

ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТЬ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

7'2011

**Взрывная опасность для АЭС,
зaproектированных и построенных в России
без учета взрывной опасности**

**Исследование пенообразующей способности
растворов фторированных поверхностно-
активных веществ**

**Вероятность спасения людей
как фактор снижения индивидуального
пожарного риска в общественных зданиях**



**Проблемы эвакуации из технических
помещений, расположенных на кровле
зданий**

**Повышение пожарной безопасности
зерноперерабатывающих предприятий
за счет использования гравитационных
сепараторов**

**Характеристики тепловыделения
при горении древесины
различных пород и видов**

ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТЬ

Том 20 • № 7 • 2011 FIRE & EXPLOSION SAFETY

Научно-технический журнал
ООО "Издательство "Пожнаука"

The Journal of the Russian Association
for Fire Safety Science ("Pozhnauka")

СОДЕРЖАНИЕ

CONTENTS

ПРОЦЕССЫ ГОРЕНИЯ

Асеева Р. М., Серков Б. Б., Сивенков А. Б., Барботько С. Л., Круглов Е. Ю. Характеристики теплово-выделения при горении древесины различных пород и видов

2

COMBUSTION PROCESSES

Aseeva R. M., Serkov B. B., Sivenkov A. B., Barbotko S. L., Kruglov E. Yu. Characteristics of Heat Release at Burning of Wood of Different Reeds and Species

ПОЖАРОВЗРЫВООПАСНОСТЬ ВЕЩЕСТВ И МАТЕРИАЛОВ

Алексеев С. Г., Барбин Н. М., Алексеев К. С., Орлов С. А. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. III. Кетоны (часть 2)

8

FIRE-AND-EXPLOSION HAZARD OF SUBSTANCES AND MATERIALS

Alexeev S. G., Barbin N. M., Alexeev K. S., Orlov S. A. Correlation of Fire Hazard Indexes with Chemical Structure. III. Ketones (Part 2)

ОГНЕСТОЙКОСТЬ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Зайцев А. М., Черных Д. С. О системной погрешности аппроксимации температурного режима стандартного пожара математическими формулами

14

FIRE-RESISTANCE OF BUILDING CONSTRUCTIONS

Zaytsev A. M., Chernykh D. S. On System Error of Approximation of Standard Fire Temperature Conditions by Mathematical Formulas

ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Некрасов А. В., Калач А. В., Исаев А. А. Повышение пожарной безопасности зерноперерабатывающих предприятий за счет использования гравитационных сепараторов

18

FIRE-AND-EXPLOSION SAFETY OF TECHNOLOGICAL PROCESSES

Nekrasov A. V., Kalach A. V., Isaev A. A. Increase of Fire Safety of the Grain Processing Enterprises at the Expense of Use of the Gravitational Separators

ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ЗДАНИЙ, СООРУЖЕНИЙ, ОБЪЕКТОВ

Мишуев А. В., Казеннов В. В., Хуснудинов Д. З. Взрывная опасность для АЭС, запроектированных и построенных в России без учета взрывной опасности

21

FIRE SAFETY OF BUILDINGS, STRUCTURES, OBJECTS

Mishuev A. V., Kazennov V. V., Khusnudinov D. Z. Explosion Hazard of Nuclear Power Plants that Have Been Planned and Built in Russia without Meeting the Explosion Safety Requirements

БЕЗОПАСНОСТЬ ЛЮДЕЙ ПРИ ПОЖАРАХ

Пронин Д. Г., Спиридовон Д. А. Проблемы эвакуации из технических помещений, расположенных на кровле зданий

26

FIRE SAFETY OF PEOPLE

Pronin D. G., Spiridonov D. A. Roof's Technical Rooms Evacuation Problems

Седов Д. В. Вероятность спасения людей как фактор снижения индивидуального пожарного риска в общественных зданиях

28

Sedov D. V. Likelihood of Saving People as a Factor in Reducing the Individual Fire Risk in Public Buildings

СТАТИСТИКА И АНАЛИЗ ПОЖАРОВ

Кайбичев И. А. Анализ выбросов числа пожаров

32

STATISTIC AND ANALYZE OF FIRE

Kaibitchev I. A. Fire Numbers Surge Analysis

ПОЖАРНАЯ АВТОМАТИКА

Русских Д. В., Туев В. Е., Калач А. В. Газовая чувствительность датчиков газов на основе диоксида олова при облучении светодиодом

41

FIRE AUTOMATIC

Russkikh D. V., Tuev V. E., Kalach A. V. Gas Sensitivity of Gas Sensors Based on Stannic Oxide at an Irradiation by Light-Emitting Diode

ТУШЕНИЕ ПОЖАРОВ

Котов С. Г., Навроцкий О. Д., Котов Д. С. Исследование пенообразующей способности растворов фторированных поверхностно-активных веществ

45

FIRE EXTINGUISHING

Kotov S. G., Navrotsky O. D., Kotov D. S. Research of Foam-Forming Capacity of Solutions of Fluorinated Surfactants

ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТЬ. СПРАВОЧНИК

56

FIRE-AND-EXPLOSION SAFETY. REFERENCE BOOK

Журнал включен в перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, рекомендованных ВАК России для публикации трудов соискателей ученых степеней, в Реферативный журнал и Базы данных ВИНИТИ РАН. Сведения о журнале ежегодно публикуются в Международной справочной системе по периодическим и продолжающимся изданиям "Ulrich's Periodicals Directory".

Перепечатка материалов только по согласованию с редакцией. Авторы несут ответственность за содержание предоставленных в редакцию материалов и публикацию их в открытой печати



R. M. Асеева
д-р техн. наук, профессор,
профессор Академии
ГПС МЧС РФ, г. Москва,
Россия



Б. Б. Серков
д-р техн. наук, профессор, начальник
Учебно-научного комплекса проблем
пожарной безопасности в строительстве
Академии ГПС МЧС РФ, г. Москва, Россия



А. Б. Сивенков
канд. техн. наук, доцент, заместитель начальника Учебно-научного комплекса проблем пожарной безопасности в строительстве Академии ГПС МЧС РФ, г. Москва, Россия



С. Л. Барботко
канд. техн. наук, начальник
лаборатории ФГУП "ВИАМ"
ГНЦ РФ, г. Москва, Россия



Е. Ю. Круглов
адъюнкт
Академии ГПС МЧС РФ,
г. Москва, Россия

УДК 614.8:544(048)

ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕПЛОВЫДЕЛЕНИЯ ПРИ ГОРЕНИИ ДРЕВЕСИНЫ РАЗЛИЧНЫХ ПОРОД И ВИДОВ

Представлены результаты исследования основных характеристик тепловыделения при горении различных видов лиственных и хвойных пород древесины. Установлено, что существенное влияние на эти характеристики оказывают такие факторы, как разновидность и влажность образцов древесины, а также плотность внешнего радиационного теплового потока при испытании.

Ключевые слова: древесина различных пород и видов; влажность; скорость тепловыделения; плотность внешнего радиационного теплового потока.

Введение

Процесс горения веществ и материалов является предметом исследований, тесно связанных с развитием пожара в помещениях и зданиях. В рассматриваемом аспекте особенно важным представляется изучение характеристик тепловыделения. В последние годы все большее внимание уделяется показателям пожарной опасности полимерных материалов, применяемых в строительной индустрии. При этом наиболее важным параметром является скорость тепловыделения (СТВ), особенно при прогнозировании развития пожара. С этим параметром связано изменение размера очага пожара и температуры в нем, скорость распространения пламени по поверхности материалов, образование токсичных продуктов горения и дыма, уменьшение концентрации кислорода в помещении. В совокупности эти данные позволяют моделировать развитие пожара,

рассчитывать допустимое время эвакуации, расход огнетушащих средств и время тушения пожара.

Следует отметить, что в России отсутствует стандартизованное отечественное оборудование и методы испытаний для определения характеристик тепловыделения при горении материалов. Во ВНИИПО МЧС России была сделана попытка создания установки для экспериментального определения интенсивности (скорости) тепловыделения при действии внешнего радиационного теплового потока плотностью 15–25 кВт/м². Разработанная установка давала возможность определять скорость потери массы образца, температуру и содержание кислорода в пламени и, таким образом, оценивать коэффициент полноты сгорания материала и эффективную теплоту сгорания [1].

Между тем в настоящее время за рубежом широко используются стандартные лабораторные (ISO 5660, ASTM E1354, ASTM E906), среднемасштабные

© Асеева Р. М., Серков Б. Б., Сивенков А. Б., Барботко С. Л., Круглов Е. Ю., 2011

(EN 13823) и крупномасштабные (ISO 9705) установки для определения характеристик тепловыделения при горении материалов. Интенсивность тепловыделения и скорость ее нарастания до максимального значения положены в основу классификации и нормирования пожаробезопасного применения строительных материалов и конструкций [2–5].

Наряду с этим следует отметить ограниченный характер исследований показателей тепловыделения при горении древесины в зависимости от ее разновидности и породы. Поэтому целью настоящей работы стало изучение указанных характеристик, а также влияние на них таких факторов, как влажность древесины и плотность внешнего теплового радиационного потока.

Экспериментальная часть

В качестве исследуемых образцов были взяты две хвойные (ель, сосна) и две лиственные (береза, дуб) разновидности древесины из средней полосы России. Перед экспериментом образцы размером $150 \times 150 \times 10$ мм высушивали в шкафу до постоянной массы при температуре 60°C . Контроль осуществляли измерением влажности с помощью игольчатого влагомера. Высушенные образцы хранили в герметичной упаковке. Основные характеристики исследуемых видов древесины представлены в табл. 1.

Для определения характеристик тепловыделения применяли стандартный проточный калориметр OSU марки HRR-3, разработанный Университетом штата Огайо (Ohio State University) и произведенный фирмой Atlas Electric Devices, США (рис. 1). Принцип действия калориметра OSU основан на измерении температуры отходящих газов при помощи дифференциального многоспайного термодатчика (термопары типа K).

Подробно аппаратура и методика оценки тепловыделения с помощью калориметра OSU описаны в стандарте ASTM E906. Данная установка позволяет определять величину теплового потока от радиационной тепловой панели на поверхности испытуемого образца до $100 \text{ кВт}/\text{м}^2$.

В настоящей работе определяли характеристики тепловыделения в процессе горения древесины

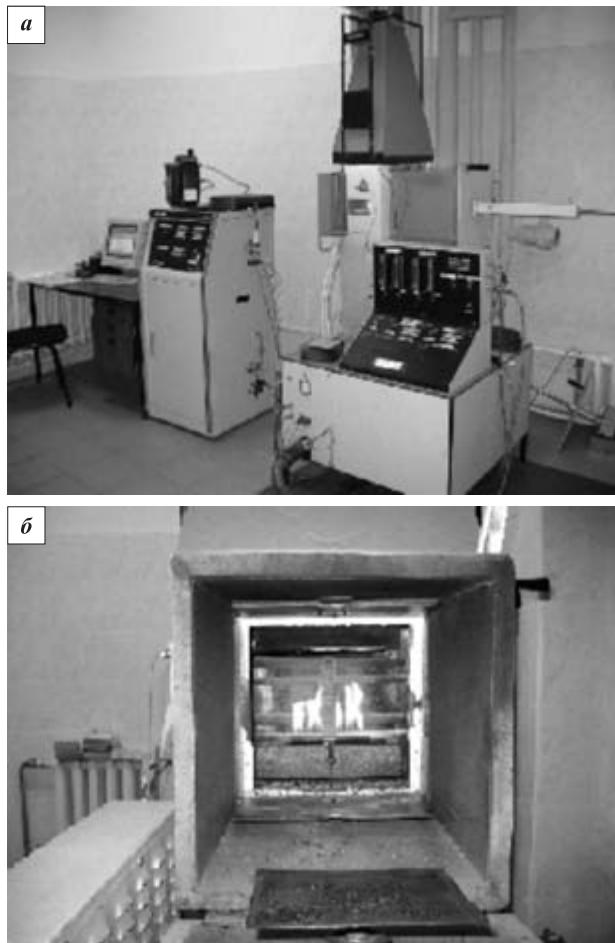


Рис. 1. Проточный калориметр ASTM E906: *а* — общий вид; *б* — реакционная огневая камера

при воздействии теплового потока интенсивностью $20, 35$ и $52 \text{ кВт}/\text{м}^2$, типичного для реальных пожаров в помещениях различных зданий. Для испытания было подготовлено по 3 образца каждой разновидности древесины. Образцы располагали вертикально относительно радиационной панели и перпендикулярно к оси волокон.

В ходе испытаний через реакционную камеру продувается воздух с заданным расходом $40 \text{ л}/\text{с}$ ($0,04 \text{ м}^3/\text{с}$). Под действием внешнего радиационного теплового потока образец древесины в реакционной камере начинает разлагаться; образующиеся парогазовые продукты термодеструкции материала воспламеняются нижней и дожигаются верхними запальными горелками. Выделяющееся при этом тепло повышает температуру потока воздуха, омывающего на выходе из дымохода горячие спаи пятиспайной термопары. С помощью компьютеризированной автоматической системы сбора и обработки данных температура отходящих продуктов горения в дымоходе установки замеряется один раз в секунду.

По окончании эксперимента по полученным данным на основе предварительно проведенной калибровки прибора автоматически рассчитывается мак-

Таблица 1. Свойства образцов древесины

Вид древесины	Влажность $W, \%$	Объемная масса $\rho, \text{кг}/\text{м}^3$	Масса, кг
Дуб	4,3	591,1	0,133
Береза	5,5	573,3	0,129
Береза	14,0	657,7	0,148
Сосна	6,0	462,2	0,104
Ель	6,4	395,5	0,089
Ель	14,0	466,7	0,105

симальная скорость тепловыделения за весь период испытания и общее тепловыделение за определенный интервал времени.

В качестве основных характеристик тепловыделения используются следующие показатели:

- время начала тепловыделения t_{ign} с момента воздействия внешней тепловой энергии (соответствует времени задержки воспламенения);
- максимальная (пиковая) скорость тепловыделения СТВ_{макс};
- время достижения пикового значения скорости тепловыделения $\tau_{\text{макс}}$;
- общее тепловыделение за определенное время ОТВ_т;
- эффективная теплота сгорания $Q_{\text{зф}} = \eta Q_{\text{н}}$, которая дает возможность оценить коэффициент полноты сгорания η .

Расчет скорости выделения тепла СТВ (kBt/m^2) осуществляется по формуле

$$\text{СТВ} = K_h(V_0 - V_1)/S, \quad (1)$$

где K_h — термический коэффициент установки, kBt/mB ;

$V_0 - V_1$ — термоЭДС дифференциальной многоспайной термопары, мВ;

S — площадь испытываемого образца, m^2 .

Результаты исследования

На рис. 2 и 3 в качестве показательных представлены кривые изменения скорости тепловыделения при горении образцов древесины дуба и сосны с влажностью 4,3 и 6,0 % соответственно при воздействии внешнего радиационного теплового потока плотностью $20 \text{ kBt}/\text{m}^2$ во время огневых испытаний. Как видно из рис. 2 и 3, изменение скорости тепловыделения в ходе эксперимента характеризуется ярко выраженной двухстадийностью процесса, связанной с двумя видами горения древесины — газо- и гетерофазным.

На двухстадийность процесса тепловыделения при горении древесины влияет термическая толщина исследуемого образца.

Понятие “термически толстый (тонкий) материал” возникло из общего представления о взаимосвязи условий переноса тепла внутрь образца с его размерами. Если в рассматриваемых условиях внешнего теплового воздействия глубина прогрева δ меньше физической толщины материала L (т. е. $\delta/L < 1$), то этот образец проявляет себя как термически толстый. Промежуточное поведение материала между термически толстым и термически тонким наблюдается при соотношении $\delta/L \approx 1$.

В случае термически толстого образца появляется вторая стадия, обусловленная образованием и наращиванием обуглероженного слоя в процессе

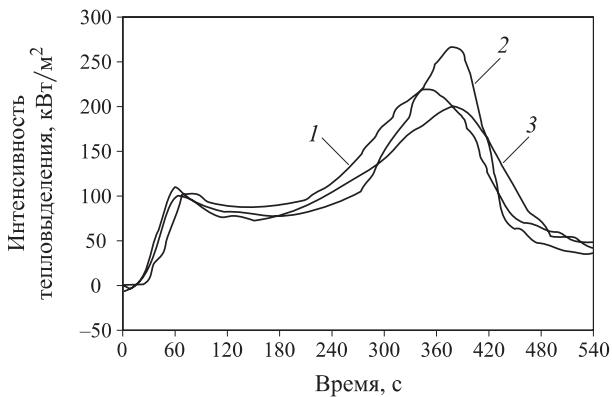


Рис. 2. Зависимость скорости тепловыделения при горении древесины дуба (3 образца) с влажностью 4,3 % при воздействии теплового потока плотностью $20 \text{ kBt}/\text{m}^2$

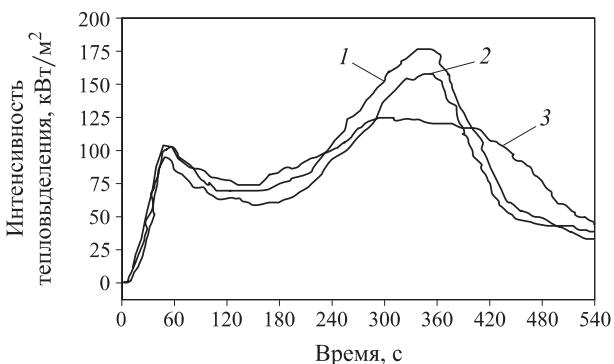


Рис. 3. Зависимость скорости тепловыделения при горении древесины сосны (3 образца) с влажностью 6,0 % при воздействии теплового потока плотностью $20 \text{ kBt}/\text{m}^2$

разложения древесины с последующим выгоранием коксового слоя.

Рассмотрим подробно происходящий процесс тепловыделения при горении образцов древесины.

Начальный этап нагрева древесины связан с выделением физически сорбированной влаги, сушкой древесины и подготовкой ее к воспламенению. Продолжительность стадии до воспламенения древесины незначительна и существенно зависит от теплофизических свойств древесины и плотности внешнего теплового потока. Для термически толстых образцов решением одномерного уравнения теплопроводности получена следующая функциональная зависимость времени задержки воспламенения t_{ign} (с):

$$t_{ign} = \pi k \rho c (T_{ign} - T_0)^2 / (4 q^2), \quad (2)$$

где k — теплопроводность, $\text{Bt}/(\text{m}\cdot\text{K})$;

ρ — плотность, kg/m^3 ;

c — удельная теплоемкость материала, $\text{Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$;

T_{ign} и T_0 — температура поверхности в момент воспламенения и окружающей среды соответственно, K ;

q — плотность радиационного теплового потока, kBt/m^2 .

Установлено, что при $q = 20 \text{ кВт}/\text{м}^2$ время задержки воспламенения образцов лиственной породы (дуба) составляет 20–25 с, сосны — 15 с.

При дальнейшем нагреве происходит воспламенение древесины и наблюдается значительное возрастание скорости тепловыделения, связанное с активным термоокислительным разложением основных составляющих древесного комплекса, в частности высокомолекулярного полисахарида — целлюлозы. Термоокислительное разложение целлюлозы имеет ярко выраженный экзотермический характер и сопровождается как выделением летучих горючих продуктов разложения, так и образованием карбонизированного остатка. Максимальное значение 1-го пика СТВ соответствует началу образования кокса на поверхности древесины. Дальнейшая интенсификация пламенного горения древесного материала приводит к постепенному наращиванию толщины обуглероженного слоя и замедлению выхода горючих продуктов термодеструкции. Уменьшение скорости поступления горючих продуктов разложения древесины в газовую фазу в определенный момент приводит к переходу из режима газофазного пламенного горения древесины в режим гетерогенного горения. Этот период соответствует появлению 2-го пика на кривых тепловыделения. Он характеризуется окислительными процессами коксового слоя, обладающего высокими энергетическими показателями.

Следует отметить, что максимальная скорость тепловыделения, регистрируемая для 2-го пика, у образцов древесины сосны меньше, чем у образцов древесины дуба. Так, указанная характеристика при горении древесины дуба составляет $228 \text{ кВт}/\text{м}^2$ за 362 с, сосны — $159 \text{ кВт}/\text{м}^2$ почти за такое же время.

Аналогичный характер изменения скорости тепловыделения в зависимости от плотности внешнего теплового потока во время испытаний наблюдается при горении образцов древесины березы и ели (рис. 4 и 5).

Результаты определения характеристик тепловыделения при горении различных образцов древесины представлены в табл. 2.

Для всех исследуемых лиственных пород древесины значения максимальной скорости тепловыделения, а также времени ее достижения на 1-й и 2-й стадиях заметно выше по сравнению с хвойными разновидностями. Более высокая энергетика при горении лиственных пород древесины (береза, дуб) по сравнению с хвойными (сосна, ель) связана с их химическим составом и объемной массой.

Известно, что химический состав древесины хвойных и лиственных пород значительно различается, в частности по содержанию основных компонентов материала — целлюлозы, лигнина, экстрактивных веществ и гемицеллюлоз. Объемная масса

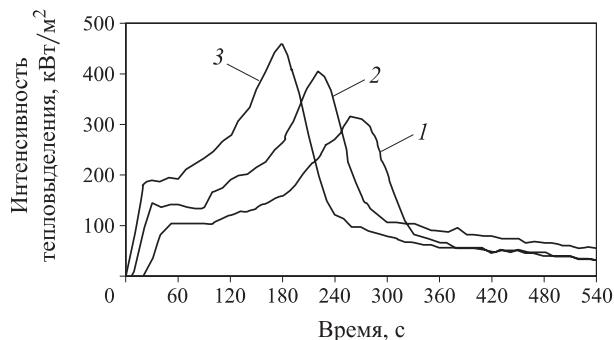


Рис. 4. Изменение тепловыделения при горении образцов березы в зависимости от плотности внешнего теплового потока: 1 — $20 \text{ кВт}/\text{м}^2$; 2 — $35 \text{ кВт}/\text{м}^2$; 3 — $52 \text{ кВт}/\text{м}^2$

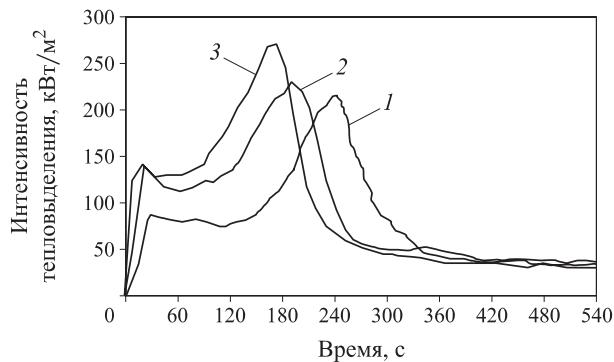


Рис. 5. Изменение тепловыделения при горении образцов ели в зависимости от плотности внешнего теплового потока: 1 — $20 \text{ кВт}/\text{м}^2$; 2 — $35 \text{ кВт}/\text{м}^2$; 3 — $52 \text{ кВт}/\text{м}^2$

(каждая плотность ρ) древесины определяется особенностями строения древесной ткани, межклеточного пространства и структуры материала и является более высокой для древесины лиственных пород. Различие в значениях $\text{СТВ}_{2\max}$ может быть обусловлено величиной коксового остатка, пористостью кокса, скоростью его окисления и экзотермического процесса окисления коксовых остатков.

