из иностранных научных журналов и другие иностранные источники должно быть не менее 40 % от общего количества ссылок. Не более половины от оставшихся 60 % должны составлять статьи из русскоязычных научных журналов, остальное — другие первоисточники на русском языке.

Не менее половины источников должно быть включено 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 циф-

рового 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 должно быть не более 30 % источников, автором либо соавтором которых является автор статьи.

Следует обратить внимание на публикации диссертаций (особенно докторских), защищенных в последние годы по ближайшей научной специальности или группе специальностей. Для поиска рекомендуется использовать ресурс <http://www.dissercat.com>.

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 (пристатейные 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)”); если автор цитируемой статьи имеет свой вариант транслитерации своей фамилии, следует использовать этот вариант);
- заглавие на английском языке — для статьи, транслитерация и перевод названия — для книги;
- название источника (журнала, сборника статей, материалов конференции и т. п.) в транслитерации и на английском языке (курсивом, через косую черту);
- выходные данные;
- указание на язык изложения материала в скобках (например, (in Russian)).

Например: D. N. Sokolov, L. P. Vogman, V. A. Zuykov. Microbiological spontaneous ignition. *Pozharnaya bezopasnost / Fire Safety*, 2012, no. 1, pp. 35–48 (in Russian) (другие примеры см. www.fire-smi.ru).

3. Статьи, присланные не в полном объеме, на рассмотрение не принимаются.

4. В случае получения замечаний в ходе внутреннего рецензирования статьи авторы должны предоставить доработанный вариант текста с обязательным выделением цветом внесенных изменений, а также отдельно подготовить конкретные ответы-комментарии на все вопросы и замечания рецензента. Несвоевременный, а также неадекватный ответ на замечания рецензентов и научных редакторов приводит к задержке публикации до исправления указанных недостатков. При игнорировании замечаний рецензентов и научных редакторов рукопись снимается с дальнейшего рассмотрения.

5. Непринятые к публикации статьи автору не возвращаются. Просьба редакции о переработке материала не означает, что он принят к печати.

Предпечатная подготовка статей оплачивается за счет средств подписчиков и третьих лиц, заинтересованных в публикации.

Редакция оставляет за собой право считать, что авторы, предоставившие рукопись для публикации в журнале “Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety”, согласны с условиями публикации или отклонения рукописи, а также с правилами ее оформления!



Перед динамическими испытаниями



Перед статическими испытаниями



РЕКЛАМА

После статических испытаний. Общий вид

ИСПЫТАНИЕ СРЕДСТВ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ ОТ ПАДЕНИЯ С ВЫСОТЫ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ

**СТРОИТЕЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

Контакты:

Тел.: 8 (495) 109-05-58

e-mail: ikbs@mgsu.ru,

mail@ikbs-mgsu.com

www.ikbs-mgsu.com

ISSN 0869-7493 (Print)
ISSN 2587-6201 (Online)

**Начинается
подписка
на журнал**

2019

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

- Стоимость подписки на 1-е полугодие 2019 г. (3 номера) — 5901 руб.
- Стоимость годовой подписки (6 номеров) — 10260 руб.

ЭЛЕКТРОННАЯ ВЕРСИЯ:

- Стоимость подписки на 1-е полугодие 2019 г. (3 номера) — 2460 руб.
- Стоимость годовой подписки (6 номеров) — 4680 руб.

ПОДПИСКА ОСУЩЕСТВЛЯЕТСЯ:

- через ООО “Издательство “Пожнаука”;
- ЧЕРЕЗ ПОДПИСНЫЕ АГЕНТСТВА:
- ООО “Урал-Пресс”, индекс 83647 (полугодовой), 70753 (годовой);
- ООО “Агентство “Книга Сервис”, индекс 83647 (полугодовой), 70753 (годовой);
- ЗАО “ПРЕССИНФОРМ”, индекс 83647 (полугодовой), 70753 (годовой)

25-я Юбилейная международная выставка
технических средств охраны
и оборудования для обеспечения
безопасности и противопожарной защиты



securika
Moscow



Москва

**19–22
марта
2019**

ЦВК «Экспоцентр»

РЕКЛАМА



Видеонаблюдение



Контроль
доступа



Охрана
периметра



Противопожарная
защита



Сигнализация
и оповещение



Автоматизация
зданий



Организатор
Группа компаний ITE
+7 (499) 750-08-28
security@ite-expo.ru

Забронируйте стенд
securika-moscow.ru



ИНСТИТУТ КОМПЛЕКСНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Национальный исследовательский
Московский государственный
строительный университет

Научно-
исследовательские
и сертификационные
испытания:

- ♦ железобетонных конструкций
- ♦ противопожарных преград
- ♦ легкобрасываемых конструкций
- ♦ фасадных систем
- ♦ палуб, переборок

Контакты:

Тел.: 8 (495) 109-05-58

e-mail: ikbs@mgsu.ru,

mail@ikbs-mgsu.com

www.ikbs-mgsu.com

Свидетельство о признании
Аттестат аккредитации № РОСС RU.0001.21AM09 от 24.06.2014 г.
испытательной лаборатории РМРС № 16.00385.120 от 28.12.2016 г.