При увеличении плотности внешнего радиационного теплового потока в ходе испытаний древесины лиственных и хвойных пород максимальная скорость тепловыделения повышается, а время достижения максимума скорости тепловыделения снижается (см. рис. 4 и 5).

По результатам измерений общего тепловыделения за все время эксперимента (9 мин) и на основе данных о потере массы за этот период рассчитаны значения эффективной теплоты сгорания образцов древесины с влажностью 4–6 %:

$$Q_{\phi} = \text{OTB}_{\tau} / (m_0 - m_{\text{кон}}), \quad (3)$$

где OTB_{τ} — общее тепловыделение за время испытания (9 мин);

m_0 — начальная масса исследуемого образца, г; $m_{\text{кон}}$ — масса исследуемого образца по окончании эксперимента, г.

Таблица 2. Влияние породы и влажности древесины W , плотности теплового потока q на характеристики тепловыделения

Образец	ρ , кг/м ³	W , %	q , кВт/м ²	τ_b , с	$\tau_{1\max}$, с	$CTB_{1\max}$, кВт/м ²	$\tau_{2\max}$, с	$CTB_{2\max}$, кВт/м ²	$OTB_{2\min}$, кВт·мин/м ²
Ель	395,5	6,4	20	10	40	94,8	279	202,1	142,5
			35	< 10	23	131,2	195	233,2	218,2
			52	< 10	< 20	141,8	159	256,1	270,2
Сосна	462,2	6,0	20	10	43	98,2	354	159,3	128,8
			35	< 10	20	129,0	276	203,5	180,6
			52	< 10	< 20	137	247	247,3	202,0
Береза	573,3	5,5	20	23,3	63	104,9	284	321,9	149,3
			35	10	53	157,7	215	400,5	279,9
			52	< 10	33	190,8	184	459,6	377,2
Дуб	591	4,3	20	20	67	100,9	362	227,7	127,1
			35	10	33	131,3	281	245,1	198,0
			52	< 10	27	161,6	246	312,0	261,6
Ель	466,7	14	35	< 10		80	335	180	60,5
			35	< 10	35	95	375	160	75,2
			35	< 10		100	375	155	72,2
Береза	657,7	14	35	20		115	300	345	90,3
			35	20	45	120	310	300	103,9
			35	20		122	310	285	94,2

П р и м е ч а н и е . $\tau_{1\max}$ — время достижения максимальной скорости тепловыделения первого пика; $CTB_{1\max}$ — максимальная скорость тепловыделения первого пика; $\tau_{2\max}$ — время достижения максимальной скорости тепловыделения второго пика; $CTB_{2\max}$ — максимальная скорость тепловыделения второго пика; $OTB_{2\min}$ — общее тепловыделение за 2 мин.

Таблица 3. Эффективная теплота сгорания и коэффициент полноты сгорания при горении образцов древесины разных видов ($q = 35$ кВт/м²)

Разновидность древесины	Q_{ϕ} , кДж/г	η
Сосна	11,56	0,59
Ель	12,90	0,68
Береза	13,44	0,74
Дуб	10,51	0,56

Сравнение со значениями низшей теплоты полного сгорания дает возможность определить коэффициент полноты сгорания древесины при соответствующей плотности внешнего теплового потока (табл. 3).

Большим значением эффективной теплоты сгорания обладает древесина хвойных пород по сравнению с древесиной дуба.

Древесина березы занимает особое положение по этим показателям, что также согласуется с другими характеристиками (скоростью тепловыделения на основных стадиях горения). Можно полагать, что сказанное связано с особенностями структуры и химическим составом березы.

На рис. 6 показано влияние влажности древесины W на динамику тепловыделения в ходе ее горения при внешнем тепловом потоке 35 кВт/м².

При повышении влажности древесины независимо от ее разновидности наблюдается снижение скорости тепловыделения в ходе испытаний; наряду с этим время достижения максимального значения скорости тепловыделения увеличивается (см. рис. 6).

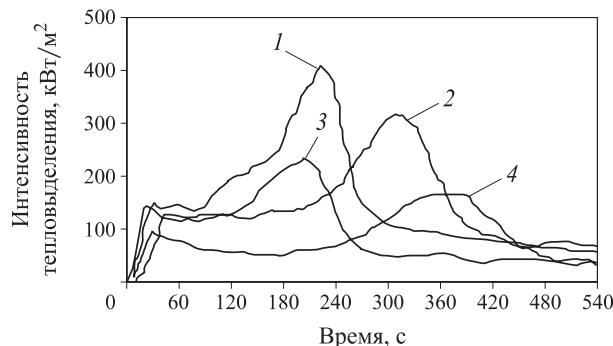


Рис. 6. Влияние влажности древесины W на тепловыделение при горении образцов разных пород ($q = 35$ кВт/м²): 1 — береза, $W = 7\%$; 2 — ель, $W = 7\%$; 3 — береза, $W = 14\%$; 4 — ель, $W = 14\%$

Существенное влияние влажности древесины на динамику тепловыделения при ее горении указывает на то, что на первых этапах нагрева происходит лишь частичное улетучивание влаги из пор древесины.

Выводы

- Исследуемые характеристики тепловыделения при горении древесины в значительной степени зависят от ее породы, разновидности и влажности, а также от плотности подводимого внешнего теплового потока q .

- Установлено, что у лиственных пород (березы и дуба) максимальная скорость тепловыделения и общее тепловыделение выше, чем у хвойных пород древесины.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бородкин А. Н., Макаров В. М., Макарушкин И. М., Кожевников А. И. Установка для экспериментального определения интенсивности тепловыделения // Системные исследования проблем пожарной безопасности : сб. науч. тр. ВНИИПО МВД СССР. — М. : ВНИИПО МВД СССР, 1990. — С. 134–139.
2. Östman B. A-L., Svenson J. G., Blomqvist J. Comparison of Three Test Methods for Measuring Rate of Heat Release // Fire and Materials. — 1985. — Vol. 9, No. 4. — P. 176–184.
3. Tran H. C., White R. H. Burning Rate of Solid Wood Measured in Heat Release Calorimeter // Fire and Materials. — 1992. — Vol. 16, No. 4 — P. 197–206.
4. Sundstrom B. European Classification of Building Products // Interflam 99 : Proceedings of the 8th International Conference. — Edinburgh, Scotland, 1999. — Vol. 2. — P. 769–780.
5. Babrauskas V., Grayson S. J. Heat Release in Fires. — London–N. Y. : Elsevier Applied Science, 2003. — 635 p.

*Материал поступил в редакцию 13 мая 2011 г.
Электронные адреса авторов: rosa07@migmail.ru;
serkov@antip.ru; sivenkov01@mail.ru.*



Издательство «ПОЖНАУКА»

ПРЕДЛАГАЕТ ВАШЕМУ ВНИМАНИЮ

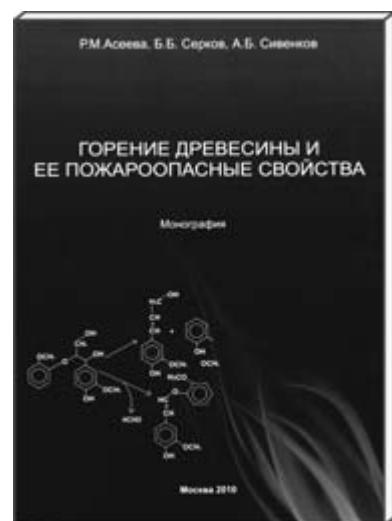
Р. М. АСЕЕВА, Б. Б. СЕРКОВ, А. Б. СИВЕНКОВ

ГОРЕНИЕ ДРЕВЕСИНЫ И ЕЕ ПОЖАРООПАСНЫЕ СВОЙСТВА

Монография. — М.: Академия ГПС МЧС России, 2010. — 262 с.

Предлагаемая вниманию читателей монография посвящена одному из актуальных направлений развития науки о древесине — ее поведению при пожаре, способам снижения горючести и защиты от воздействия огня. Впервые с единых позиций рассматриваются многие процессы, связанные с возникновением горения, распространением пламени по поверхности древесины, опасными последствиями пожара, огнезащитой древесины. Проведен анализ пожароопасных свойств только самой древесины, а не производных материалов типа древесностружечных и древесноволокнистых плит. При этом акцент сделан на установление зависимости указанных характеристик от виды и породы древесины.

Монография может быть полезна научным работникам, преподавателям, аспирантам и слушателям пожарно-технических и лесотехнических образовательных учреждений, изучающим пожарную опасность древесины и древесных материалов, а также практическим сотрудникам и работникам Государственной противопожарной службы МЧС России.



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



С. Г. Алексеев
канд. хим. наук, доцент,
начальник отдела Уральского
института ГПС МЧС РФ,
г. Екатеринбург, Россия



Н. М. Барбин
д-р техн. наук, канд. хим. наук,
заведующий кафедрой Ураль-
ского института ГПС МЧС РФ,
г. Екатеринбург, Россия



К. С. Алексеев
студент Уральского федераль-
ного университета им. Первого
Президента России Б. Н. Ельцина,
г. Екатеринбург, Россия



С. А. Орлов
канд. техн. наук, доцент, замести-
тель начальника Уральского инсти-
тута ГПС МЧС РФ по научной
работе, г. Екатеринбург, Россия

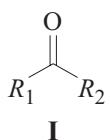
УДК 614.84:543.632.523

СВЯЗЬ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ С ХИМИЧЕСКИМ СТРОЕНИЕМ. III. КЕТОНЫ (часть 2)*

Показано применение правила “углеродной цепи” для прогнозирования физико-химических и пожароопасных свойств на примере кетонов нелинейного строения.

Ключевые слова: кетон; правило; свойство; пожарная опасность; показатель.

Ранее нами было продемонстрировано действие правила “углеродной цепи” при прогнозе пожароопасных свойств на примере алифатических спиртов [2]. В настоящей работе продолжено изучение области действия этого правила в ряду алифатических кетонов (**I**). Исходные данные для исследования взяты из электронных баз данных и справочной литературы [3–14].



Найдено, что данное правило может быть использовано при прогнозировании некоторых физико-химических и пожароопасных свойств алифатических кетонов. Продемонстрируем действие правила “углеродной цепи” на конкретных примерах.

Начнем с простого примера. Возьмем изопропилметилкетон (3-метилбутанон-2) (**II**). Основная углеводородная цепь (ОУЦ) в кетоне **II** выделена прямоугольником, а “вводимая” метильная группа в ОУЦ — овалом. Ранее было установлено, что добавление одного метильного радикала увеличивает длину ОУЦ на 0,5 [2]. Таким образом, длина условной углеводородной цепи (УУЦ) для изопропил-

метилкетона (**II**) будет равна 4,5. Это означает, что количественные характеристики пожароопасных свойств соединения **II** можно определить как среднеарифметическое между значениями показателей пожарной опасности метилэтилкетона (**III**) и метилпропилкетона (**IV**) (табл. 1). Принимая во внимание существование “эффекта кетогруппы” [2], в качестве образца сравнения вместо соединения **IV** можно также использовать и диэтилкетон (**V**) (рис. 1).

Анализ табл. 1 показывает, что с помощью правила “углеродной цепи” можно также прогнозировать такие физико-химические свойства, как плотность D , показатель преломления (рефракции) n_D , температуру кипения $t_{\text{кип}}$, теплоту парообразования $H_{\text{пар}}$ и критическую температуру $t_{\text{кр}}$. При оценке таких параметров, как критическое давление $p_{\text{кр}}$, высшая теплота сгорания $H_{\text{топ}}$ и концентрационные пределы воспламенения (КПВ) для изопропилметилкетона (**II**), можно ориентироваться на данные объекта сравнения с наибольшей ОУЦ** (в нашем случае это соединения **IV** и **V**, см. табл. 1). Аналогичная ситуация наблюдается и для изопропилэтилкетона, изобутилметилкетона, изопропилпропилкетона, 5-метилгептанона-3, 6-метилгептанона-3, бутилизопропилкетона, 6-метилгептанона-2, изобутилпропилкетона, изоамилметилкетона.

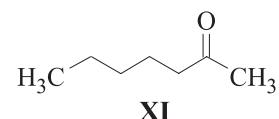
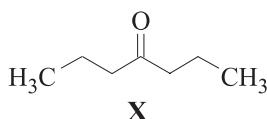
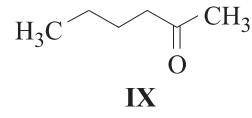
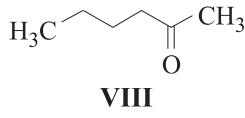
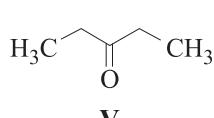
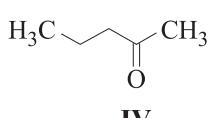
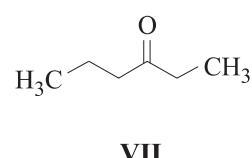
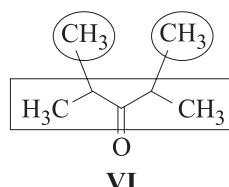
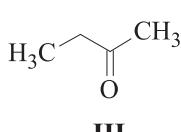
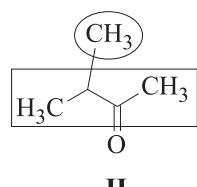
* Продолжение. Начало см. в журнале “Пожаровзрывобезопасность”, № 5 за 2010 г. и № 6 за 2011 г. [1].

** Для линейных кетонов значения ОУЦ и УУЦ совпадают.

Таблица 1. Физико-химические и пожароопасные свойства кетонов II–V

Показатель	Кетон				
	II		III	IV	V
	Литер. данные	Прогноз			
Температура кипения, °C	94,5	90; 92; 91; 90	80	100; 103	101
Плотность, кг/m ³	805	807; 810; 807	805,4	809	814,8
Показатель преломления (рефракции)	1,3887	1,385; 1,386; 1,383	1,3814	1,3895	1,3905
Критическая температура, °C	280	276; 275	263	288	288
Критическое давление, атм	36,8	36,2; 36,9; 39,9	43,3	36,24	36,9
Теплота парообразования, кДж/моль	36,8	37,0; 37,1; 35,6	35,6	38,4	38,5
Высшая теплота сгорания, МДж/моль	3,04	3,10; 3,09	2,44	3,10	3,10
Температура вспышки (з. т.), °C	–1; –3; 1; 0	–1; 3; 2	–9	7	7
Температура самовоспламенения, °C	475	483; 471	516	449; 505	425
НКПВ, % (об.)	1,2; 1,5; 1,6	1,5; 1,6	1,4; 1,8	1,5	1,6
ВКПВ, % (об.)	8,2; 9	8,2; 7,7	11,4	8,2	7,7

При мечание. Для интервалов температур приведены их среднеарифметические значения. Зачеркнутое значение температуры самовоспламенения не учитывалось при прогнозировании.

**Рис. 1.** Схема применения правила “углеродной цепи” для изопропилмethylкетона (II)

Согласно правилу “углеродной цепи” введение двух метильных заместителей удлиняет ОУЦ кетона на единицу ($0,5 + 0,5$). Следовательно, УУЦ в этом случае определяется как ОУЦ + 1. Так, в дизопропилкетоне (VI) УУЦ = 6, поэтому в качестве образцов сравнения выбираем бутилмethylкетон (VII) и пропилэтилкетон (VIII) с ОУЦ = УУЦ = 6. В качестве объектов сравнения с наибольшей ОУЦ = 7 взяты гептанон-2 (IX), гептанон-3 (X) и гептанон-1 (XI) (рис. 2). Как видно из табл. 2, правило “углеродной цепи” удовлетворительно работает и в этом случае. Так же, как и в случае изопропилмethylкетона (II), вышеизложенные физико-химические параметры могут быть предсказаны исходя из физических свойств образцов сравнения с наибольшей ОУЦ.

Установлено, что вышеизложенные закономерности “строение – свойство” удовлетворительно работают и для других кетонов, в линейную углеродную

Рис. 2. Схема применения правила “углеродной цепи” для дизопропилкетона (VI)

цепь которых введены два метильных заместителя (*трет*-бутилмethylкетон, 4,4-диметилпентан-2-он, ди(*втор*-бутил)кетон, диизобутилкетон и диизоамилкетон).

Введение трех метильных групп в ОУЦ молекулы кетона, как показывает пример с 2,6,8- trimетил nonan-4-оном (УУЦ = 10,5) (XII), в целом подтверждает работоспособность установленных закономерностей (табл. 3). В данном случае в качестве объектов сравнения выступают деканон-2 (XIII), деканон-3 (XIV), деканон-4 (XV), ундеканон-2 (XVI) и ундеканон-6 (XVII) (рис. 3).

Ди(*трет*-бутил)кетон (XVIII) можно представить как диэтилкетон (V), в который введены четы-

Таблица 2. Физико-химические и пожароопасные свойства кетонов VI–XI

Показатель	Кетон						
	VI		VII	VIII	IX	X	XI
	Литер. данные	Прогноз					
Температура кипения, °C	124	123; 127; 125	123	127	147; 148	144; 145	150
Плотность, кг/м ³	806	812; 815; 822; 815	821,6; 815	812	812; 818	811,6; 817	811; 820
Показатель преломления (рефракции)	1,3999	1,398; 1,400; 1,399	1,3984	1,40061	1,4067	1,4076	1,40935
Критическая температура, °C	—	314; 313	—	314	319	—	338
Критическое давление, атм	—	29,6; 29,0; 29,4	—	32,44	29,6	—	29,02
Теплота парообразования, кДж/моль	43,4	42,5; 43,0; 38,0	42,45	43,04	36,61	38,1	46,10
Высшая теплота сгорания, МДж/моль	4,38	4,44; 4,41	—	3,69	—	4,44	—
Температура вспышки (з. т.), °C	15	14; 23; 25; 24	14; 23	23; 25	38; 41	49	41; 49
Температура самовоспламенения, °C	478	423; 424	—	423; 424	390	430	393; 532
НКПВ, % (об.)	1	1,0; 1,1; 1,4	1	1,2; 1,3	1,4	—	1; 1,11
ВКПВ, % (об.)	7	7,9; 8,8	8	8; 8,1	8,8	—	5,5; 7,9
П р и м е ч а н и е . Для интервалов температур приведены их среднеарифметические значения. Зачеркнутые значения НКПВ и температуры самовоспламенения не учитывались при прогнозировании.							

Таблица 3. Физико-химические и пожароопасные свойства кетонов XII–XVII

Показатель	Кетон						
	XII		XIII	XIV	XV	XVI	XVII
	Литер. данные	Прогноз					
Температура кипения, °C	218	216–222; 219	211	203; 205	206	231; 232	228
Плотность, кг/м ³	800	822–840; 826	837,9	819; 830	839	840,5; 825	831
Показатель преломления (рефракции)	—	1,425; 1,426; 1,426	1,425	—	1,424	1,426	1,4268
Теплота парообразования, кДж/моль	—	44,7; 45,5; 45,0	—	44,5	44,5	44,8	46,3
Температура вспышки (з. т.), °C	91 (о. т.)	87; 88; 85	86	62	71	88; 89	88
П р и м е ч а н и е . Для интервалов температур приведены их среднеарифметические значения. Зачеркнутые значения температуры вспышки не учитывались при прогнозировании.							

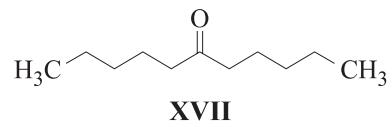
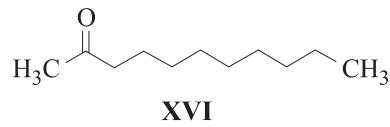
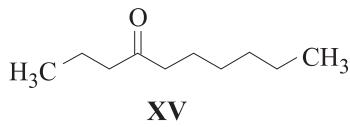
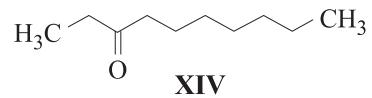
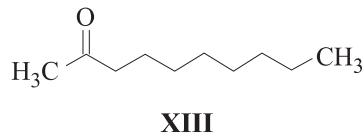
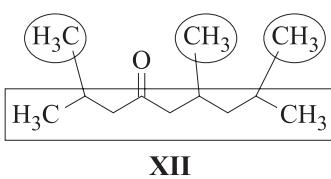


Рис. 3. Схема применения правила “углеродной цепи” для 2,6,8-триметилнонан-4-она (УУЦ = 10,5) (XII)

ре метильных заместителя. Согласно правилу “углеродной цепи” УУЦ кетона **XVIII** будет равна 7, а объектами сравнения могут служить соединения **IX–XI**, гексилметилкетон (**XIX**), амилэтилкетон (**XX**) и бутилпропилкетон (**XXI**) (рис. 4). Как видно

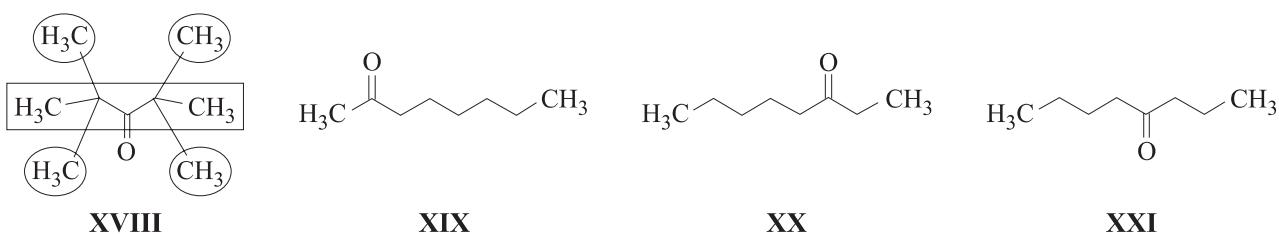
из табл. 4, действие правила “углеродной цепи” проявляется и в этом случае.

Рассмотрим более сложный случай. Возьмем 2-метил-7-этилундеканон-4 (**XXII**), в котором присутствуют два разных заместителя — метил и этил.

Таблица 4. Физико-химические и пожароопасные свойства кетонов XVIII–XXI

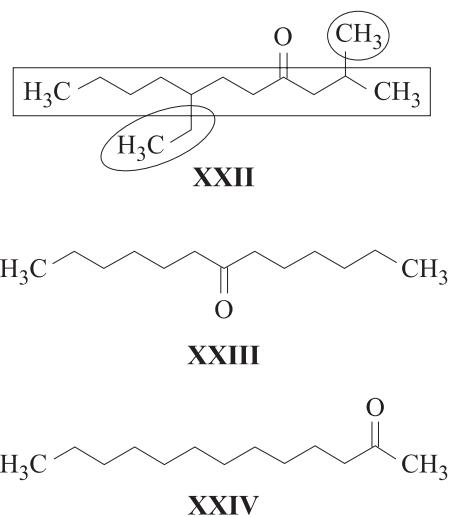
Показатель	Кетон				
	XVIII		XIX	XX	XXI
	Литер. данные	Прогноз			
Температура кипения, °C	151; 153; 163	144; 145; 147; 148; 150; 147	173	168	167
Плотность, кг/m ³	824	811–820; 818	817,1; 819	850,2; 822	819
Показатель преломления (рефракции)	1,419	1,407–1,409; 1,409	1,4153	1,4133	1,4173
Критическая температура, °C	–	339	–	–	–
Критическое давление, атм	–	29,4	–	–	–
Теплота парообразования, кДж/моль	–	39,5	39,3	40,6	40,0
Высшая теплота сгорания, МДж/моль	–	5,07; 4,41	5,07	–	–
Температура вспышки (з. т.), °C	33; 34; 49	38–49; 37; 39	56	46; 51	53
Температура самовоспламенения, °C	430	390–430	–	330	–
НКПВ, % (об.)	0,81	1	1	–	–
ВКПВ, % (об.)	7,1	6,1	6,1	–	–

П р и м е ч а н и е . Для интервалов температур приведены их среднеарифметические значения.

**Рис. 4.** Схема применения правила “углеродной цепи” для ди(*трет*-бутил)кетона (УУЦ = 7) (XVIII)**Таблица 5.** Физико-химические и пожароопасные свойства кетонов XXII–XXIV

Показатель	Кетон			
	XXII		XXIII	XXIV
	Лит. данные	Прогноз		
Температура кипения, °C	252,5 263–264; 263	263–264; 263	264	263
Плотность, кг/m ³	836,2	822–825; 827	825	825; 822
Показатель преломления (рефракции)	1,4370	1,432; 1,435	–	1,4318
Критическая температура, °C	417	–	–	–
Критическое давление, атм	16	–	–	–
Теплота парообразования, кДж/моль	48,98	48–49; 48,9	49,8	48,2
Температура вспышки (з. т.), °C	82	80–83	80	83; 107

П р и м е ч а н и е . Зачеркнутое значение температуры вспышки не учитывалось при прогнозировании.

**Рис. 5.** Схема применения правила “углеродной цепи” для 2-метил-7-этилундекан-4-она (XXII) (УУЦ = 13)

Введение этильного радикала в молекулу, как было установлено ранее [2], увеличивает ее ОУЦ на 1,5. Таким образом, УУЦ соединения XXII с учетом вклада метильного радикала будет составлять 13 (11 + 1,5 + 0,5). В качестве объектов сравнения вы-

Таблица 6. Уравнения для прогнозирования физико-химических свойств кетонов

Показатель	Уравнение	Номер уравнения	r^2	Область применения
$t_{\text{кип}}, ^\circ\text{C}$	$t_{\text{кип}} = -0,4194N_C^2 + 27,683N_C - 25,84$	3	0,9985	$3 \leq N_C \leq 19$
$t_{\text{кр}}, ^\circ\text{C}$	$t_{\text{кр}} = 25,75N_C + 158,83$	4	0,9995	$3 \leq N_C \leq 7$
$p_{\text{кр}}, \text{атм}$	$p_{\text{кр}} = 0,363N_C^3 - 5,182N_C^2 + 18,802N_C + 27,178$	5	0,9943	$3 \leq N_C \leq 7$
$D, \text{кг}/\text{м}^3$	$D = 0,0199N_C^3 - 0,8449N_C^2 + 12,223N_C + 767,4$	6	0,9161	$3 \leq N_C \leq 19$
n_D	$n_D = 6 \cdot 10^{-5}N_C^3 - 0,0021N_C^2 + 0,0028N_C + 1,2944$	7	0,9937	$3 \leq N_C \leq 13$
$H_{\text{пар}}, \text{кДж}/\text{моль}$	$H_{\text{пар}} = 1,5683N_C + 28,554$	8	0,9698	$3 \leq N_C \leq 19$
$H_{\text{топ}}, \text{МДж}/\text{моль}$	$H_{\text{топ}} = 0,6567N_C - 0,1892$	9	0,9994	$3 \leq N_C \leq 8$

браны дигексилкетон (**XXIII**) и метилундекилкетон (**XXIV**) (рис. 5). Как видно из табл. 5, правило “углеродной цепи” удовлетворительно работает и в этом случае.

В предыдущей работе авторов [1] были найдены зависимости температуры вспышки $t_{\text{всп}}$ ($^\circ\text{C}$) от длины углеродной цепи N_C *:

$$t_{\text{всп}} = 13,73N_C - 58,7; \quad (1)$$

$$t_{\text{всп}} = 901,75 - \frac{53513}{N_C + 55}. \quad (2)$$

На основе установленных закономерностей “строение – свойство” выведены формулы (3) – (9) для прогнозирования температур кипения, критиче-

* Отметим, что уравнения (1) и (2) действуют только до додеканонов.

ских температур и давлений, плотности, показателя преломления, теплоты парообразования и высшей теплоты сгорания алифатических кетонов (табл. 6). Прогнозируемые значения температуры вспышки и физико-химических показателей алифатических кетонов, найденные по уравнениям (1) – (9), выделены курсивом в графе “Прогноз” табл. 1–6.

Выводы

Продемонстрировано действие правила “углеродной цепи” при прогнозировании пожароопасных и физико-химических свойств алифатических кетонов. Найдено, что концентрационные пределы воспламенения, высшая теплота сгорания и критическое давление кетонов могут быть определены по физико-химическим параметрам образцов сравнения с наибольшей УУЦ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев С. Г., Барбин Н. М., Алексеев К. С., Орлов С. А. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. II. Кетоны (часть 1) // Пожаровзрывобезопасность. — 2011. — Т. 20, № 6. — С. 8–15.
2. Алексеев С. Г., Барбин Н. М., Алексеев К. С., Орлов С. А. Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. I. Алканолы // Пожаровзрывобезопасность. — 2010. — Т. 19, № 5. — С. 23–30.
3. Сайт компании Sigma-Aldrich. URL : <http://www.sigmaaldrich.com/catalog> (дата обращения: 15.02.2010–15.03.2010).
4. База данных университета Акрон (Akron). URL : <http://ull.chemistry.uakron.edu/erd> (дата обращения: 15.02.2010–15.03.2010).
5. Корольченко А. Я., Корольченко Д. А. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения : справочник, в 2 ч. — М. : Пожнаука, 2004. — Ч. 1. — 713 с. ; Ч. 2. — 774 с.
6. Земский Г. Т. Физико-химические и огнеопасные свойства химических органических соединений: справочник. — М. : ВНИИПО, 2009. — Кн. 1. — 502 с.
7. Carson P., Mumford C. Hazard Chemical Handbook. — Oxford : Butterworth-Heinemann, 2002. — 619 p.
8. Marcus Y. The Properties of Solvents. Wiley Series in Solution Chemistry. — N. Y. : J. Wiley, 1998. — Vol. 4. — 239 p.
9. Patnaik P. A Comprehensive Guide to the Hazard Properties of Chemical Substances. — N. Y. : J. Wiley, 2007. — 1060 p.
10. Smallwood I. M. Handbook of Organic Solvent Properties. — London : Arnold, 1996. — P. 171, 175.

11. Cheremisinoff N. P. Handbook of Hazardous Chemical Properties. — Boston : Butterworth-Heinemann, 2000. — 433 p.
12. Flick E. W. Industrial Solvents Handbook. — Westwood : Noyes Data Corporation, 1998. — P. 625–652.
13. Smallwood I. M. Solvent Recovery Handbook. — Oxford : Blackwell Publishing Company, 2002. — 431 p.
14. NFPA 325. Guide to Fire Hazard Properties of Flammable Liquids, Gases and Volatile Solids. — Quincy : NFPA, 1994. — 100 p.

*Материал поступил в редакцию 6 апреля 2011 г.
Электронные адреса авторов: Alexshome@mail.ru;
NMBarin@yandex.ru; Orlov.sergei@mail.ru.*

**ООО «ИЗДАТЕЛЬСТВО «ПОЖНАУКА»
ПРЕДЛАГАЕТ ВАШЕМУ ВНИМАНИЮ**

Учебное пособие

В. Н. Черкасов, В. И. Зыков

**Обеспечение
пожарной безопасности
электроустановок**



Рецензенты: Федеральное государственное учреждение Всероссийский ордена «Знак почета» научно-исследовательский институт противопожарной обороны МЧС России, кафедры физики и пожарной безопасности технологических процессов Академии ГПС МЧС России.
В учебном пособии рассмотрены общая схема электроснабжения потребителей, классификация электроустановок и причины пожаров от них, а также вероятностная оценка пожароопасных отказов в электротехнических изделиях и пожарная безопасность комплектующих элементов. Приведены нормативные обоснования и инженерные решения по обеспечению пожарной безопасности электроустановок и защите зданий и сооружений от молний и статического электричества. Учебное пособие предназначено для практических работников в области систем безопасности и может быть использовано для подготовки и повышения квалификации специалистов соответствующего профиля.



Web-сайт: firepress.ru

Эл. почта: mail@firepress.ru, izdat_pozhnauka@mail.ru

Тел.: (495) 228-09-03, тел./факс: (495) 737-65-74



А. М. Зайцев

канд. техн. наук, доцент Воронежского государственного архитектурно-строительного университета, г. Воронеж, Россия



Д. С. Черных

аспирант Воронежского государственного архитектурно-строительного университета, г. Воронеж, Россия

УДК 624.042.5

О СИСТЕМНОЙ ПОГРЕШНОСТИ АППРОКСИМАЦИИ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА СТАНДАРТНОГО ПОЖАРА МАТЕМАТИЧЕСКИМИ ФОРМУЛАМИ

Проанализированы результаты исследований по аппроксимации температурного режима стандартного пожара математическими формулами. Показано, что применяемый способ учета начальной температуры стандартного пожара за счет прибавления к известным математическим формулам начальной температуры пожара при длительных пожарах может привести к значительным погрешностям при расчетах прогрева и фактических пределов огнестойкости строительных конструкций. Предложен простой способ устранения отмеченного недостатка.

Ключевые слова: температурный режим; стандартный пожар; начальная температура пожара.

Экспериментальные исследования по определению фактических пределов огнестойкости строительных конструкций, которые проводятся в различных странах, требуют больших материальных затрат и времени. К тому же во многих случаях диапазон изменения температуры в огневых камерах имеет значительные расхождения. Поэтому с целью унификации проведения экспериментальных исследований и возможности сравнения экспериментальных результатов, полученных в лабораториях различных стран, Международной организацией по стандартизации (ИСО) в 1961 г. было принято решение, в соответствии с которым температура в огневых камерах должна изменяться со временем по определенной зависимости *время – температура* и задаваться в табличной форме. Эти значения температур были приняты как наиболее жесткие из возможных в помещениях жилых и общественных зданий. Впоследствии эту зависимость стали называть стандартной кривой.

Внедрение этого стандарта дает возможность: снизить стоимость экспериментальных исследований по определению фактических пределов огнестойкости строительных конструкций, проводимых в различных странах; унифицировать результаты экспериментальных исследований; сравнивать результаты, полученные в различных лабораториях; анализировать влияние различных параметров и факторов на фактический предел огнестойкости исследуемых конструкций с дальнейшим их обобщением; разра-

батывать расчетные методики по определению прогрева и фактических пределов огнестойкости, что позволяет значительно сократить материальные и временные расходы.

В дальнейшем при разработке расчетных методов определения прогрева строительных конструкций при пожаре зависимость температуры стандартного пожара от времени стали представлять в виде математических формул. В [1–3] дан подробный анализ математических формул, характеризующих температурный режим стандартного пожара, которые в основном представляют собой логарифмические, экспоненциальные, степенные и другие функциональные зависимости температуры пожара от времени. Наибольшее применение в теоретических и практических исследованиях нашли следующие формулы:

$$t = 345 \lg(8\tau + 1); \quad (1)$$

$$t = t_0 + 345 \lg(8\tau + 1), \quad (2)$$

где t — температура пожара, °C;

t_0 — температура окружающей среды (начальная температура пожара), °C;

τ — продолжительность пожара, мин.

Уравнение (1), построенное в логарифмической анаморфозе, представляет собой прямую линию и удобно для применения на практике и при аналитических исследованиях. Недостатком формулы является то, что она не учитывает начальную температу-

ру пожара, поэтому впоследствии вместо формулы (1) стали использовать формулу (2), которая лишена этого недостатка.

В [4, 5] предложены формулы экспоненциального типа:

$$t(\tau) = t_0 + 1325 - 430e^{-0.2\tau} - 270e^{1.7\tau} - 625e^{-19\tau}. \quad (3)$$

Используются также формулы в виде степенной зависимости типа [6]:

$$t = t_0 + 504\tau^{0.148}. \quad (4)$$

Отметим, что в приведенных формулах несложно произвести переход от часов к минутам или секундам.

Согласно ГОСТ 30247.1 температура стандартного пожара определяется в зависимости от времени следующим уравнением:

$$t = 345 \lg(0.133\tau + 1) + t_0. \quad (5)$$

Максимальная погрешность аппроксимации стандартной кривой приведенными формулами имеет место до $\tau = 5$ мин и не превышает 3,5 %.

Время в формулах задается в часах или минутах, однако в любой из них можно перейти от часов к минутам или секундам путем несложного преобразования. Следует отметить также, что от вида функции в значительной степени зависит возможность получения приемлемых для практического использования аналитических расчетных формул, например для исследования прогрева строительных конструкций расчетным путем. Представленные формулы могут оказаться полезными при аппроксимации температурных режимов реальных пожаров функциональными зависимостями.

Вместе с тем следует обратить внимание на системную ошибку, характерную для большинства приведенных формул, где начальная температура пожара задается в виде слагаемого t_0 . Очевидно, что такая аппроксимация табличных значений температуры стандартного пожара вносит погрешность, которая составляет 20 °C. Но эта погрешность отклонения от табличных значений температуры стандартного пожара со временем (за счет прибавки 20 °C) уменьшается и при 2-часовом огневом воздействии не превышает 1 % от абсолютных значений температур стандартного пожара. Поэтому для значений, приведенных в СНиП 21-01-97*, этой погрешностью можно пренебречь, поскольку требуемые минимальные значения пределов огнестойкости строительных конструкций не превышают 120 мин. При этом допускаемые значения отклонения температуры в огневой камере при времени до 45 мин составляют ± 5 %.

Однако, учитывая, что в последнее время большое внимание уделяется крупным пожарам на про-

Таблица 1. Температура стандартного пожара по ГОСТ 30247.1

Время, мин	$t, ^\circ\text{C}$	Время, мин	$t, ^\circ\text{C}$	Время, мин	$t, ^\circ\text{C}$
5	576	50	915	120	1049
10	679	60	945	150	1082
15	738	70	970	180	1110
20	781	80	990	210	1133
25	810	90	1000	240	1153
30	841	100	1025	270	1170
40	885	110	1035	300	1186

мышленных предприятиях, в складских помещениях, высотных административных и общественных зданиях, тоннелях, в которых пожары могут продолжаться длительное время, требуемый предел огнестойкости должен быть значительно увеличен. В связи с этим большое внимание необходимо уделять также огнесохранным строительным конструкциям. Этой цели соответствует введенный с 1 мая 2009 г. “Технический регламент о требованиях пожарной безопасности” [7], в соответствии с которым требуемый предел огнестойкости строительных конструкций повышается до 6 ч.

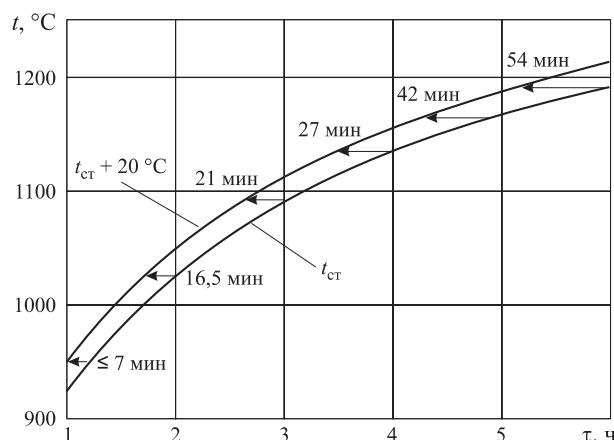
В связи с этим необходим учет начальной температуры стандартного пожара математическими формулами путем простого прибавления к расчетной формуле начального значения температуры пожара в виде слагаемого t_0 . Так, в ГОСТ 30247.1 температура стандартного пожара изменяется в зависимости от времени в соответствии с табл. 1.

Из табл. 1 видно, что все значения температур, регламентированные стандартом ИСО, завышены на 20 °C. Поэтому такой подход к учету начальной температуры пожара можно считать, во-первых, некорректным как с дидактической, так и с практической точки зрения. Во-вторых, если обратим внимание на динамику роста температуры стандартного пожара до и после 2-часового огневого воздействия, то увидим значительные расхождения градиентов температуры. При огневом воздействии более 2 ч значительно снижается темп роста температуры стандартного пожара. Так, при его длительности 2–3 ч он составляет 61 °C; 3–4 ч — 43 °C; 4–5 ч — 33 °C; 5–6 ч — 27 °C.

Из рисунка также видно, что с течением времени погрешность аппроксимации температурного режима стандартного пожара математическими формулами путем простого прибавления к расчетной формуле начального значения температуры пожара в виде слагаемого t_0 может привести к значительной погрешности по времени достижения температуры стандартного пожара. Например, при огневом воздействии в течение 1 ч это расхождение

Таблица 2. Значения параметров ζ , ζ_1 и ζ_2 для различных начальных температур пожара

Параметр	Начальная температура t_0 , °C								
	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40
$\zeta \cdot 10^4$	16,14	17,35	18,36	19,63	20,93	22,43	24,07	25,8	27,4
ζ_1	0,77	0,82	0,87	0,94	1	1,07	1,14	1,22	1,31
ζ_2	0,77	0,82	0,87	0,94	1	1,07	1,14	1,22	1,31



Графики температурного режима $t_{\text{ст}}$ стандартного пожара по формуле (1) и погрешности (по времени) аппроксимации по формуле (2) $t_{\text{ст}} + 20^{\circ}\text{C}$

составляет не более 7 мин; 2 ч — 16,5 мин; 3 ч — 21 мин; 4 ч — 27 мин; 5 ч — 42 мин; 6 ч — 54 мин.

Из этого следует, что время достижения стандартной температуры пожара уменьшается на соответствующую величину, которая, например, при 6-часовом воздействии составит 54 мин, т. е. время, на которое уменьшится длительность прогрева исследуемой конструкции.

Вследствие этого будет допущена погрешность, а именно завышено расчетное значение фактического предела огнестойкости исследуемой конструкции. Эта погрешность для различных конструкций будет разной. Но можно ожидать, что такая, наперед задаваемая погрешность в математической формуле температурного режима стандартного пожара может привести к занижению фактических пределов огнестойкости строительных конструкций, определяемых расчетным путем, а следовательно,

и к уменьшению их огнесохранных свойств после реальных пожаров.

Для устранения отмеченных недостатков нами предложены два уравнения для аппроксимации температурного режима стандартного пожара [8] в виде экспоненциальной и логарифмической зависимостей. При этом наиболее приемлемым для решения задач прогрева строительных конструкций при пожарах оказалось следующее уравнение [8, 9]:

$$t = 925 + 150 \ln(\tau + \zeta), \quad (6)$$

где ζ — параметр, введенный для задания начальной температуры пожара при $\tau = 0$ и имеющий размерность времени.

Уравнение (6) использовалось нами при решении аналитическими методами задач прогрева железобетонных и огнезащищенных стальных конструкций при температурных режимах, пропорциональных стандартному пожару.

Следовательно, формулу (1) можно также представить в виде уравнения (1а):

$$t = 345 \lg(8\tau + \zeta_1). \quad (1\text{a})$$

Формулу (5) можно представить в виде уравнения (5а):

$$t = 345 \lg(0,133\tau + \zeta_2). \quad (5\text{a})$$

Параметр ζ для формул (6), (1а) и (5а) рассчитан и представлен в табл. 2. При этом следует подчеркнуть, что параметр ζ введен только для задания температуры пожара в начальный период. Спустя 0,1 ч он уже не оказывает никакого влияния на расчетное значение температуры пожара, поэтому этим параметром можно пренебречь при расчетах температуры прогрева строительных конструкций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Куомо С. Огнестойкость конструкций и ее определение. Система защиты от огня : пер. с итал. — Рим, 1968. — Ч. 1–3. — 186 с.
2. Зайцев А. М., Крикунов Г. Н., Яковлев А. И. Расчет огнестойкости элементов строительных конструкций. — Воронеж : Изд-во ВГУ, 1982. — 116 с.
3. Мозговой Н. В., Зайцев А. М. Анализ функциональных зависимостей температурной кривой стандартного пожара / Научный вестник ВГАСУ. Строительство и архитектура. — 2008. — № 3 (11). — С. 196–199.
4. Ковач К., Мейсарош Д. Расчет огнестойкости конструкций зданий : пер. с венгер. — Будапешт, 1970. — 205 с.

5. Lie T. T., Stanzak W. W. Fire resistance of protected steel columns // Eng. J. USA. — 1973. — Vol. 10, No. 3. — P. 82–94.
6. Грушевский Б. В., Яковлев А. И., Кривошеин И. Н. Пожарная профилактика в строительстве. — М. : ВИПТШ МВД СССР, 1985. — 452 с.
7. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности: Федер. закон от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ : принят Гос. Думой 4 июля 2008 г. : одобр. Советом Федерации 11 июля 2008 г. — Новосибирск : Сиб. унив. изд-во, 2008. — 144 с.
8. Зайцев А. М., Крикунов Г. Н., Яковлев А. И. Метод расчета огнестойкости теплоизолированных металлических конструкций // Изв. вузов. Строительство и архитектура. — 1980. — № 2. — С. 20–24.
9. Зайцев А. М., Заряев А. В. Прогрев железобетонных конструкций при пожаре // Изв. вузов. Строительство и архитектура. — 1996. — № 6. — С. 9–12.

Материал поступил в редакцию 22 марта 2011 г.

Электронный адрес авторов: vgasupb@mail.ru.

ООО «ИЗДАТЕЛЬСТВО «ПОЖНАУКА»

ПРЕДЛАГАЕТ ВАШЕМУ ВНИМАНИЮ

Технические средства систем охранной и пожарной сигнализации

А.Н. ЧЛЕНОВ, Т.А. БУЦЫНСКАЯ, И.Г. ДРОВНИКОВА. — Ч. 1. — 316 с.
В.П. БАБУРОВ, В.В. БАБУРИН, В.И. ФОМИН. — Ч. 2. — 300 с.

Вучебно-справочном пособии рассмотрены общие вопросы построения систем охранной сигнализации, приведены сведения об основных видах технических средств, составляющих систему: извещателях, приемно-контрольных приборах, системах передачи извещений, оповещателях и блоках питания. Рассмотрены современное состояние рынка средств охранной сигнализации и тенденции его развития.

Большое внимание удалено вопросам проектирования систем охранной сигнализации, требованиям по их монтажу и технической эксплуатации. Рассмотрены особенности применения средств сигнализации в пожаро- и взрывоопасных зонах.

Книга предназначена для практических работников в области систем безопасности и может быть использована как учебное пособие для подготовки и повышения квалификации специалистов соответствующего профиля.

WEB-САЙТ:
www.firepress.ru

ЭЛ. ПОЧТА:
[mail@firepress.ru;](mailto:mail@firepress.ru)
izdat_pozhnauka@mail.ru

Телефон:
(495) 228-09-03

Тел./факс:
(495) 737-65-74



А. В. Некрасов
канд. техн. наук, доцент, доцент
Воронежского института ГПС
МЧС России, г. Воронеж, Россия



А. В. Калач
канд. хим. наук, доцент, заместитель начальника по научной работе Воронежского института ГПС МЧС России, г. Воронеж, Россия



А. А. Исаев
начальник учебного отдела
Воронежского института ГПС
МЧС России, г. Воронеж, Россия

УДК 614.84

Посвящается дню образования
Воронежского института ГПС МЧС России

ПОВЫШЕНИЕ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ЗЕРНОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ ЗА СЧЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГРАВИТАЦИОННЫХ СЕПАРАТОРОВ

Рассмотрено перспективное направление развития технологии сепарирования, способствующее повышению пожарной безопасности зерноперерабатывающих предприятий. Отмечены основные достоинства гравитационных сепараторов; приведены результаты их испытаний.

Ключевые слова: пожарная безопасность; зерноперерабатывающие предприятия; гравитационные сепараторы; пыль; фракционирование.

Пыль является основным и существенным компонентом загрязнения воздуха на зерноперерабатывающих предприятиях, и по ее концентрации определяют категории помещений по взрывопожарной и пожарной опасности. Кроме того, присутствие пыли в зерне значительно снижает сроки его хранения и влияет на качество мучных продуктов. Поэтому вопросы повышения эффективности удаления пыли из зерна являются весьма актуальными как с позиции технологического процесса, так и с точки зрения обеспечения пожарной безопасности зерноперерабатывающих предприятий.

Одним из способов снижения пожарной опасности предприятий данного профиля является уменьшение транспортируемого количества аэровзвеси пыли до значений менее нижнего концентрационного предела распространения пламени.

Решение этой проблемы возможно, во-первых, путем удаления с максимальной эффективностью пыли из зерна на начальной стадии переработки в зерноочистительных отделениях элеваторов и мукоомольных заводов; во-вторых, за счет устранения условий образования зерновой пыли в процессе переработки зерна.

В решении данных задач основная роль отводится основному технологическому оборудованию. Однако длительный путь развития и применения решетных сепараторов и триеров традиционных схем привел к тому, что дальнейшая их модернизация не затрагивает принципов их работы, а следовательно, не обеспечивает существенного снижения содержания пыли в продукте и воздухе. Кроме того, интенсификация процессов размерной классификации достигается, как правило, увеличением напряженности силового поля путем повышения частоты или амплитуды колебаний, что обуславливает усиление травмирования зерна и еще более способствует образованию пыли.

Одним из перспективных направлений повышения пожарной безопасности зерноперерабатывающих предприятий является разделение сыпучих смесей в гравитационном силовом поле за счет накопленной продуктом потенциальной энергии. Эту энергию, которая не используется в традиционных машинах, зерно неизбежно приобретает в результате подъема на высоту загрузочного устройства и на предыдущих стадиях его переработки. Применение гравитационных сепараторов в силу отсутствия в них

электродвигателей, движущихся деталей и узлов позволяет не только снизить удельные показатели материала- и энергоемкости продукции, но и принципиально изменить подход к разработке нового оборудования. Гравитационные сепараторы благодаря упрощению конструкции приобретают новые качества и возможности. Они позволяют совмещать различные технологические операции, быстро перенастраиваются в зависимости от особенностей исходного и конечного продуктов. Одни и те же конструкции, разрабатываемые по блочно-модульному принципу, могут использоваться на предприятиях с различной производительностью. В силу отсутствия знакопеременных динамических нагрузок в гравитационных сепараторах существенно снижается травмирование зерна и образование пыли.

Данными качествами обладают разработанные на основе модели идеального сепаратора профессора Н. Е. Авдеева [1] аппараты двух типов: с разделяющей поверхностью, образованной клиновидными просеивающими отверстиями, расширяющимися в направлении движения продукта, и с разделяющей поверхностью, образованной щелевыми просеивающими отверстиями.

Отличительная особенность этих сепараторов заключается в использовании разделяющих поверхностей, предотвращающих забивание просеивающих отверстий, позволяющих изменять ориентацию рабочих органов в пространстве и оперативно регулировать состав сходовой и проходовой фракций без остановки технологического процесса.

Изменение ориентации разделяющей поверхности в пространстве не только усиливает положительные качества сепаратора, но и наделяет его новыми свойствами, а именно позволяет проводить разделение смесей по комплексу геометрических признаков различия, в том числе и по длине частиц. Данное обстоятельство дает возможность использовать гравитационные сепараторы при реализации фракционной переработки зерна.

Сущность идеи фракционной переработки заключается в разделении исходного потока зерна на фракции, отличающиеся физико-механическими свойствами и составом примесей, с целью их дальнейшей раздельной очистки, гидротермической обработки и размола. При развитой схеме поэтапного фракционирования количество выделенных фракций зерна может превысить число потоков, подвергаемых в дальнейшем раздельной обработке.

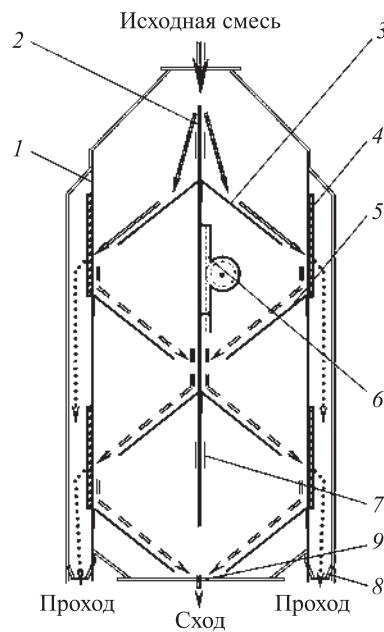
Характерной особенностью технологических схем зерноперерабатывающих предприятий является межэтажное транспортирование сырья и продуктов его переработки. В связи с этим открываются перспективы кардинального изменения подхода к процессам сепарирования — совмещения их с

процессами транспортирования. Отсутствие в гравитационном сепараторе привода, движущихся деталей и узлов и низкая металлоемкость предопределяют возможность разрабатывать на базе обоснованных решений разделяющей поверхности компактные самотечные сепараторы-транспортеры различной конфигурации, определяемой условиями конкретного предприятия.

Перспективность данного направления налицо: в ходе передачи продукта с одного межэтажного перекрытия на другое “попутно” происходит разделение смеси на фракции различного регулируемого гранулометрического состава и выделение из нее пыли за счет нетрадиционных источников энергии. Кроме того, возможность получения в классификаторах с обоснованными рабочими органами на одних и тех же поверхностях фракций регулируемой крупности открывает перспективу организации на их базе гибких автоматизированных процессов.

Отмеченными достоинствами обладает многофракционный гравитационный вертикальный сепаратор — транспортер сыпучих материалов [2], представленный на рисунке.

Сепаратор-транспортер работает следующим образом. Исходная смесь поступает в вертикальный транспортирующий канал 1, где она верхней частью подвижного несущего элемента 2 распределяется на два потока и направляющими полками 3 подает-



Сепаратор-транспортер вертикальный СТВ-2: 1 — вертикальный транспортирующий канал; 2 — подвижный несущий элемент в виде пластины; 3 — направляющие полки; 4 — разделяющие элементы с клиновидными просеивающими отверстиями; 5 — пересыпные полки; 6 — реечное регулирующее устройство; 7 — направляющие; 8, 9 — приемники соответственно проходовой и сходовой фракций

Гранулометрический состав объекта исследований

Размер отверстий сит, мм	3×20	2,5×20	2,2×20	2×20	1,7×20	1,5×20	1,2×20	Дно*
Массовая доля остатка на ситах, %	6,0	53,6	24,0	9,3	1,7	3,6	0,7	1,1

* Под термином “дно” понимается проход через все лабораторные сита.

ся на разделяющие элементы 4 с клиновидными просеивающими отверстиями, установленные вертикально в стенках питающего канала. Мелкие частицы смеси, ударяясь о разделяющие элементы 4, выделяются через клиновидные просеивающие отверстия и поступают в приемники проходовой фракции 8. Крупные и мелкие частицы, не успевшие выделиться на первом разделяющем элементе, поступают на расположенные ниже пересыпные (5) и направляющие (3) полки транспортирующего канала, где процесс повторяется. Частицы сходовых компонентов выводятся из сепаратора-транспортера приемником 9.

Гранулометрический состав проходовой фракции определяется шириной клиновидных просеивающих отверстий в месте непосредственного удара частиц продукта о разделяющие элементы. Место удара частиц о каждый разделяющий элемент определяется положением направляющих полок 3 относительно разделяющих элементов 4 и может синхронно изменяться посредством реечного регулирующего устройства 6, перемещающего несущий элемент 2 в направляющих 7. В результате обеспечивается оперативное регулирование крупности проходовой фракции без замены рабочих органов.

Таким образом, в предлагаемом устройстве происходит совмещение операций транспортирования продукта с выделением из него частиц проходовых компонентов регулируемой крупности, вследствие

чего с большей эффективностью используется потенциальная энергия гравитационного силового поля.

Экспериментальный образец сепаратора-транспортера был подвергнут производственным испытаниям на мельнице АВМ-24 производительностью 1,5 т/ч. В качестве объекта исследований использовалась пшеница сорта “Воронежская-6”. Результаты анализа гранулометрического состава проб зерна представлены в таблице.

Производственные испытания показали, что гравитационный сепаратор с вертикально установленными разделяющими элементами, образованными клиновидными просеивающими отверстиями, при подаче 7,5 т/(ч·м) извлекает из пшеницы мелкую примесь с эффективностью 71 %, в том числе сорную — 94 %, а мелкую фракцию — с эффективностью 42 % с одновременным выделением 98 % мелкой примеси. Данные показатели соответствуют высоте сепаратора-транспортера — 3,3–3,9 м. За период испытаний транспортер зарекомендовал себя как надежное устройство при удельной подаче до 15 т/(ч·м), выделяя при этом “попутно” с достаточно высокой эффективностью целевой компонент.

Таким образом, разработка гравитационных сепараторов является перспективным направлением развития техники и технологий сепарирования как с позиции повышения пожарной безопасности зерноперерабатывающих предприятий, так и с точки зрения совершенствования технологических процессов переработки зерна.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авдеев Н. Е., Некрасов А. В., Резуев С. Б., Чернухин Ю. В. Перспективные типы центробежных и гравитационных сепараторов. Теория и анализ конструкций. — Воронеж : Воронежский государственный университет, 2005. — 637 с.
2. Пат. 2163846 РФ. Загрузочно-распределительное устройство для сыпучих материалов / Н. Е. Авдеев, Ю. В. Чернухин, А. В. Некрасов.

Материал поступил в редакцию 6 апреля 2011 г.
Электронные адреса авторов: nekrasov_a_v@mail.ru;
a_kalach@mail.ru; vigps@mail.ru.



А. В. Мишуев
д-р техн. наук, профессор Московского государственного строительного университета, г. Москва, Россия



Б. В. Казеннов
д-р техн. наук, профессор Московского государственного строительного университета, г. Москва, Россия



Д. З. Хуснутдинов
канд. техн. наук, старший научный сотрудник Московского государственного строительного университета, г. Москва, Россия

УДК 614.838

ВЗРЫВНАЯ ОПАСНОСТЬ ДЛЯ АЭС, ЗАПРОЕКТИРОВАННЫХ И ПОСТРОЕННЫХ В РОССИИ БЕЗ УЧЕТА ВЗРЫВНОЙ ОПАСНОСТИ

Рассмотрена взрывная опасность для атомных электростанций и способы ее уменьшения в случае несоответствия их современным нормативным документам.

Ключевые слова: атомная электростанция; взрыв; взрывоустойчивость; риск; потенциальные источники; нормативные документы.

Актуальность вопроса

В связи с авариями на АЭС в Японии вновь стали актуальными вопросы взрывобезопасности АЭС, запроектированных и построенных в России до введения документа ПиНАЭ-5,6 (Правила и нормы в атомной энергетике), который устанавливает, что сооружения 1-й категории АЭС должны рассчитываться на воздействие избыточного давления в проходящей ударной волне 30 кПа с длительностью положительной фазы до 1 с.

Значительное количество атомных электростанций 1-го поколения было спроектировано и построено задолго до Чернобыльской аварии и появления современных, ужесточающих требования к АЭС по взрывобезопасности нормативных документов, устанавливающих взрывные нагрузки, на которые должны рассчитываться сооружения 1-й категории АЭС. Таков ряд энергоблоков Нововоронежской атомной электростанции (НВАЭС), Кольской атомной электростанции (КоЛАЭС), Балаковской атомной электростанции (БалАЭС) и т. д. Доведение этих энергоблоков до соответствия современным (ужесточенным) требованиям к АЭС по взрывобезопасности оказывается экономически и технически нереальным. Однако результаты обследования специальными организациями показали, что состояние технологического оборудования и строительных конструкций этих энергоблоков позволяет продолжать их эксплуатацию и что было бы нецелесообразно закрывать

эти энергоблоки только из-за их несоответствия современным (ужесточенным) требованиям по взрывоустойчивости. Такой вывод обуславливается тем, что *реальные взрывные опасности существенно ниже нормативных*. Кроме того, взрывоустойчивость строительных конструкций энергоблоков к реальным взрывным нагрузкам вполне обеспечена либо может быть обеспечена конструктивными способами, позволяющими снизить взрывные нагрузки до необходимого уровня.

Как показывают обследования реальных источников взрывной опасности и создаваемых ими реальных нагрузок, во многих случаях действительный, реалистичный уровень взрывной нагрузки значительно ниже установленных нормативными документами, если не учитывать возможность террористических актов [1].

Ниже приводятся данные, полученные, например, при обследовании площадки НВАЭС и 5-километровой зоны вокруг нее.

Потенциальные источники взрывной опасности на площадке НВАЭС

В табл. 1 представлен перечень потенциальных источников взрывной опасности на площадке НВАЭС [2].

На площадке НВАЭС у каждого энергоблока имеются трансформаторы и автотрансформаторы к каждому из четырех генераторов со значительным со-

Таблица 1. Перечень потенциальных источников взрывной опасности на площадке НВАЭС

Взрывоопасный объект	Расстояние от 3-го энергоблока, м
Площадка ресиверов водорода и азота 1-го и 2-го энергоблоков 10 ресиверов водорода по 20 m^3 , $\Delta p = 10 \text{ кгс}/\text{см}^2$ 4 ресивера азота по 20 m^3 , $\Delta p = 10 \text{ кгс}/\text{см}^2$	224,5
Площадка ресиверов водорода и азота 5-го энергоблока 3 ресивера водорода по 20 m^3 , $\Delta p = 10 \text{ кгс}/\text{см}^2$ 3 ресивера азота по 20 m^3 , $\Delta p = 10 \text{ кгс}/\text{см}^2$	907
Маслохозяйство общестанционное Турбинное масло: 6 баков по 75 m^3 (65 т) 1 бак по 50 m^3 (45 т) 2 бака по 30 m^3 (25 т) Трансформаторное масло: 3 бака по 75 m^3 (65 т) 2 бака по 50 m^3 (45 т) Дизельное топливо для РДЭС: 2 бака по 50 m^3 Аварийный бак (подземный) для слива топлива: 1 бак на 100 m^3	527
Центральный склад лакокрасочных материалов Баллоны ацетиленовые: до 50 л, $\Delta p = 100 \text{ кгс}/\text{см}^2$ Масла: до 50 бочек по 200 л Гидразин: до 40 бочек по 220 кг	519
Резервные дизель-электростанции (РДЭС) <i>Существующая РДЭС</i> Дизельное топливо: 3 бака по 40 m^3 (подземные) Запас чистого масла: 30 m^3 Грязное масло: 30 m^3	80
Новая РДЭС Дизельное топливо: 1 бак на 50 m^3 (подземный) Запас чистого масла: 10 m^3 Грязное масло: 10 m^3 Расходное масло: 1 бак на 10 m^3	62,5

длжанием масла. Однако, вследствие того что они оборудованы системой автоматического пожаротушения и снабжены аварийными емкостями для слива масла, эти объекты не вошли в список источников взрывной опасности. Опыт эксплуатации таких

трансформаторов не только на АЭС, но и на гидравлических и тепловых электростанциях свидетельствует о взрывобезопасности современных трансформаторов с масляным охлаждением.

К потенциальным источникам взрывной опасности на площадке НВАЭС относятся ресиверы и баллоны со сжатым газом, горючие жидкости и газы. Возможность взрывов появляется при пожарах и разгерметизации емкостей с горючими жидкостями и разливом их на поверхности грунта.

В 5-километровой зоне обследовались транспортные магистрали, по которым могут перевозиться горючие жидкости и газы, и стационарные объекты [3].

Транспортные магистрали

Река Дон в настоящее время несудоходна, поэтому по ней не перевозятся никакие грузы, в том числе взрывоопасные.

Железнодорожная ветка *северная окраина г. Новоронеж – НВАЭС* использовалась в период строительства АЭС, сейчас не действует.

На участке *ст. Колодезная – г. Новоронеж* перевозится бензин в фирменных бензовозах вместимостью $24,2\text{ m}^3$ до АЗС. По этой же дороге до передвижной газовой АЗС проходят автомобильные газозаправщики с вместимостью цистерны 14 m^3 и давлением пропана 8 атм.

По дну водохранилища на расстоянии 2300 м от НВАЭС проложены 4 магистральных газопровода: две трубы диаметром 329 мм и две трубы — 159 мм. Давление газа в трубах в летнее время 43 атм, в зимнее — 26 атм.

Стационарные объекты

Автозаправочная станция ООО “Воронежнефтепродукт”: расстояние до НВАЭС — 4500 м; построена по типовому проекту; по данным исследований НТЦ “Взрывоустойчивость” МГСУ не является взрывоопасной.

Газовая АЗС: расстояние до НВАЭС — 5000 м; емкости со сжиженным газом вместимостью 6 m^3 , давление газа $8 \text{ кгс}/\text{см}^2$; для НВАЭС взрывной опасности не представляет.

Склад ГСМ ЗАО “Черноземье” в с. Архангельском на правом берегу Дона: расстояние до 3-го энергоблока НВАЭС — 4,4 км; максимальное количество хранящегося расходного запаса — 20 m^3 , дизельного топлива — 30 m^3 ; общее количество резервуаров: 5 по 30 m^3 — для бензина, 5 по 10 m^3 — для дизельного топлива. При полном заполнении всех емкостей на складе и возможном террористическом акте (при выпуске горючего на грунт) склад представляет взрывную опасность.

Возможные взрывные явления на площадке НВАЭС и в 5-километровой зоне

На площадке НВАЭС и в 5-километровой зоне могут происходить аварийные взрывы следующих типов.

Взрывы сосудов, работающих под давлением (СРПД). К таким сосудам относятся: ресиверы сжатого азота, воздуха, водорода, а также баллоны со сжатыми газами. Наиболее вероятной причиной взрыва этих сосудов могут быть пожары на площадке их установки либо в близком соседстве на складах хранения ЛВЖ (дизельного топлива, различных масел, бензина и керосина).

Взрывы СРПД сопровождаются образованием воздушной ударной волны (ВУВ), возникающей вследствие распада газодинамического разрыва. Газодинамический разрыв — это физическое явление, при котором значения параметров газа по обе стороны некоторой преграды, в данном случае стенки ресиверов или баллонов, различаются.

Взрывы СРПД, содержащих сжатые горючие газы: водород, ацетилен, пропан и т. п., представляют двойную опасность — как источники ударной волны и как источники дефлаграционного взрыва после освобождения горючих газов из оболочки. При особенно неблагоприятных условиях может возникнуть и детонационный взрыв.

Взрывы емкостей с ЛВЖ. К таким емкостям относятся резервуары с дизельным топливом, различными маслами и горюче-смазочными материалами (ГСМ). Причиной таких взрывов являются пожары, при которых происходит прогрев содержимого емкостей, его закипание и, как следствие, парообразование, ведущее к повышению давления внутри емкости и разрыву ее оболочки.

Взрыв — явление многостадийное. Сначала при разрыве оболочки возникает ударная волна. Затем после проскаока волны разрежения внутрь емкости происходит резкая интенсификация вскипания и парообразования, ведущая к полному разрушению оболочки: в лучшем случае — к ее раскрою, в худшем — к образованию летящих фрагментов емкости.

Последняя стадия наиболее опасна, так как при этом дополнительно происходит выброс в атмосферу горючего в капельно-жидком виде, которое при воспламенении образует *огневой шар* (не путать с *огненным шаром* дефлаграционного или детонационного взрыва). Капли горючей жидкости сгорают по мере образования на их поверхности горючей смеси. Скорость горения в этом случае определяется скоростью образования горючей смеси на поверхности капель. Как правило, огневой шар расширяет-

ся с относительно небольшой скоростью — 6...7 м/с и поэтому не создает заметной волны сжатия.

Огневой шар является мощным источником теплового излучения. Прогревая соседнюю емкость с горючим содержимым и вызывая его взрыв, он зачастую становится причиной каскадных взрывов.

В иностранной литературе описываемое явление получило название “BLEVE” (Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion).

Взрывы закрытых опорожненных и частично опорожненных емкостей (цистерн) из-под ЛВЖ. При нагревании таких емкостей при пожаре внутри них может происходить самовоспламенение паро-воздушной горючей смеси, приводящее также к разрушению оболочки емкости и образованию ВУВ, а в случае только частично опорожненной емкости — и к образованию огненного шара.

Если люк емкости в момент воспламенения открыт, то происходит внутренний дефлаграционный взрыв при одновременном повышении давления и сбросе его через открытый люк. Величина давления в этом случае зависит от соотношения площади поверхности пламени и площади люка.

Дефлаграционный взрыв газопаровоздушного облака, образовавшегося в окрестности АЭС в результате разлияния ЛВЖ из-за потери герметичности сосуда либо в процессе аварии при переливе горючей жидкости из цистерны в резервуар хранилища. С поверхности разлияния происходит парообразование, а затем при смешении паров горючей жидкости с воздухом образуется взрыво-опасное облако. Если это облако имеет плотность больше, чем воздух, то оно при отсутствии источника воспламенения при больших площадях разлияния может дрейфовать по направлению ветра на расстояние до 1...1,5 км. Это представляет взрывную опасность для АЭС, так как входы вентиляционных каналов не защищены от засасывания взрыво-опасных смесей, которые могут взорваться внутри помещений АЭС, например внутри помещения электротехнических установок, характеризующегося большим выделением тепла.

Ожидаемые параметры взрывных волн, действующих на 3-й энергоблок, при возможных аварийных взрывах на площадке НВАЭС

Здесь не приводятся методики расчета и расчетные зависимости из-за ограниченности объема статьи. Интересующиеся этим могут обратиться к отчету [1]. Сводные данные ожидаемых параметров ВУВ, действующих на 3-й энергоблок НВАЭС, приведены в табл. 2.

Таблица 2. Сводная таблица ожидаемых параметров ВУВ, воздействующих на 3-й энергоблок, при возможных взрывах на площадке НВАЭС

№ п/п	Объект. Тип взрыва	Расстояние до ближайшей стены 3-го энергоблока, м	Избыточное давление в проходящей/отражен- ной волне, кПа	Длительность действия взрывной волны, мс
1	Ресивер азота, $V = 20 \text{ м}^3$, $\Delta p = 10 \text{ атм}$. Взрыв СРПД, ВУВ	224,5	1,32/2,65	29,1
2	Ресивер водорода, $V = 20 \text{ м}^3$, $\Delta p = 10 \text{ атм}$. Взрыв СРПД, ВУВ	224,5	1,70/3,50	35,3
3	Ресивер водорода, $V = 20 \text{ м}^3$, $\Delta p = 10 \text{ атм}$. Дефлаграционный взрыв, 2-я зона	224,5	1,65/3,32	39,7
4	10 ресиверов водорода, $V = 20 \text{ м}^3$, $\Delta p = 10 \text{ атм}$. Дефлаграционный взрыв, 3-я зона, ВУВ	224,5	6,83/14,05	98,0
5	5 ресиверов водорода, $V = 20 \text{ м}^3$, $\Delta p = 10 \text{ атм}$. Дефлаграционный взрыв, 3-я зона, ВУВ	224,5	4,30/8,75	52,4
6	Общестанционное маслохозяйство, бак вмес- тимостью 50 м^3 . Взрыв СРПД	527,0	0,268/0,54	33,0
7	Площадка ацетиленовых баллонов, 10 балло- нов по $V = 55 \text{ м}^3$. Детонационный взрыв, ВУВ	527,0	1,35/2,71	30,4

**Ожидаемые параметры ВУВ,
воздействующих на 3-й энергоблок,
при возможных взрывах в 5-километровой
зоне НВАЭС**

Ожидаемые параметры взрывных волн, воздей-
ствующих на 3-й энергоблок при возможных взрывах
в 5-километровой зоне, приведены в табл. 3.

Выводы

1. Выявлены потенциальные источники взрыв-
ной опасности на площадке НВАЭС и в 5-километ-
ровой зоне.

2. Наиболее вероятной причиной возможных
аварийных взрывов является воздействие пожаров,
а также всасывание взрывоопасных смесей через
вентиляционные каналы в помещения АЭС. Нали-
чие противовзрывных клапанов на входах вентиля-
ционных каналов не предохраняет от всасывания
взрывоопасных смесей, поэтому необходимы уст-
ройства, исключающие это явление.

3. Даны рекомендации по снижению взрывной
опасности от взрывов на площадке размещения 10
ресурсов водорода и 4 ресивера азота. Устройство
железобетонной кассетной стенки для разгора-

Таблица 3. Сводная таблица ожидаемых параметров взрывных волн, воздействующих на 3-й энергоблок, при возможных
взрывах в 5-километровой зоне

№ п/п	Вид аварии. Тип взрыва	Расстояние до ближайшей стены 3-го энерго- блока, м	Избыточное давление в прохо- дящей/отражен- ной волне, кПа	Длительность действия взрывной волны, мс	Расстояние дрейфа газо- воздушной смеси, м
1	Разлив бензина $24,2 \text{ м}^3$ из бензовоза на АЗС. Дефлаграционный наземный взрыв	4500	0,38	—	993
2	Авария газозаправщика, $V = 14 \text{ м}^3$, $\Delta p = 8 \text{ атм}$. Взрыв СРПД	5000	0,026	—	—
3	Авария газозаправщика, $V = 14 \text{ м}^3$, $\Delta p = 8 \text{ атм}$. Дефлаграционный взрыв	5000	0,057	—	209
4	Разлив 20 м^3 бензина на складе ГСМ (с. Архангельское). Дефлаграционный взрыв	4400	0,38	—	993
5	Разлив 150 м^3 бензина на складе ГСМ (с. Архангельское). 3-я зона дефлаграционного взрыва вследствие возможного теракта, ВУВ	4400	3,30/6,69	525	1992
6	Авария на газопроводе с давлением 43 атм. Дефлаграционный взрыв рассеянного облака метановоздушной смеси	2300	2,5	—	190

живания ресиверов друг от друга позволит избежать опасности каскадного взрыва.

4. При выполнении указанных рекомендаций, как показали последующие прочностные расчеты, 3-й и 4-й энергоблоки могут эксплуатироваться при условии периодических обследований состояния

самых энергоблоков и потенциальных источников взрывной опасности.

В работе над статьей принимали участие канд. техн. наук Н. В. Громов и аспирант И. А. Лукьянов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Казеннов В. В. Динамические процессы дефлаграционного горения во взрывоопасных зданиях и помещениях : дис. ... д-ра техн. наук. — М. : МГСУ, 1997.
2. Взрывобезопасность и взрывоустойчивость промышленных объектов и газифицированных зданий при техногенных и террористических взрывах / Мишев А. В., Казеннов В. В., Громов Н. В. // Сборник материалов НПК МГУУ. — М., 2008.
3. Обеспечение взрывобезопасности и взрывоустойчивости промышленных, транспортных, энергетических и гражданских объектов / Мишев А. В., Казеннов В. В., Громов Н. В. // Сборник материалов НПК ВНИИПО МЧС России. — М., 2007.

*Материал поступил в редакцию 13 мая 2011 г.
Электронный адрес авторов: mishuev@mail.ru.*



Издательство «ПОЖНАУКА»

ВНИМАНИЕ! Распространяется БЕСПЛАТНО!

**А. Я. Корольченко, О. Н. Корольченко
СРЕДСТВА ОГНЕ- и БИОЗАЩИТЫ
Изд. 3-е, перераб. и доп. — 2010. — 250 с.**

В третье издание внесены существенные изменения: включена глава, посвященная механизму огнебиозащиты древесины, расширена глава по анализу требований, содержащихся в нормативных документах по средствам огнезащиты, и их применению в практике строительства. Приведена информация ведущих производителей средств, предлагаемых на отечественном рынке для огнезащиты: древесины (пропитки, лаки и краски), несущих металлических конструкций (средства для конструктивной огнезащиты, огнезащитные штукатурки, вслучивающиеся покрытия), воздуховодов, кабелей и кабельных проходок, ковровых покрытий и тканей. Представлены также биозащитные составы для древесины.

Информация о средствах огне- и биозащиты включает данные о рекомендуемых областях их применения, эффективности, технологии нанесения, организациях-производителях.

Издание предназначено для работников проектных организаций, специалистов в области огне- и биозащиты и пожарной безопасности.



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



Д. Г. Пронин
заведующий сектором ЦНИИСК
им. В. А. Кучеренко, г. Москва, Россия



Д. А. Спиридов
ведущий специалист ЦНИИСК
им. В. А. Кучеренко, г. Москва, Россия

УДК 614.841.33

ПРОБЛЕМЫ ЭВАКУАЦИИ ИЗ ТЕХНИЧЕСКИХ ПОМЕЩЕНИЙ, РАСПОЛОЖЕННЫХ НА КРОВЛЕ ЗДАНИЙ

Определены проблемы эвакуации из технических помещений, расположенных на кровле зданий; даны рекомендации по проектированию.

Ключевые слова: эвакуация; технические помещения; кровля.

Современная нормативная база допускает устройство технических помещений, таких как вентиляционные, котельные, помещения холодильных установок, трансформаторные и пр., на кровле зданий и сооружений. Это обусловлено требованиями технологии и экономической целесообразностью, так как эти места наиболее оптимальны для размещения оборудования, в том числе с точки зрения обеспечения взрывобезопасности. Размещение оборудования в специальных (технических) помещениях необходимо для ограничения доступа к нему посторонних лиц и защиты его от климатических воздействий.

Однако существуют определенные сложности по устройству таких помещений на кровле здания с точки зрения пожарной безопасности. Как правило, в данных помещениях не предусматриваются постоянные рабочие места. Доступ в эти помещения осуществляется по технологическим лестницам и в основном обслуживающего персонала с целью ремонта и обслуживания оборудования. При этом возникает вопрос обеспечения безопасной эвакуации этого обслуживающего персонала в случае пожара или других чрезвычайных ситуаций.

В соответствии со ст. 2 Федерального закона № 123-ФЗ [1] "...эвакуационный выход — выход, ведущий на путь эвакуации, непосредственно наружу или в безопасную зону", а "безопасная зона — зона, в которой люди защищены от воздействия опасных факторов пожара или в которой опасные факторы пожара отсутствуют". Отсюда следует, что, оказавшись за пределами данного помещения, а именно на кровле, т. е. снаружи, человек попадает в "без-

опасную зону". Для жилых и общественных зданий и сооружений, зданий управлений и культурно-образовательных зданий и сооружений в СП 4.13130.2009 [2] содержится требование по устройству кровли в местах прохода с пределом огнестойкости не менее REI 30 и классом пожарной опасности K0. (При этом неясно, как быть со светоаэрационными фонарями и фонарями (люками) дымоудаления, предел огнестойкости которых не нормируется [1].) В этом случае во время пожара, находясь даже на защищенном участке кровли, люди оказываются не защищенными от продуктов горения, в том числе токсичных, летальный исход от воздействия которых может наступить при первом же вдохе. При этом кровли могут быть большой протяженности, и выход на лестницу может располагаться не в самом близком месте.

Еще сложнее дело обстоит с производственными и складскими зданиями. Как известно, расположение помещений категорий А и Б предусматривается, как правило, на верхних этажах и у наружных стен, как того требует п. 6.1.15 СП 4.13130.2009 [2], исходя из соображений уменьшения вероятности взрывов и предотвращения обрушения всего здания. Для зданий категорий А и Б могут предусматриваться покрытия в виде легкосбрасываемых конструкций. Следует также учесть и тот факт, что для производственных и складских зданий защита кровли в местах прохода людей не регламентируется. Если взять многоэтажное производственное здание III степени огнестойкости, строительные конструкции покрытия которого имеют предел огнестойкости 15 мин, обрушение кровли может произойти раньше, чем

© Пронин Д. Г., Спиридов Д. А., 2011

люди, производящие работы в этих помещениях, узнают о пожаре.

Следовательно, для обеспечения безопасности людей при эвакуации из технических помещений, расположенных на кровле зданий, в том числе производственных, необходимо предусматривать устройство защищенных участков кровли и ограничение размещения в местах прохода помещений категорий А и Б. Можно также ограничить расстояние до выхода с кровли.

Однако и при выполнении вышеописанных мероприятий все-таки остается одна проблема. В соответствии с Техническим регламентом [1] выход является эвакуационным, если он ведет на эксплуатируемую кровлю или на специально оборудованный участок кровли, с которого есть выход на лестницу 3-го типа, точнее только на лестницу 3-го типа. Возникает вопрос, как устроить лестницу 3-го типа на жилом 25-этажном здании, если оно имеет пристроенные помещения и окна по периметру? Эвакуироваться вниз через горящие этажи по открытой лестнице порой опаснее, чем по обычным лестничным клеткам. Данную проблему можно решить только внесением соответствующих изменений в Технический регламент [1], таких, например, как разрешение на устройство эвакуационных выходов с кровли в лестничные клетки здания.

Выводы

Казалось бы, проблема безопасности людей при их эвакуации из здания является самой приоритетной с точки зрения обеспечения пожарной безопасности, но современная нормативная база не содержит

жит однозначных ответов на некоторые вопросы. На наш взгляд, при отсутствии в нормах четких однозначных решений и до внесения в них соответствующих дополнений при проектировании следует руководствоваться инженерной логикой, ведь ответственность за проект и решения, принимаемые для обеспечения безопасности людей, в первую очередь лежит на проектировщиках.

В связи с этим предлагаются некоторые необходимые технические решения по организации эвакуации людей из технических помещений, размещаемых на кровле:

- несущие конструкции кровли (покрытия), предназначенной для эвакуации, необходимо предусматривать с пределом огнестойкости не менее R(EI) 30 и классом пожарной опасности K0. Проходы должны быть предусмотрены на участках, выполненных из негорючих материалов. Ширина проходов должна быть увеличена вдвое по отношению к нормативной, т. е. составлять не менее 1,4 м;
- необходимо предусматривать вывод в эти помещения сигнала с системы оповещения и управления эвакуации здания;
- места прохода не следует предусматривать над помещениями категорий А и Б;
- расстояние от фонарей и люков дымоудаления до мест прохода должно быть не менее 2 м;
- необходимо предусматривать выходы с кровли здания, в том числе в эвакуационные лестничные клетки;
- расстояние от выхода из помещения на кровле до выхода на лестницу не должно превышать 60 м.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : Федер. закон от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ : принят Гос. Думой 4 июля 2008 г. : одобр. Советом Федерации 11 июля 2008 г. // Собр. законодательства РФ. — 2008. — № 30; Российская газета. — 2008. — № 163.
2. СП 4.13130.2009. Системы противопожарной защиты. Ограничение распространения пожара на объектах защиты. Требования к объемно-планировочным и конструктивным решениям объектов защиты : введ. 1 мая 2009 г. : утв. 25 марта 2009 г. приказом МЧС России № 171. — М. : ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2009.

*Материал поступил в редакцию 13 мая 2011 г.
Электронный адрес авторов: stop-fire@mail.ru.*



Д. В. Седов

канд. техн. наук, преподаватель ФГОУ ВПО
“Восточно-Сибирский институт Министерства
внутренних дел Российской Федерации”,
г. Иркутск, Россия

УДК 614.8

ВЕРОЯТНОСТЬ СПАСЕНИЯ ЛЮДЕЙ КАК ФАКТОР СНИЖЕНИЯ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ПОЖАРНОГО РИСКА В ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЯХ

Сделана попытка уточнения метода расчета индивидуального пожарного риска в общественных зданиях путем учета вероятности спасения людей при пожаре. Рассмотрены подходы к определению вероятности самостоятельного спасения и спасения силами противопожарной службы.

Ключевые слова: индивидуальный пожарный риск; вероятность спасения людей при пожаре.

Введение

В настоящее время Методика [1] определения расчетной величины пожарного риска в общественных зданиях предполагает, что человек, оказавшись в горящем здании, может остаться живым только при условии, во-первых, его эвакуации (своевременного выхода в безопасную зону) и, во-вторых, срабатывания автоматической системы пожаротушения (при ее наличии). Однако данная Методика не учитывает того, что человек может избежать гибели и в результате спасения, осуществляемого либо самостоятельно, самим человеком (по аварийным и запасным выходам, с использованием средств индивидуальной защиты, средств спасания и т. д.), либо силами противопожарной службы, т. е. если человек не смог ни эвакуироваться, ни спастись своими силами, то его могут спасти пожарные. Неучет данных факторов закономерно приводит к завышению уровня пожарной опасности зданий, а также к невозможности еще на стадии проектирования предусмотреть решения, влияющие на величину риска, например такие, как устройство дополнительных аварийных выходов и организация объектовой противопожарной службы. В статье делается попытка развить Методику [1] в этом направлении.

Взаимосвязь индивидуального пожарного риска и вероятности спасения человека при пожаре

Если будет известна вероятность спасения человека при пожаре, то формула для расчета индиви-

дуального пожарного риска R в общественных зданиях может быть представлена в виде:

$$R = Q_{\text{п}} (1 - R_{\text{а.п}}) P_{\text{пр}} (1 - P_{\text{э}}) \times \\ \times (1 - P_{\text{п.з}}) (1 - P_{\text{сп}}), \quad (1)$$

где $Q_{\text{п}}$ — вероятность возникновения пожара в здании в течение года;

$R_{\text{а.п}}$ — вероятность эффективной работы систем автоматического пожаротушения при пожаре;

$P_{\text{пр}}$ — вероятность присутствия людей в здании;

$P_{\text{э}}$ — вероятность эвакуации людей из здания при пожаре;

$P_{\text{п.з}}$ — вероятность эффективной работы системы противопожарной защиты, направленной на обеспечение безопасной эвакуации людей при пожаре;

$P_{\text{сп}}$ — вероятность спасения людей при пожаре.

Величину $P_{\text{сп}}$ можно определить исходя из предпосылок, о которых уже говорилось выше. Спасение при пожаре может осуществляться либо самим человеком, самостоятельно по аварийным путям и выходам (самоспасение), либо силами противопожарной службы. Данные события являются взаимоисключающими, т. е. не могут произойти одновременно, поэтому вероятность спасения человека при пожаре $P_{\text{сп}}$ равна арифметической сумме вероятностей его спасения своими силами $P_{\text{сп1}}$ и силами противопожарной службы $P_{\text{сп2}}$:

$$P_{\text{сп}} = P_{\text{сп1}} + P_{\text{сп2}}. \quad (2)$$

Вероятность самостоятельного спасения человека при пожаре

Вероятность самостоятельного спасения человека при пожаре определяется тремя факторами.

Первый фактор — вероятность того, что человек сможет покинуть горящее здание через все имеющиеся в нем выходы, кроме эвакуационных. Для ее определения можно воспользоваться принципом, изложенным в методе определения уровня обеспечения пожарной безопасности людей [2]. Согласно ему вероятность эвакуации $P_{\text{э}}$ зависит, кроме всего прочего, от величины $P_{\text{д.в.}}$, определяемой в [2] как “вероятность эвакуации по наружным эвакуационным лестницам, переходам в смежные секции здания” (вероятность $P_{\text{д.в.}}$ принимают равной: для жилых зданий — 0,05; для остальных зданий при наличии таких путей — 0,03, при их отсутствии — 0,001). Однако в настоящее время нормативный взгляд на эвакуацию изменился. Согласно [3] движение людей через выходы, ведущие на переходы в смежные секции зданий, уже нельзя рассматривать как эвакуацию, потому что данные переходы не являются эвакуационными выходами, поскольку в них не исключается возможность возникновения пожара. Они относятся к аварийным выходам, поэтому движение людей к ним логичнее было бы рассматривать как самоспасение.

Данная позиция основывается не только на наших умозаключениях, но и нормативно закреплена для производственных зданий [4]. Согласно [4] $P_{\text{д.в.}}$ — это вероятность выхода из здания людей через аварийные или иные выходы (ее допускается принимать равной 0,03 при наличии аварийных или иных выходов и 0,001 — при их отсутствии). Под другими выходами, по всей видимости, можно понимать и оконные проемы. Но случаи, когда при пожаре люди выпрыгивают из окон здания, могут рассматриваться как самоспасение лишь для этажей с 1-го по 3-й. Самоспасение из окон вышележащих этажей является смертельно опасным, и его необходимо относить к случаям гибели на пожаре. Учитывая, что принципы движения людей в производственных и общественных зданиях не имеют между собой отличий, величину $P_{\text{д.в.}}$ можно рассматривать в качестве одного из факторов, определяющих вероятность самостоятельного спасения людей и при пожаре в общественном здании.

Вторым фактором, определяющим вероятность самостоятельного спасения, является то, что человек для спасения может использовать не только аварийные, но и эвакуационные пути и выходы. Может сложиться такая ситуация, когда опасная зона на путях эвакуации опустится до уровня 1,7 м от пола и ниже. В этом случае эвакуация в полном смысле этого слова становится невозможной, ведь такой

путь уже не будет отвечать требованиям, предъявляемым к путям эвакуации. Однако возможность самоспасения по такому пути все же есть: человек, спасаясь, может двигаться из опасной зоны пригнувшись или на четвереньках (ползком перемещаться не рекомендуется, так как над полом может образоваться слой тяжелых отравляющих газообразных продуктов толщиной порядка 0,3 м). Таким образом, если на участке пути эвакуации опасные факторы пожара (ОФП) не приняли критических значений на уровне 0,4 м от пола, то вероятность спасения через них будет выше нуля. Значения данной вероятности можно определить путем моделирования распространения опасных факторов пожара и движения людей по путям эвакуации высотой менее 1,7 м.

Третьим фактором, определяющим вероятность самостоятельного спасения, является использование специальных технических средств (далее — СТС): рукавных, канатно-спускных, прыжковых устройств, веревок и т. п. Данные по вероятности спасения людей с помощью СТС в нормативной и научной литературе нам не встречались.

Учитывая, что человек может спастись только каким-то одним способом, вероятность самостоятельного спасения можно представить в виде:

$$P_{\text{сп1}} = P_{\text{д.в.}} + P_{\text{сп.э}} + P_{\text{сп.СТС}}, \quad (3)$$

где $P_{\text{д.в.}}$ — вероятность выхода из здания людей через аварийные или иные выходы (для жилых зданий — 0,05; для остальных зданий при наличии таких путей — 0,03, при их отсутствии — 0,001); $P_{\text{сп.э}}$ — вероятность выхода людей из здания через эвакуационные выходы, блокированные опасными факторами пожара (блокирование эвакуационного выхода означает, что он не может использоваться в качестве эвакуационного, но может рассматриваться как аварийный); $P_{\text{сп.СТС}}$ — вероятность самостоятельного спасения с помощью специальных технических средств (при их наличии).

Для определения значений $P_{\text{сп.э}}$ и $P_{\text{сп.СТС}}$ необходимо проведение отдельных исследований. Однако и без них можно утверждать, что вероятность $P_{\text{сп1}}$ будет, по крайней мере, не меньше величины $P_{\text{д.в.}}$, значения которой известны.

Вероятность спасения человека силами противопожарной службы

Спасение человека силами противопожарной службы может иметь место в том случае, если человек не смог эвакуироваться или самостоятельно спастись, т. е. остался в здании, выходы из которого блокированы ОФП. Для определения величины $P_{\text{сп2}}$ необходимо ориентироваться на время прибытия

к горящему зданию сил противопожарной службы и время гибели человека. Необходимо также учитывать время, необходимое для проведения боевой разведки, ведь для того чтобы спасти блокированных в здании людей, пожарные должны успеть найти их.

Можно предложить следующий принцип определения $P_{\text{сп2}}$ (по аналогии с определением вероятности эвакуации, изложенным в [1, 5]):

$$P_{\text{сп2}} = \begin{cases} P_{\text{сп2}}^{\max}, & \text{если } 0,8t_{\text{гиб}} \geq t_{\text{приб}} + t_{\text{разв}}; \\ P_{\text{сп2}}^{\max} \frac{0,8t_{\text{гиб}} - t_{\text{приб}}}{t_{\text{разв}}}, & \text{если } t_{\text{приб}} < 0,8t_{\text{гиб}} < t_{\text{приб}} + t_{\text{разв}}; \\ 0, & \text{если } 0,8t_{\text{гиб}} \leq t_{\text{приб}}, \end{cases} \quad (4)$$

где $P_{\text{сп2}}^{\max}$ — максимальное значение вероятности спасения людей силами противопожарной службы (если пожарный вовремя обнаружил в здании человека, блокированного ОФП, то вероятность его спасения равна $P_{\text{сп2}}^{\max}$);

$t_{\text{гиб}}$ — время от начала пожара до момента гибели человека;

$t_{\text{приб}}$ — время от начала пожара до момента прибытия к горящему объекту сил противопожарной службы;

$t_{\text{разв}}$ — время, необходимое для проведения боевой разведки при пожаре (время обнаружения блокированных ОФП людей).

Дробь в выражении (4) умножена на максимальное значение $P_{\text{сп2}}^{\max}$ во избежание неточности, о которой говорится в [5].

Логично считать, что гибель человека произойдет в момент, когда зона с критическими значениями ОФП опустится настолько, что человек попадет в нее, даже если пригнется, т. е. когда опасная зона опустится до уровня 0,4 м от пола (о величине 0,4 м см. выше). Время гибели $t_{\text{гиб}}$ можно определить, если провести моделирование движения человека, который перемещается пригнувшись или ползком. Условия для гибели могут так и не появиться (в этом случае $t_{\text{гиб}} \rightarrow \infty$), но если они неизбежно возникнут,

то спасение блокированного ОФП человека будет зависеть только от возможностей противопожарной службы.

Для определения значения $P_{\text{сп2}}^{\max}$ необходимы натурные испытания (учения), проведение опросов экспертов, обработка статистических данных по успешному спасению людей.

Если вероятность $P_{\text{сп2}}$ по формуле (4) определить не представляется возможным, то ее можно оценить на основе статистических данных:

$$P_{\text{сп2}} = \frac{N_{\text{сп2}}}{N_{\text{сп2}} + N_{\text{гиб}}}, \quad (5)$$

где $N_{\text{сп2}}$ — количество людей, спасенных силами противопожарной службы за период Δt ;

$N_{\text{гиб}}$ — количество людей, погибших на пожарах за период Δt ;

$N_{\text{сп2}} + N_{\text{гиб}}$ — количество людей, выживание которых при пожаре зависит от возможностей противопожарной службы (это те люди, которые не смогли эвакуироваться и самостоятельно спастись, а остались в здании, блокированные ОФП).

Согласно статистике пожаров в России и их последствий, приводимой на официальном сайте МЧС России [6] (см. таблицу), за $\Delta t = 8$ лет погибло $N_{\text{гиб}} = 130\,916$ чел., подразделениями противопожарной службы было спасено $N_{\text{сп2}} = 740\,728$ чел. Тогда по формуле (5) находим, что вероятность спасения людей, блокированных ОФП в здании, силами противопожарной службы $P_{\text{сп2}}$ равна 0,85.

Таким образом, значение вероятности спасения человека при пожаре $P_{\text{сп}}$ можно оценить по формуле (2), если известно значение вероятности самостоятельного спасения человека по блокированным ОФП эвакуационным путям и выходам из здания (может быть определено на основе математического моделирования движения людей, передвигающихся пригнувшись или на четвереньках) и значение вероятности самостоятельного спасения людей при помощи СТС. Для определения $P_{\text{сп}}$ необходима также информация о времени прибытия к горящему зданию сил противопожарной службы, времени

Статистические данные по пожарам и их последствиям в России

Показатель	Год							
	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Количество пожаров	239 286	231 486	226 952	218 570	211 163	200 386	187 490	179 098
Количество, чел.:								
погибших	19 275	18 377	18 194	17 065	15 924	15 165	13 933	12 983
травмированных	14 058	13 673	13 183	13 379	13 646	12 800	13 207	13 067
спасенных	93 940	97 944	90 468	96 851	98 363	94 220	84 394	84 548
Размер спасенных материальных ценностей, млрд руб.	23,5	24,9	24,8	30,0	38,1	42,9	46,8	44,6

разведки и времени гибели людей, которые не смогли самостоятельно покинуть здание. Время гибели может быть определено на основе математического моделирования распространения ОФП и движения людей по путям высотой менее 1,7 м.

При невозможности получения подобной информации можно считать, что вероятность спасения $P_{\text{сп}}$ при отсутствии в здании аварийных и иных выходов будет не менее 0,851, а при их наличии — не менее 0,9 (для жилых зданий) и 0,88 (для остальных).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Методика определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности : приказ МЧС России от 30 июня 2009 г. № 382 : зарег. в Министре РФ 6 августа 2009 г., рег. № 14486 : введ. 30.06.2009 г. — М. : ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2009.
2. ГОСТ 12.1.004–91*. Пожарная безопасность. Общие требования : введ. 01.07.1992 г. — М. : Изд-во стандартов, 1991; ИПК “Изд-во стандартов”, 2002.
3. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : Федер. закон РФ от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ : принят Гос. Думой 4 июля 2008 г. : одобр. Советом Федерации 11 июля 2008 г. // Собр. законодательства РФ. — 2008. — № 30 (ч. 1). — Ст. 3579.
4. Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах : приказ МЧС России от 10 июля 2009 г. № 404 : зарег. в Министре РФ 17 августа 2009 г., рег. № 14541. URL : <http://www.mchs.gov.ru> (дата обращения: 15.04.2011).
5. Седов Д. В. Уточнение методики оценки индивидуального пожарного риска // Пожарная безопасность. — 2002. — № 2. — С. 116–122.
6. Статистика // МЧС России. URL : <http://www.mchs.gov.ru/stats> (дата обращения: 15.04.2011).

*Материал поступил в редакцию 26 мая 2011 г.
Электронный адрес автора: sedov_irk@list.ru.*



Издательство «ПОЖНАУКА»

Представляет книгу

А. Я. Корольченко, Д. О. Загорский

КАТЕГОРИРОВАНИЕ ПОМЕЩЕНИЙ И ЗДАНИЙ ПО ВЗРЫВОПОЖАРНОЙ И ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ. — М. : Пожнаука, 2010. — 118 с.



В учебном пособии изложены принципы категорирования помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности, содержащиеся в современных нормативных документах. На примерах конкретных помещений рассмотрено использование требований нормативных документов к установлению категорий. Показана возможность изменения категорий помещений путем изменения технологии или внедрения инженерных мероприятий по снижению уровня взрывопожароопасности и повышению надежности технологического оборудования и процессов.

Пособие рассчитано на студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальностям “Пожарная безопасность”, “Безопасность технологических процессов и производств”, “Безопасность жизнедеятельности в техносфере”, студентов строительных вузов и факультетов, обучающихся по специальности “Промышленное и гражданское строительство”, сотрудников научно-исследовательских, проектных организаций и нормативно-технических служб, ответственных за обеспечение пожарной безопасности.

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



И. А. Кайбичев

д-р физ.-мат. наук, профессор,
доцент Уральского института ГПС
МЧС РФ, г. Екатеринбург, Россия

УДК 614.84:519.2

АНАЛИЗ ВЫБРОСОВ ЧИСЛА ПОЖАРОВ

Рассмотрена процедура выделения выбросов с аномально большим числом пожаров. Показано, что добавление в математическую модель фиктивного фактора повышает точность аппроксимации в среднем в два раза. На основе автокорреляционной модели предсказаны месяцы, в которые могут произойти выбросы. Сравнение итогов прогноза выбросов с фактом показало, что прогноз дает не более двух ошибок в год.

Ключевые слова: математическое прогнозирование; анализ выбросов; метод линейного тренда.

Одной из актуальных задач деятельности МЧС было и остается прогнозирование числа чрезвычайных ситуаций (ЧС) на территории субъектов Российской Федерации [1]. При этом несомненный интерес представляют случаи резкого возрастания (так называемые выбросы*) числа пожаров. Часто такие ситуации выявляют наличие проблем, связанных с готовностью подразделений МЧС к ликвидации чрезвычайных ситуаций. Цель работы состоит в применении метода анализа выбросов числа пожаров, случившихся в интересующем нас месяце года, а также в обосновании перспективности аппроксимации выбросов с помощью введения в математическую модель фиктивного фактора.

1. Выделение линейной линии тренда

На первом этапе анализа выбросов выделим трендовые значения на основе имеющихся фактических показателей [2–4].

Анализируем известные данные за 12 месяцев года с целью выделения линейного тренда:

$$y_{\text{тренд}} = ax + b, \quad (1)$$

где $y_{\text{тренд}}$ — трендовое значение показателя в месяце; a и b — коэффициенты, определяемые методом наименьших квадратов; x — номер месяца.

На основе данных 1998–2007 гг. по числу пожаров, произошедших в Свердловской области (табл. 1–11),

* Выбросы — это аномально большие значения, резко отличающиеся от ряда других. При этом речь идет о достоверных данных, которые на фоне остальных значений кажутся слишком большими.

с помощью (1) рассчитываем трендовое значение показателя для каждого месяца года (графа “Тренд”). При этом полученное значение округляем, так как число пожаров может быть только целым. Ошибку аппроксимации (графа “Ошибка”) определяем путем вычитания трендового значения числа пожаров $y_{\text{тренд}}$ из фактического значения y :

$$\Delta y = y - y_{\text{тренд}}. \quad (2)$$

В итоге фактические показатели можно описать формулой

$$y = ax + b + \Delta y. \quad (3)$$

Значения коэффициентов a и b представлены в табл. 12. Отметим, что среднее значение ошибки аппроксимации равно 0 (см. табл. 1–11). Это позволяет считать ошибку аппроксимации Δy в каждом месяце случайной величиной.

Для оценки правдоподобия линейной аппроксимации проводим сравнение с реальными данными. В качестве показателя достоверности используем среднее абсолютное отклонение:

$$\varepsilon = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i_{\text{тренд}} - y_i|, \quad (4)$$

где $y_i_{\text{тренд}}$ — трендовое значение числа пожаров; y_i — фактическое число пожаров в данном месяце.

Расчеты показали, что среднее абсолютное отклонение линейной аппроксимации меняется в достаточно широком интервале — от 86 в 2000 г. до 614,5 в 2008 г., а его среднее значение составляет 239,69 (табл. 13).

Таблица 1. Фактические данные и трендовые значения числа пожаров на 1998 г.

Номер месяца	Х	Месяц	Факт	Тренд			Ошибка			Модуль			Нормированный остаток	
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
1 0	Январь	799	868	738	738	69	-61	-61	69	61	61	0,23	0,56	
2 0	Февраль	618	868	747	747	250	129	129	250	129	129	0,84	1,19	
3 0	Март	760	867	756	756	107	-4	-4	107	4	4	0,36	0,04	
4 0	Апрель	755	866	765	765	111	10	10	111	10	10	0,37	0,09	
5 1	Май	1699	865	773	1699	-834	-926	0	834	926	0	2,82	8,57	
6 0	Июнь	979	864	782	782	-115	-197	-197	115	197	197	0,39	1,82	
7 0	Июль	641	863	791	791	222	150	150	222	150	150	0,75	1,39	
8 0	Август	750	863	800	800	113	50	50	113	50	50	0,38	0,46	
9 0	Сентябрь	930	862	809	809	-68	-121	-121	68	121	121	0,23	1,12	
10 0	Октябрь	853	861	818	818	8	-35	-35	8	35	35	0,03	0,32	
11 0	Ноябрь	816	860	827	827	44	11	11	44	11	11	0,15	0,10	
12 0	Декабрь	766	859	835	835	93	69	69	93	69	69	0,31	0,64	
				<i>Среднее</i>	864	864	787	864	0	-77	0	169,5	146,9	69,8
				<i>Корреляция</i>	-0,01	-1,00	1,00	-0,01	0,00	0,12	0,00	-0,26	-0,14	-0,02
														-0,26
														-0,14

При меч ани е . Здесь и в заголовке граф табл. 2–12: 1 — до удаления потенциальных выбросов из исходных данных; 2 — после их удаления; 3 — с учетом фиктивного фактора.

Таблица 2. Фактические данные и трендовые значения числа пожаров на 1999 г.

Номер месяца	Х	Месяц	Факт	Тренд			Ошибка			Модуль			Нормированный остаток	
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
1 0	Январь	708	868	725	791	160	17	83	160	17	83	0,73	0,12	
2 0	Февраль	574	869	739	800	295	165	226	295	165	226	1,35	1,12	
3 0	Март	746	870	753	809	124	7	63	124	7	63	0,57	0,05	
4 1	Апрель	1243	872	767	1243	-371	-476	0	371	476	0	1,70	3,23	
5 0	Май	1185	873	781	826	-312	-404	-359	312	404	359	1,43	2,75	
6 0	Июнь	1035	874	794	835	-161	-241	-200	161	241	200	0,74	1,64	
7 0	Июль	985	875	808	844	-110	-177	-141	110	177	141	0,50	1,20	
8 0	Август	837	877	822	852	40	-15	15	40	15	15	0,18	0,10	
9 0	Сентябрь	632	878	836	861	246	204	229	246	204	229	1,13	1,39	
10 0	Октябрь	916	879	850	870	-37	-66	-46	37	66	46	0,17	0,45	
11 0	Ноябрь	859	880	863	878	21	4	19	21	4	19	0,10	0,03	
12 0	Декабрь	776	881	877	887	105	101	111	105	101	111	0,48	0,69	
				<i>Среднее</i>	875	875	801	875	0	-73	0	165,2	156,4	124,3
				<i>Корреляция</i>	0,02	1,00	1,00	0,04	0,00	0,21	0,00	-0,56	-0,22	-0,19
														-0,56
														-0,22

В аппроксимации реальных показателей линейной линией установлено, что все реальные значения можно считать случайными величинами.

2. Анализ выбросов числа пожаров

Анализ выбросов числа пожаров проводят по следующим этапам [2–4]:

1. В исходном наборе данных определяют точки с аномально большими значениями; эти точки будут потенциальными кандидатами на выбросы.

2. Потенциальные выбросы удаляют из исходного набора данных.

3. На основе набора данных, из которого удалены потенциальные выбросы, строят функцию регрессии $f(x)$ и вычисляют ее стандартную ошибку ε .

Таблица 3. Фактические данные и трендовые значения числа пожаров на 2000 г.

Номер месяца	Х	Месяц	Факт	Тренд			Ошибка			Модуль			Нормированный остаток	
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
1 0	Январь	654	753	753	99	99	99	99	99	99	99	99	0,87	0,87
2 0	Февраль	627	771	771	144	144	144	144	144	144	144	144	1,26	1,26
3 0	Март	761	789	789	28	28	28	28	28	28	28	28	0,25	0,25
4 0	Апрель	997	808	808	-189	-189	189	189	189	189	189	189	1,66	1,66
5 0	Май	942	826	826	-116	-116	116	116	116	116	116	116	1,02	1,02
6 0	Июнь	971	844	844	-127	-127	127	127	127	127	127	127	1,11	1,11
7 0	Июль	896	862	862	-34	-34	34	34	34	34	34	34	0,30	0,30
8 0	Август	736	880	880	144	144	144	144	144	144	144	144	1,26	1,26
9 0	Сентябрь	906	899	899	-7	-7	7	7	7	7	7	7	0,06	0,06
10 0	Октябрь	960	917	917	-43	-43	43	43	43	43	43	43	0,38	0,38
11 0	Ноябрь	928	935	935	7	7	7	7	7	7	7	7	0,06	0,06
12 0	Декабрь	859	953	953	94	94	94	94	94	94	94	94	0,83	0,83
<i>Среднее</i>				853	853	853	0	0	86,0	86,0	86,0	86,0	0,76	0,76
<i>Корреляция</i>				0,52	1,00	1,00	0,00	0,00	-0,44	-0,44	-0,44	-0,44	-0,44	-0,44

Таблица 4. Фактические данные и трендовые значения числа пожаров на 2001 г.

Номер месяца	Х	Месяц	Факт	Тренд			Ошибка			Модуль			Нормированный остаток		
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	
1 0	Январь	734	768	621	627	34	-113	-107	34	113	107	107	0,17	1,30	
2 0	Февраль	607	775	642	646	168	35	39	168	35	39	39	0,85	0,40	
3 0	Март	579	783	663	666	204	84	87	204	84	87	87	1,03	0,97	
4 1	Апрель	1247	790	683	1127	-457	-564	-120	457	564	120	120	2,31	6,51	
5 1	Май	1026	798	704	1146	-228	-322	120	228	322	120	120	1,15	3,71	
6 0	Июнь	753	805	724	725	52	-29	-28	52	29	28	28	0,26	0,33	
7 0	Июль	759	812	745	745	53	-14	-14	53	14	14	14	0,27	0,16	
8 0	Август	757	820	766	765	63	9	8	63	9	8	8	0,32	0,10	
9 0	Сентябрь	754	827	786	784	73	32	30	73	32	30	30	0,37	0,37	
10 0	Октябрь	716	834	807	804	118	91	88	118	91	88	88	0,60	1,05	
11 0	Ноябрь	765	842	827	824	77	62	59	77	62	59	59	0,39	0,72	
12 0	Декабрь	1006	849	848	843	-157	-158	-163	157	158	163	163	0,79	1,82	
<i>Среднее</i>				809	809	735	809	0	-74	0	140,3	126,1	71,9	0,71	1,45
<i>Корреляция</i>				0,14	1,00	1,00	0,16	0,00	0,25	0,00	-0,26	-0,22	0,00	-0,26	-0,22

4. Определяют значения функции регрессии $f(x_i)$ во всех точках исходного набора.

5. В исходном наборе данных определяют точки данных x_i потенциальных выбросов, в которых реальные значения сильно превышают значения функции регрессии $f(x_i)$.

6. Вычисляют остатки в точках выбросов, т. е. $\Delta y_i = y_i - f(x_i)$, где y_i — значение i -го выброса.

7. Находят нормированные остатки в точках выбросов: $e_i = \Delta y_i / \varepsilon$.

8. Если абсолютная величина какого-либо нормированного остатка превышает 3, то считают, что с вероятностью 95 % этот выброс не является случайным.

Основная задача анализа выбросов — выявить их причины. Одной из них могут выступать флюктуации естественного происхождения, обусловленные стохастической (вероятностной) природой исходных данных. При этом значения хотя и являются аномальными, но не выходят за рамки возможных вариаций числа пожаров.

Таблица 5. Фактические данные и трендовые значения числа пожаров на 2002 г.

Номер месяца	Х	Месяц	Факт	Тренд			Ошибка			Модуль			Нормированный остаток	
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
1 0	Январь	736	875	654	651	139	-82	-85	139	82	85	0,48	0,91	
2 0	Февраль	565	870	668	666	305	103	101	305	103	101	1,06	1,14	
3 0	Март	618	865	682	681	247	64	63	247	64	63	0,86	0,71	
4 1	Апрель	1327	860	697	1393	-467	-630	66	467	630	66	1,62	6,98	
5 1	Май	1473	855	711	1407	-618	-762	-66	618	762	66	2,14	8,44	
6 0	Июнь	778	850	725	724	72	-53	-54	72	53	54	0,25	0,59	
7 0	Июль	758	846	739	739	88	-19	-19	88	19	19	0,31	0,21	
8 0	Август	829	841	753	754	12	-76	-75	12	76	75	0,04	0,84	
9 0	Сентябрь	857	836	767	768	-21	-90	-89	21	90	89	0,07	1,00	
10 0	Октябрь	714	831	781	783	117	67	69	117	67	69	0,41	0,74	
11 0	Ноябрь	657	826	796	798	169	139	141	169	139	141	0,59	1,54	
12 0	Декабрь	864	821	810	812	-43	-54	-52	43	54	52	0,15	0,60	
<i>Среднее</i>				848	848	732	848	0	-116	0	191,5	178,3	73,3	0,67
<i>Корреляция</i>				-0,06	-1,00	1,00	-0,07	0,00	0,24	0,00	-0,48	-0,24	0,06	-0,48

Таблица 6. Фактические данные и трендовые значения числа пожаров на 2003 г.

Номер месяца	Х	Месяц	Факт	Тренд			Ошибка			Модуль			Нормированный остаток	
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
1 0	Январь	660	912	626	709	252	-34	49	252	34	49	0,59	0,62	
2 0	Февраль	570	916	647	715	346	77	145	346	77	145	0,80	1,40	
3 0	Март	657	919	668	721	262	11	64	262	11	64	0,61	0,20	
4 1	Апрель	1308	922	688	1482	-386	-620	174	386	620	174	0,90	11,23	
5 1	Май	2063	925	709	1488	-1138	-1354	-575	1138	1354	575	2,64	24,53	
6 0	Июнь	741	929	730	738	188	-11	-3	188	11	3	0,44	0,20	
7 0	Июль	803	932	751	744	129	-52	-59	129	52	59	0,30	0,94	
8 0	Август	785	935	772	750	150	-13	-35	150	13	35	0,35	0,24	
9 0	Сентябрь	812	939	793	756	127	-19	-56	127	19	56	0,29	0,34	
10 1	Октябрь	1117	942	814	1518	-175	-303	401	175	303	401	0,41	5,49	
11 0	Ноябрь	884	945	835	768	61	-49	-116	61	49	116	0,14	0,89	
12 0	Декабрь	764	948	856	774	184	92	10	184	92	10	0,43	1,67	
<i>Среднее</i>				930	930	741	930	0	-190	0	283,2	219,6	140,6	0,66
<i>Корреляция</i>				0,03	1,00	1,00	0,03	0,00	0,15	0,00	-0,14	-0,14	-0,04	-0,37

Вторая ситуация возникает, когда выбросы связаны с какими-то неучтеными факторами. В этом случае проводят совершенствование математической модели данных.

3. Определение потенциальных выбросов

В качестве потенциальных выбросов выделяют точки данных, которые резко превышают трендовые значения. В наших данных такими точками можно считать показатели:

- мая 1998 г.;
- апреля и мая 1999 г.;
- апреля и мая 2001 г.;
- апреля и мая 2002 г.;
- апреля, мая и октября 2003 г.;
- мая и июля 2004 г.;
- апреля, мая и октября 2005 г.;
- мая 2006 г.;
- апреля и октября 2007 г.;
- апреля и мая 2008 г.

Таблица 7. Фактические данные и трендовые значения числа пожаров на 2004 г.

Номер месяца	Х	Месяц	Факт	Тренд			Ошибка			Модуль			Нормированный остаток	
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
1 0	Январь	742	1083	786	849	341	44	107	341	44	107	0,58	0,49	
2 0	Февраль	716	1059	782	833	343	66	117	343	66	117	0,58	0,74	
3 0	Март	772	1036	777	818	264	5	46	264	5	46	0,45	0,06	
4 0	Апрель	802	1012	773	802	210	-29	0	210	29	0	0,36	0,32	
5 1	Май	2714	989	769	1927	-1725	-1945	-787	1725	1945	787	2,92	21,71	
6 0	Июнь	971	965	764	771	-6	-207	-200	6	207	200	0,01	2,31	
7 1	Июль	1108	941	760	1895	-167	-348	787	167	348	787	0,28	3,88	
8 0	Август	778	918	755	740	140	-23	-38	140	23	38	0,24	0,26	
9 0	Сентябрь	694	894	751	724	200	57	30	200	57	30	0,34	0,64	
10 0	Октябрь	679	870	746	708	191	67	29	191	67	29	0,32	0,75	
11 0	Ноябрь	679	847	742	693	168	63	14	168	63	14	0,28	0,70	
12 0	Декабрь	782	823	738	677	41	-44	-105	41	44	105	0,07	0,49	
<i>Среднее</i>				953	953	762	953	0	-191	0	316,3	241,5	188,3	0,54
<i>Корреляция</i>				-0,15	-1,00	-1,00	-0,19	0,00	0,12	0,00	-0,28	-0,12	-0,11	-0,28

Таблица 8. Фактические данные и трендовые значения числа пожаров на 2005 г.

Номер месяца	Х	Месяц	Факт	Тренд			Ошибка			Модуль			Нормированный остаток	
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
1 0	Январь	756	825	763	745	69	7	-11	69	7	11	0,26	0,04	
2 0	Февраль	700	842	776	767	142	76	67	142	76	67	0,55	0,43	
3 0	Март	548	858	788	790	310	240	242	310	240	242	1,19	1,37	
4 0	Апрель	1149	874	801	812	-275	-348	-337	275	348	337	1,06	1,99	
5 1	Май	1404	891	813	1404	-513	-591	0	513	591	0	1,97	3,37	
6 0	Июнь	741	907	826	857	166	85	116	166	85	116	0,64	0,49	
7 0	Июль	940	924	838	879	-16	-102	-61	16	102	61	0,06	0,58	
8 0	Август	922	940	851	901	18	-71	-21	18	71	21	0,07	0,41	
9 0	Сентябрь	803	956	863	924	153	60	121	153	60	121	0,59	0,34	
10 0	Октябрь	1287	973	875	946	-314	-412	-341	314	412	341	1,21	2,35	
11 0	Ноябрь	989	989	888	968	0	-101	-21	0	101	21	0,00	0,58	
12 0	Декабрь	745	1005	900	991	260	155	246	260	155	246	1,00	0,88	
<i>Среднее</i>				915	915	832	915	0	-84	0	186,3	187,3	132,0	0,72
<i>Корреляция</i>				0,23	1,00	1,00	0,34	0,00	-0,06	0,00	-0,11	0,01	0,18	-0,11

В первоначальном варианте расчета точки потенциальных выбросов не удаляли из исходного набора данных. Расчет нормированных остатков показал, что максимальное значение 2,94 достигается в мае 2006 г. Все нормированные остатки в точках, подозрительных на выбросы, не превышают 3 (см. табл. 1–11), поэтому в соответствии с теорией их нельзя считать выбросами.

В связи с этим причиной резких всплесков при данном подходе являются флуктуации, обусловленные вероятностной природой исходных данных.

При этом значения хотя и являются аномальными, но не выходят за рамки возможных вариаций числа пожаров.

4. Анализ выбросов при удалении точек потенциальных выбросов из исходного набора данных

Без удаления точек потенциальных выбросов из исходного набора данных мы получили, что выбросы обусловлены вероятностной природой данных и не выходят за рамки возможных вариаций пожаров.

Таблица 9. Фактические данные и трендовые значения числа пожаров на 2006 г.

Номер месяца	Х	Месяц	Факт	Тренд			Ошибка			Модуль			Нормированный остаток	
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
1 0	Январь	929	1093	797	797	164	-132	-132	164	132	132	0,26	0,99	
2 0	Февраль	624	1076	802	802	452	178	178	452	178	178	0,70	1,34	
3 0	Март	619	1058	807	807	439	188	188	439	188	188	0,68	1,41	
4 0	Апрель	883	1041	812	812	158	-71	-71	158	71	71	0,25	0,53	
5 1	Май	2912	1024	816	2912	-1888	-2096	0	1888	2096	0	2,94	15,73	
6 0	Июнь	1029	1007	821	821	-22	-208	-208	22	208	208	0,03	1,56	
7 0	Июль	788	989	826	826	201	38	38	201	38	38	0,31	0,29	
8 0	Август	855	972	831	831	117	-24	-24	117	24	24	0,18	0,18	
9 0	Сентябрь	947	955	835	835	8	-112	-112	8	112	112	0,01	0,84	
10 0	Октябрь	838	938	840	840	100	2	2	100	2	2	0,16	0,02	
11 0	Ноябрь	811	920	845	845	109	34	34	109	34	34	0,17	0,26	
12 0	Декабрь	742	903	849	849	161	107	107	161	107	107	0,25	0,80	
<i>Среднее</i>				998	998	823	998	0	-175	0	318,3	265,8	91,2	0,50
<i>Корреляция</i>				-0,10	-1,00	1,00	-0,10	0,00	0,13	0,00	-0,28	-0,20	-0,47	-0,28
														-0,20

Таблица 10. Фактические данные и трендовые значения числа пожаров на 2007 г.

Номер месяца	Х	Месяц	Факт	Тренд			Ошибка			Модуль			Нормированный остаток	
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
1 0	Январь	717	781	711	723	64	-6	6	64	6	6	0,29	0,05	
2 0	Февраль	590	804	733	743	214	143	153	214	143	153	0,98	1,10	
3 0	Март	698	826	754	762	128	56	64	128	56	64	0,58	0,43	
4 1	Апрель	1280	849	776	1234	-431	-504	-46	431	504	46	1,97	3,89	
5 0	Май	1114	871	798	801	-243	-316	-313	243	316	313	1,11	2,44	
6 0	Июнь	802	894	819	820	92	17	18	92	17	18	0,42	0,13	
7 0	Июль	791	916	841	839	125	50	48	125	50	48	0,57	0,39	
8 0	Август	870	939	862	859	69	-8	-11	69	8	11	0,32	0,06	
9 0	Сентябрь	865	961	884	878	96	19	13	96	19	13	0,44	0,15	
10 1	Октябрь	1303	984	905	1349	-319	-398	46	319	398	46	1,46	3,07	
11 0	Ноябрь	961	1006	927	917	45	-34	-44	45	34	44	0,21	0,26	
12 0	Декабрь	869	1029	948	936	160	79	67	160	79	67	0,73	0,61	
<i>Среднее</i>				905	905	830	905	0	-75	0	165,5	135,8	69,1	0,76
<i>Корреляция</i>				0,36	1,00	1,00	0,42	0,00	-0,02	0,00	-0,14	-0,08	-0,22	-0,14
														-0,08

Удаление точек потенциальных выбросов из исходного набора данных существенно меняет результаты расчета (см. табл. 1–11). При этом выбросами с точки зрения теории можно считать данные:

- мая 1998 г.;
- апреля 1999 г.;
- апреля и мая 2001 г.;
- апреля и мая 2002 г.;
- апреля, мая и октября 2003 г.;
- мая и июля 2004 г.;

- мая 2005 г.;
- мая 2006 г.;
- апреля и октября 2007 г.;
- апреля и мая 2008 г.

Показатели мая 1999 г. не удовлетворяют критерию выброса.

Удаление точек потенциальных выбросов из исходного набора данных меняет значения коэффициентов a и b линейной аппроксимации (см. табл. 12), снижает среднее абсолютное отклонение аппрокси-

Таблица 11. Фактические данные и трендовые значения числа пожаров на 2008 г.

Номер месяца	Х	Месяц	Факт	Тренд			Ошибка			Модуль			Нормированный остаток	
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
1 0	Январь	811	1525	726	765	714	-85	-46	714	85	46	0,70	0,60	
2 0	Февраль	620	1461	735	767	841	115	147	841	115	147	0,82	0,81	
3 0	Март	592	1396	743	769	804	151	177	804	151	177	0,79	1,06	
4 1	Апрель	4011	1332	752	3142	-2679	-3259	-869	2679	3259	869	2,62	22,85	
5 1	Май	2276	1268	761	3145	-1008	-1515	869	1008	1515	869	0,99	10,62	
6 0	Июнь	902	1203	769	775	301	-133	-127	301	133	127	0,29	0,93	
7 0	Июль	1040	1139	778	777	99	-262	-263	99	262	263	0,10	1,84	
8 0	Август	708	1075	786	779	367	78	71	367	78	71	0,36	0,55	
9 0	Сентябрь	697	1011	795	781	314	98	84	314	98	84	0,31	0,69	
10 0	Октябрь	890	946	804	783	56	-86	-107	56	86	107	0,05	0,60	
11 0	Ноябрь	717	882	812	785	165	95	68	165	95	68	0,16	0,67	
12 0	Декабрь	792	818	821	787	26	29	-5	26	29	5	0,03	0,20	
<i>Среднее</i>			1171	1171	774	1171	0	-398	0	614,5	492,2	236,1	0,60	3,45
<i>Корреляция</i>			-0,23	-1,00	1,00	-0,25	0,00	0,26	0,00	-0,57	-0,28	-0,33	-0,57	-0,28

Таблица 12. Коэффициенты аппроксимации реальных данных линейным трендом

Год	a			b			c
	1	2	3	1	2	3	
1998	-0,84	8,87	8,87	869,29	729,04	729,04	925,61
1999	1,24	13,81	8,68	866,62	711,54	782,81	425,48
2000	18,21	18,21	18,21	734,70	734,70	734,70	0,00
2001	7,37	20,60	19,70	760,70	600,85	607,09	440,77
2002	-4,87	14,14	14,64	879,68	640,01	636,60	697,53
2003	3,28	20,89	5,92	909,02	604,84	702,96	755,54
2004	-23,62	-4,43	-15,65	1106,61	790,74	864,76	1140,11
2005	16,35	12,48	22,32	809,06	750,70	722,75	569,62
2006	-17,25	4,73	4,73	1110,20	792,67	792,67	2095,66
2007	22,48	21,55	19,31	758,91	689,76	704,10	452,21
2008	-64,29	8,58	2,05	1589,20	717,67	762,76	2371,52

Таблица 13. Среднее абсолютное отклонение линейной аппроксимации

Год	Без удаления выбросов из данных	С удалением выбросов из данных	Улучшение качества аппроксимации, %	С учетом фиктивного фактора	Улучшение качества аппроксимации, %
1998	169,50	146,92	13,32	69,75	58,85
1999	165,17	156,42	5,30	124,33	24,72
2000	86,00	86,00	0,00	86,00	0,00
2001	140,33	126,08	10,15	71,92	48,75
2002	191,50	178,25	6,92	73,33	61,71
2003	283,17	219,58	22,45	140,58	50,35
2004	316,33	241,50	23,66	188,33	40,46
2005	186,33	187,33	-0,54	132,00	29,16
2006	318,25	265,83	16,47	91,17	71,35
2007	165,50	135,83	17,93	69,08	58,26
2008	614,50	492,17	19,91	236,08	61,58
<i>Среднее</i>	239,69	203,27	12,32	116,60	45,93

мации в среднем на 12,3 % (см. табл. 13), т. е. повышает качество аппроксимации.

Среднее абсолютное отклонение аппроксимации при удалении точек потенциальных выбросов из исходного набора данных уже не равно 0 (см. табл. 1–11). Это приводит к выводу, что в рамках метода выделения выбросов ошибка аппроксимации не будет случайной величиной. Следовательно, исходный набор данных уже нельзя считать случайными величинами.

5. Модель с учетом фиктивного фактора

Поскольку наши данные уже нельзя считать случайными, то должен действовать некоторый неизвестный нам фактор, который объясняет наличие выбросов. Для уточнения математической модели введем фиктивный фактор X , который будет равен 1 во всех точках ранее определенных выбросов и 0 — в остальных (см. табл. 1–11).

Анализируем известные данные за 12 месяцев года с целью выделения линейного тренда:

$$y_{\text{тренд}} = ax + b + cX, \quad (5)$$

где $y_{\text{тренд}}$ — трендовое значение показателя в месяце; a , b и c — коэффициенты, определяемые методом наименьших квадратов; x — номер месяца; X — новый фиктивный фактор.

Заметим, что ввод нового фактора заметно повысил точность построения тренда (см. табл. 1–11). Среднее абсолютное отклонение линейного тренда после ввода фиктивного фактора в среднем уменьшилось на 45,93 % (см. табл. 13), что свидетельствует о полезности ввода фиктивного фактора в математическую модель.

Значения коэффициентов a , b и c приведены в табл. 12. Отметим, что среднее значение ошибки аппроксимации равно 0 (см. табл. 1–11). Ввод фиктивного фактора не влияет на вывод о возможности считать ошибку аппроксимации Δy в каждом месяце случайной величиной. Следовательно, число пожаров, произошедших в каждом месяце года, после ввода фиктивного фактора можно считать также случайной величиной.

6. Вероятностный анализ выбросов числа пожаров

Анализ распределения выбросов по месяцам года (табл. 14) показывает, что максимальная вероятность

появления выбросов 0,47 достигается в мае. Затем в порядке убывания выбросы наблюдались: с вероятностью 0,35 — в апреле, с вероятностью 0,12 — в октябре и с минимальной вероятностью 0,06 — в июле. Для остальных месяцев года выбросы не наблюдались.

Для установления возможной зависимости между номером месяца (за 11 лет, 1998 по 2008 гг., меняется от 1 до 132) и значением фиктивного фактора X вычисляли коэффициент корреляции. Он оказался равным 0,06, что близко к нулю. Таким образом, можно считать, что между последовательным номером месяца и значением фиктивного фактора X зависимости нет.

7. Автокорреляционный анализ

Для установления возможной зависимости фиктивного фактора X от ранее наблюдавшихся его значений вычислим коэффициент автокорреляции:

$$R(\tau) = \frac{\frac{1}{n-\tau} \sum_{k=1}^{n-\tau} [X(k) - \bar{X}] [X(k+\tau) - \bar{X}]}{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n [X(k) - \bar{X}]^2}, \quad \tau = 1, 2, \dots, n-1, \quad (6)$$

где τ — так называемый лаг (временной интервал между двумя или несколькими событиями, находящимися в причинно-следственной связи); $X(k)$ — значение фиктивного фактора в k -м месяце;

\bar{X} — среднее значение фиктивного фактора X ;

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n X(k).$$

Расчет по формуле (6) дал значение коэффициента автокорреляции 0,12 при лаге в 1 месяц, 0,44 — при лаге в 1 год, 0,42 — при лаге в 5 лет. Поэтому представляется целесообразным вычислять будущие значения фиктивного фактора X исходя из имеющихся данных для аналогичных месяцев 1 год и 5 лет назад с помощью математической модели:

$$X_i = aX_{i-12} + bX_{i-60} + c. \quad (7)$$

При этом мы должны учитывать, что фиктивный фактор X может принимать значения только 0 или 1. Для этого применим стандартные правила округления. Если значение X_i , вычисленное по формуле (7), менее 0,5, то оно округляется до 0, в противном случае — до 1.

Таблица 14. Вероятность появления выбросов

Показатель	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
Количество выбросов	—	—	—	6	8	—	1	—	—	2	—	—
Вероятность выбросов	0	0	0	0,35	0,47	0	0,06	0	0	0,12	0	0

Таблица 15. Сравнение прогноза значений фиктивного фактора X с фактом

Год	X	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Ошибка
2003	Факт	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0
	Прогноз	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2
2004	Факт	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
	Прогноз	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
2005	Факт	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	Прогноз	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
2006	Факт	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	Прогноз	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
2007	Факт	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0
	Прогноз	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2
2008	Факт	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	Прогноз	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	2

Предложенная математическая модель позволяет предсказать появление выбросов в будущем. Сравнение итогов прогноза с фактом показывает, что эта модель дает не более двух ошибок в год (табл. 15).

Выводы

Процедура выделения выбросов позволяет определить месяцы с аномально большими значениями. Добавление в математическую модель нового фик-

тивного фактора повышает точность аппроксимации в среднем в два раза.

Автокорреляционный анализ позволяет установить математическую модель поведения фиктивного фактора. На основе этой модели можно предсказывать значения фиктивного фактора в будущем и определять месяцы, в которые могут произойти выбросы. Сравнение итогов прогноза выбросов на основе автокорреляционной модели с фактом показало, что прогноз дает не более двух ошибок в год.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Положение о системе мониторинга, лабораторного контроля и прогнозирования чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера : приказ МЧС России от 12 ноября 2001 г. № 483. — М. : МЧС России, 2001.
2. Минько А. А. Статистика в бизнесе. Руководство менеджера и финансиста. — М. : Эксмо, 2008. — 504 с.
3. Минько А. А. Прогнозирование в бизнесе с помощью Excel. — М. : Эксмо, 2007. — 208 с.
4. Захарченко Н. И. Бизнес-статистика и прогнозирование в MS Excel. — М. : Издательский дом "Вильямс", 2004. — 208 с.

Материал поступил в редакцию 6 апреля 2011 г.
Электронный адрес автора: Kaibitchev@mail.ru.



Д. В. Русских
канд. техн. наук, доцент Воронежского института ГПС МЧС РФ,
г. Воронеж, Россия



Б. Е. Туев
слушатель Воронежского института ГПС МЧС РФ,
г. Воронеж, Россия



А. В. Калач
канд. хим. наук, доцент, заместитель начальника по научной работе Воронежского института ГПС МЧС России, г. Воронеж, Россия

УДК 538.971

Посвящается дню образования
Воронежского института ГПС МЧС России

ГАЗОВАЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ ДАТЧИКОВ ГАЗОВ НА ОСНОВЕ ДИОКСИДА ОЛОВА ПРИ ОБЛУЧЕНИИ СВЕТОДИОДОМ

Приведены результаты исследования влияния облучения фиолетовым светодиодом L5013VC с длиной волны 400 нм и мощностью 76 мВт на электросопротивление чувствительного слоя тестовых структур датчиков газов на основе диоксида олова на воздухе, а также в атмосфере этанола и ацетона.

Ключевые слова: датчики газов; диоксид олова; газовая чувствительность; электросопротивление; чувствительный слой; фиолетовый светодиод; этанол; ацетон.

В связи с интенсивным ростом промышленного производства и увеличением выбросов в атмосферу опасных для здоровья и жизни человека веществ стало актуальным использование различных систем мониторинга технологических процессов и состояния окружающей среды. В таких системах чаще всего используются относительно дешевые, малогабаритные, но обладающие высокой чувствительностью полупроводниковые датчики газов [1]. Главными недостатками таких датчиков являются: необходимость нагрева датчиков до высокой температуры, что ограничивает их использование на предприятиях, применяющих легковоспламеняющиеся и взрывоопасные газы, и недостаточная селективность к различным газам. Например, температура максимальной газовой чувствительности к этанолу и ацетону превышает 330 °C [2]. Одним из способов снижения температуры максимальной газовой чувствительности является легирование пленки диоксида олова SnO₂ примесями редкоземельных элементов или благородных металлов [3], однако это усложняет технологический процесс и повышает стоимость таких датчиков.

Другой подход к интенсификации электронно-ионных процессов на поверхности полупроводников заключается в воздействии ультрафиолетового (УФ) света на тонкую пленку SnO₂ [4, 5]. Однако ме-

ханизмы такого воздействия на характер изменения сопротивления при включении и выключении УФ-света не исследованы. Кроме того, не определены температуры максимальной газовой чувствительности при одновременном воздействии на образцы УФ-света и газа. Следует также отметить, что используемые в вышеупомянутых исследованиях стационарные источники УФ-света [4, 5] малопригодны для практического применения из-за большой мощности и значительных габаритных размеров.

Позднее нами был исследован характер изменения сопротивления тонкой пленки SnO₂ при включении и выключении света фиолетового светодиода L5013VC с длиной волны 400 нм и мощностью 76 мВт и предложены варианты механизмов, вызывающих подобного рода изменения [6].

Данная работа посвящена уточнению механизмов воздействия света на пленку SnO₂ и определению температур максимальной газовой чувствительности к этанолу и ацетону при одновременном воздействии света фиолетового светодиода L5013VC и одного из этих газов на пленку SnO₂.

Методика эксперимента

В качестве объекта исследования были выбраны тестовые структуры датчиков газов с кристаллом из

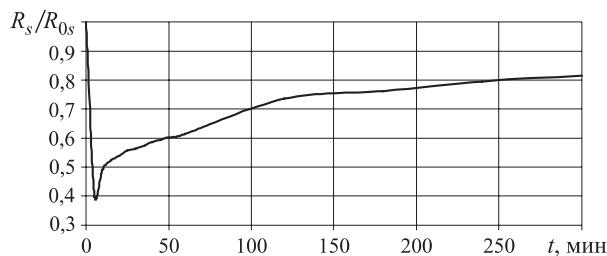


Рис. 1. Высокотемпературный стабилизирующий отжиг на воздухе при температуре 400 °C

окисленного кремния размером 1×1 мм², на котором находятся платиновый тонкопленочный нагреватель и контакты встречечно-штыревого типа с напыленным на них газочувствительным слоем SnO₂ толщиной около 0,5 мкм, расположенные на расстоянии 10 мкм друг от друга. Тестовые структуры датчиков изготовлены по микроэлектронной технологии с применением методов фотолитографии, многослойной металлизации, плазмохимии и травления [7]. Кристаллы тестовых структур смонтированы в стандартных восьмивыводных металлокерамических корпусах интегральных микросхем и имеют два чувствительных элемента. Газочувствительная пленка SnO₂ изготовлена методом реактивного магнетронного распыления оловянной мишени в контролируемой атмосфере (Ar + O₂). После напыления пленку подвергают отжигу на воздухе при $T = 510$ °C для образования мелкокристаллической структуры и стабилизации электрических параметров.

Хранившиеся около 6 мес с момента изготовления тестовые структуры датчиков отжигают примерно в течение 5 ч на воздухе при температуре 400 °C до полной стабилизации электрического сопротивления чувствительных элементов и для десорбции атмосферных газов с поверхности SnO₂ (рис. 1). Активированные таким образом датчики подвергают облучению светодиода, который расположен на расстоянии 2 мм от газочувствительной пленки, при температурах 20, 50, 100, 150 и 200 °C на воздухе с одновременным измерением электросопротивления чувствительного элемента R_{sg} , а затем при тех же температурах в присутствии 2000 ppm этианола R_{sg} . После воздействия светом иарами газа при каждом значении температуры тестовые структуры отжигают до полной стабилизации электрического сопротивления чувствительных элементов в течение не менее 3 ч. Аналогичный эксперимент проведен в атмосфере воздуха, содержащей 2000 ppm ацетона.

В ходе эксперимента при помощи платы сбора данных, сопряженной с компьютером через последовательный порт RS232, контролировали изменение падения напряжения на чувствительных элементах во времени для каждого значения температуры. По за-

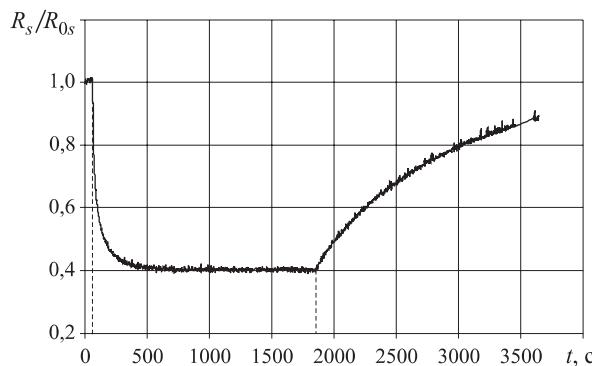


Рис. 2. Изменение относительного сопротивления чувствительного элемента R_s/R_{0s} в зависимости от времени в результате облучения светодиодом (включение в момент времени $t = 60$ с, выключение в момент времени $t = 1860$ с)

кону Ома в программе Microsoft Excel было рассчитано изменение относительного сопротивления и построены графики зависимости изменения относительного сопротивления чувствительных элементов (отношение текущего значения сопротивления чувствительного элемента к начальному $R_s(T)/R_{0s}(T)$) от времени (рис. 2).

Для сравнения результатов, полученных на воздухе и в присутствии паров этианола и ацетона, построены графики зависимости минимальных значений относительного сопротивления чувствительных элементов при воздействии облучения светодиодом от температуры.

Результаты опытов и их обсуждение

При длительном хранении датчика молекулы кислорода воздуха адсорбируются на дефектах поверхности пленки диоксида олова, захватывают электрон из материала и ионизируются [8]. Ионы кислорода, адсорбированные на поверхности полупроводника, повышают потенциальный барьер между зернами поликристалла и значительно увеличивают сопротивление для протекающего тока. Таким образом, поверхностное сопротивление чувствительного элемента датчика при хранении на воздухе увеличивается.

При освещении полупроводника SnO₂ светом с энергией, превышающей ширину запрещенной зоны, в объеме полупроводника генерируются электронно-дырочные пары. За счет искривления зон у поверхности микрокристалла происходит разделение зарядов в области обеднения: "дырки" устремляются к поверхности, а электроны переходят вглубь кристалла, увеличивая общую концентрацию свободных носителей заряда и уменьшая объемное электросопротивление. Возможна также прямая перезарядка светом поверхностных состояний, приводящая к изменению высоты потенциальных барьеров и уменьшению поверхностного сопротивления.

Характер изменения сопротивления пленки SnO_2 , хранившейся длительное время на воздухе, в результате облучения тестовой структуры фиолетовым светодиодом L5013VC после стабилизирующего десорбционного отжига представлен на рис. 2.

На рис. 3 и 4 приведены графики зависимости минимальных значений относительного сопротивления чувствительных элементов при воздействии облучения фиолетовым светодиодом от температуры в воздушной атмосфере в присутствии 2000 ppm этианола и ацетона соответственно.

Из рис. 3 и 4 видно, что характер кривых одинаков, но кривые относительных сопротивлений, полученные в присутствии 2000 ppm этианола или ацетона, лежат гораздо ниже кривых, полученных на воздухе. Это означает, что при облучении газочувствительного слоя фиолетовым светодиодом датчик способен “чувствовать” этиanol и ацетон в диапазоне температур 50–200 °C.

Для определения температуры максимальной газовой чувствительности к этианолу и ацетону по формуле (1) рассчитана газовая чувствительность S для различных значений температуры и построены графики зависимости газовой чувствительности от температуры (рис. 5):

$$S(T) = R_{sa}(T)/R_{sg}(T), \quad (1)$$

где $R_{sa}(T)$ — сопротивление чувствительного элемента на воздухе при температуре T ;

$R_{sg}(T)$ — сопротивление чувствительного элемента в газе при температуре T .

Из рис. 5 находим, что максимальная газовая чувствительность к этианолу и ацетону наблюдается соответственно при температурах 100 и 50 °C и составляет 25 и 33 %.

Таким образом, облучение фиолетовым светом датчиков газов на основе пленок SnO_2 приводит к снижению температуры максимальной газовой чувствительности сенсорного слоя и позволяет использовать тонкопленочные датчики при температурах до 200 °C, что приводит к снижению потребляемой мощности

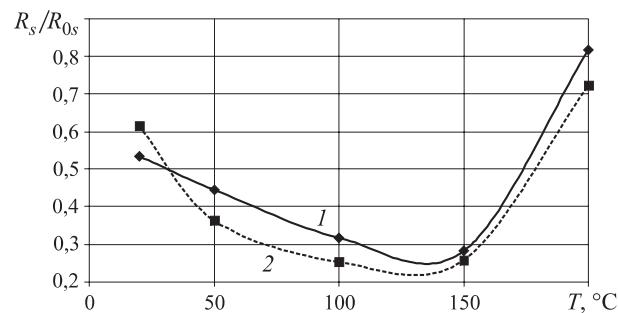


Рис. 3. Зависимости минимальных значений относительного сопротивления чувствительного элемента от температуры при облучении светодиодом на воздухе (1) и в присутствии 2000 ppm этианола (2)

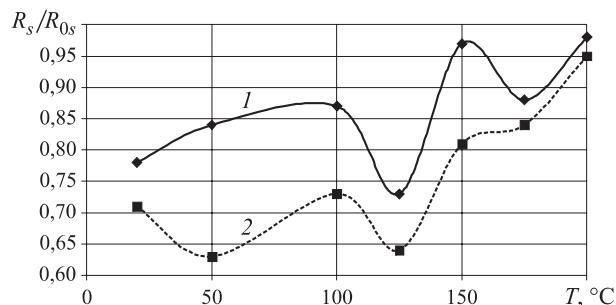


Рис. 4. Зависимости минимальных значений относительного сопротивления чувствительных элементов от температуры при облучении светодиодом на воздухе (1) и в присутствии 2000 ppm ацетона (2)

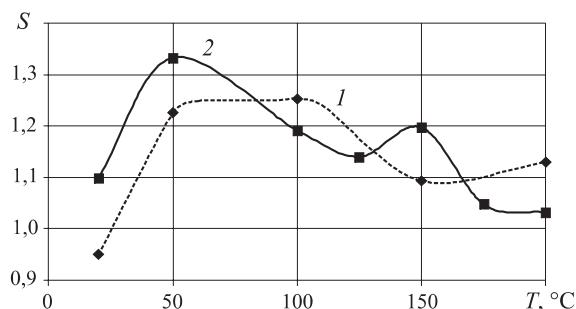


Рис. 5. Зависимость газовой чувствительности от температуры при облучении фиолетовым светодиодом тестовой структуры датчика газов в присутствии: 1 — 2000 ppm этианола; 2 — 2000 ppm ацетона

и повышению безопасности эксплуатации индикаторов взрывоопасных газов.

Снижение температуры максимальной газовой чувствительности происходит за счет перезарядки поверхностных состояний светом с энергией, превышающей ширину запрещенной зоны, которая приводит к десорбции ионов кислорода и уменьшению высоты потенциального барьера, т. е. поверхность очищается и интенсивно взаимодействует с газами-восстановителями.

Выводы

- Облучение поликристаллических полупроводниковых пленок SnO_2 светом с энергией, превышающей ширину запрещенной зоны, приводит к увеличению концентрации свободных носителей зарядов и уменьшению электросопротивления пленки.

- Облучение фиолетовым светодиодом позволяет снизить температуру максимальной газовой чувствительности к этианолу до 100 °C, а к ацетону — до 50 °C.

- Снижение температуры максимальной газовой чувствительности позволит уменьшить потребляемую мощность датчика, значительно расширить область применения газовых датчиков и увеличить срок их службы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Виглеб Г. Датчики: устройство и применение. — М. : Мир, 1989. — 196 с.
2. Figaro: датчики газов. — М. : Изд. дом “Додэка-XXI”, 2002. — 64 с.
3. Goyat D., Agashe C., Marathe B. Effect of dopant incorporation on structural and electrical properties of sprayed SnO₂:Sb films // J. Appl. Phys. — 1993. — Vol. 73, No. 11. — P. 7520–7523.
4. Comini E., Faglia G., Sberveglieri G. UV light activation of tin oxide thin films for NO₂ sensing at low temperatures // Sensors and Actuators B: Chemical. — 2001. — Vol. 78, No. 1–3. — P. 73–77.
5. Рембеза С. И., Сушков С. А., Кошелев А. М. Влияние оптического возбуждения на электрические свойства пленок SnO₂ // Твердотельная электроника и микроэлектроника : межвузовский сборник научных трудов. — Воронеж : Воронежский гос. техн. ун-т. — 2003. — Вып. 3. — С. 47–52.
6. Русских Д. В., Рембеза С. И., Железный С. В. Изменение электросопротивления тонких пленок SnO₂ под действием оптического возбуждения // Вестник Воронежского гос. техн. ун-та. — 2006. — Вып. 2 (11). — С. 72–76.
7. Рембеза С. И., Просвирина Д. Б., Викин О. Г. и др. Особенности конструкции и технологии изготовления тонкопленочных металлооксидных интегральных сенсоров газов // Сенсор. — 2004. — Вып. 1 (10). — С. 20–28.
8. Barsan N. Conduction model in gas-sensing SnO₂ layers: grain-size effects and ambient atmosphere influence // Sensor and Actuators B: Chemical. — 1994. — Vol. 17, No. 3. — P. 241–246.

Материал поступил в редакцию 6 апреля 2011 г.

Электронные адреса авторов: russcience@mail.ru; a_kalach@mail.ru.



Изательство «ПОЖНАУКА»

Представляет книгу

**А. А. Антоненко, Т. А. Буцынская, А. Н. Членов.
ОСНОВЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ СИСТЕМ КОМПЛЕКСНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ
БЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТОВ : учебно-справочное пособие
/ Под общ. ред. д-ра техн. наук А. Н. Членова. —
М. : ООО “Изательство “Пожнаука”, 2010. — 210 с.**



В учебно-справочном пособии изложены основы современного подхода к проблеме комплексного обеспечения безопасности объектов хозяйствования с помощью технических средств и систем; приведены сведения о технической эксплуатации комплексных систем безопасности, а также справочно-методическая информация для решения практических задач по эксплуатации. Дано основное содержание эксклюзивной разработки — ГОСТ Р 53704–2009 “Системы безопасности комплексные и интегрированные”, входящего в отраслевой комплект нормативно-технической документации по данной проблеме.

Книга предназначена для практических работников в области систем безопасности и может быть использована как учебное пособие для подготовки и повышения квалификации специалистов соответствующего профиля.

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



С. Г. Котов

канд. техн. наук, начальник управления сопровождения и координации НИОКР Научно-исследовательской части – Главного управления науки, Белорусский государственный университет, г. Минск, Беларусь



О. Д. Навроцкий

старший научный сотрудник НИИ пожарной безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь, г. Минск, Беларусь



Д. С. Котов

магистр физ.-мат. наук, инженер УП “Геоинформационные системы” Национальной академии наук Беларусь, г. Минск, Беларусь

УДК 614.842.615

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕНООБРАЗУЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ РАСТВОРОВ ФТОРИРОВАННЫХ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ

Приведены результаты исследования пленкообразующей и пенообразующей способности составов систем алкилсульфонат – Bayowet FT 948 – вода, алкилсульфонат – Fluowet SA – вода, алкилсульфонат – Bayowet FT 948 – Fluowet SA – вода, алкилсульфонат – Bayowet FT 948 – антифриз – вода, алкилсульфонат – Bayowet FT 948 – Fluowet SA – изопропанол – вода, углеводородное ПАВ – Bayowet FT 948 – изопропанол – вода. Установлены зависимости кратности пены, получаемой на эжекционном пеногенераторе, в зависимости от давления перед генератором. Для систем, содержащих этиленгликоль, пропиленгликоль и изопропиловый спирт, получены зависимости температуры замерзания от концентрации антифриза. Обоснован состав пенообразователя целевого назначения, удовлетворяющий требованиям белорусских и российских нормативных документов по показателю кратности и устойчивости пены, получаемой на пеногенераторах.

Ключевые слова: пенообразователь целевого назначения; изолирующая пленка; пеногенератор; пленкообразующая и пенообразующая способность; кратность и устойчивость пены; температура замерзания; вязкость; температура кристаллизации.

Ранее в [1] были представлены результаты исследования, направленного на выбор основы пенообразователя целевого назначения, позволяющего получать изолирующую пленку на поверхности *n*-гептана.

Как известно [2], пенообразователи целевого назначения должны не только образовывать изолирующую пленку на поверхности нефтепродуктов, но и обладать определенным нормируемым набором физико-химических и эксплуатационных свойств.

Водные рабочие растворы пенообразователей получают с помощью дозирующих устройств, которые обеспечивают смешивание пенообразователя с водой в заданном соотношении. Для нормальной работы этих устройств вязкость пенообразователя не должна превышать 200 мм²/с, а температура замерзания — минус 5 °C [2].

Как было показано в [1], составы системы алкилсульфонат (*Волгонат*) – Bayowet FT 948 – вода с суммарным содержанием поверхностно-активных веществ (ПАВ) до 20 % масс., образующие изоли-

рующую пленку на поверхности нефтепродуктов, имеют вязкость, удовлетворяющую требованиям ГОСТ Р 50588–99 [2]. В то же время для достижения необходимой температуры замерзания, кроме углеводородных и фторированных ПАВ (ФПАВ), составляющих основу пенообразователя, необходимо введение модифицирующих добавок. Как свидетельствуют результаты обзора литературы, для достижения необходимых значений температуры замерзания в состав пенообразователя вводят антифризы. В качестве антифризов в пенообразователях на основе фторированных ПАВ чаще всего используют этиленгликоль, пропиленгликоль, изопропанол, бутилцеллозоль и некоторые другие компоненты [3–5].

С целью получения состава пенообразователя, удовлетворяющего требованиям [2] по показателю температуры замерзания, исследованы составы, содержащие 4 % масс. Bayowet FT 948, 20 % масс. алкилсульфоната (*Волгонат*) и 0–15 % масс. сорасторителя. В качестве сорасторителя выбраны этилен-

Таблица 1. Физико-химические и пленкообразующие свойства составов, содержащих 4 % масс. Bayowet FT 948, 20 % масс. алкилсульфоната и добавки сорастворителя

Модифицирующая добавка, % масс.	Пленкообразование		Вязкость, мм ² /м	Температура кристаллизации, °C	Кратность пены	Устойчивость пены, с
	на <i>n</i> -гептане	на бензине А-76				
Отсутствует	Есть	Есть	17	+1	3,5	220
Этиленгликоль — 5	Есть	Есть	17	-2	4,0	230
Этиленгликоль — 10	Есть	Есть	18	-4	4,0	240
Этиленгликоль — 15	Есть	Есть	18	-7	4,0	235
Пропиленгликоль — 5	Есть	Есть	15	-2	4,0	235
Пропиленгликоль — 10	Есть	Есть	15	-3	4,0	235
Пропиленгликоль — 15	Есть	Есть	15	-6	4,5	245
ИПС — 5	Есть	Есть	16	-3	4,0	250
ИПС — 10	Есть	Есть	16	-6	4,5	270
ИПС — 15	Есть	Есть	15	-9	5,0	310

гликоль, пропиленгликоль и изопропиловый спирт (ИПС). У выбранных для исследования составов определяли: кратность и устойчивость пены, наличие изолирующей пленки на поверхности *n*-гептана и бензина А-76, вязкость и температуру кристаллизации. Результаты исследования представлены в табл. 1.

Как видно из табл. 1, все исследованные составы системы *алкилсульфонат (Волгонат) – Bayowet FT 948 – антифриз – вода* образуют изолирующую пленку на поверхности *n*-гептана и бензина А-76. По показателю вязкости они удовлетворяют требованиям, предъявляемым к пенообразователям целевого назначения [2]. Введение 15 % масс. антифриза позволяет снизить температуру замерзания: пропиленгликоля — до минус 6 °C, этиленгликоля — до минус 7 °C, изопропанола — до минус 9 °C. Практический интерес представляет нахождение математических зависимостей температуры замерзания от концентрации антифриза для исследованных составов системы *алкилсульфонат (Волгонат) – Bayowet FT 948 – антифриз – вода*.

На рис. 1–3 представлены экспериментальные данные и аппроксимирующая линия зависимости температуры замерзания от концентрации антифриза для исследованных составов системы *алкилсульфонат (Волгонат) – Bayowet FT 948 – антифриз – вода*.

Как видно из рис. 1–3, зависимость температуры замерзания от концентрации антифриза для этих составов может быть описана линейным уравнением

$$t_{\text{зам}} = aC + b, \quad (1)$$

где $t_{\text{зам}}$ — температура замерзания, °C;

a, b — эмпирические коэффициенты;

C — концентрация антифриза, % масс.

Очевидно, что зависимости температуры замерзания от концентрации антифриза для исследованных составов системы *алкилсульфонат (Волгонат) – Bayowet FT 948 – антифриз – вода* должны исходить из одной точки, характеризующей температуру замерзания исходного состава системы *алкилсульфонат (Волгонат) – Bayowet FT 948 – вода*. Линейное уравнение, проходящее через заданную точку, имеет вид:

$$t_{\text{зам}} = a(C - C_0) + t_{\text{зам} 0}, \quad (2)$$

где $t_{\text{зам} 0}$ — температура замерзания при концентрации антифриза C_0 .

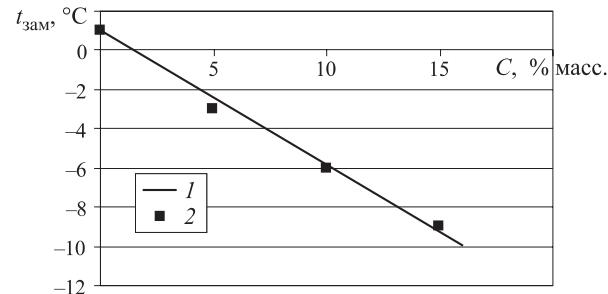


Рис. 1. Зависимость температуры замерзания от концентрации антифриза для исследованных составов системы *алкилсульфонат – Bayowet FT 948 – изопропанол – вода*: 1 — расчетная зависимость $t_{\text{зам}} = 1 - 0,68C$; 2 — экспериментальные значения

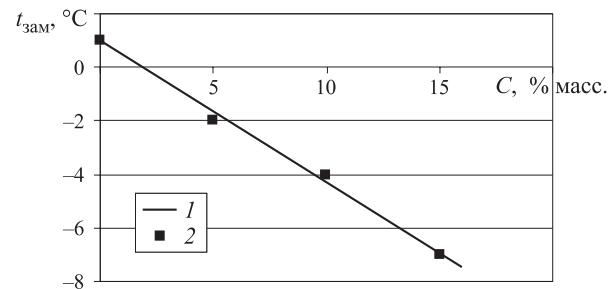


Рис. 2. Зависимость температуры замерзания от концентрации антифриза для исследованных составов системы *алкилсульфонат – Bayowet FT 948 – этиленгликоль – вода*: 1 — расчетная зависимость $t_{\text{зам}} = 1 - 0,53C$; 2 — экспериментальные значения

Bayowet FT 948 – антифриз – вода должны исходить из одной точки, характеризующей температуру замерзания исходного состава системы *алкилсульфонат (Волгонат) – Bayowet FT 948 – вода*. Линейное уравнение, проходящее через заданную точку, имеет вид:

$$t_{\text{зам}} = a(C - C_0) + t_{\text{зам} 0}, \quad (2)$$

где $t_{\text{зам} 0}$ — температура замерзания при концентрации антифриза C_0 .

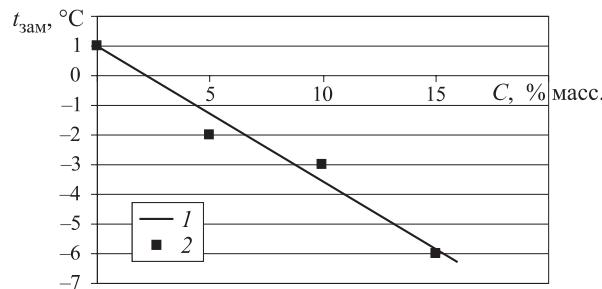


Рис. 3. Зависимость температуры замерзания от концентрации антифриза для исследованных составов системы алкилсульфонат — Bayowet FT 948 — пропиленгликоль — вода: 1 — расчетная зависимость $t_{\text{зам}} = 1 - 0,46C$; 2 — экспериментальные значения

При равноточных измерениях условие минимальной суммы отклонений экспериментальных значений температуры замерзания от расчетных $(\sum_{i=1}^n (t_{\text{зам } i} - t_{\text{зам}})^2 = \sum_{i=1}^n (t_{\text{зам } i} - a(C_i - C_0) + t_{\text{зам } 0})^2)$ имеет вид:

$$\frac{\partial \sum_{i=1}^n (t_{\text{зам } i} - a(C_i - C_0) + t_{\text{зам } 0})^2}{\partial b} = 0. \quad (3)$$

Продифференцировав уравнение (3) по ∂b , привяняв полученное выражение нулю и произведя соответствующие преобразования, получим формулу для нахождения коэффициента a методом наименьших квадратов:

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n t_{\text{зам}} (C_i - C_0) - t_{\text{зам } 0} \sum_{i=1}^n (C_i - C_0)}{\sum_{i=1}^n (C_i - C_0)^2}. \quad (4)$$

Для исследованных составов систем алкилсульфонат (Волгонат) — Bayowet FT 948 — антифриз — вода при отсутствии антифриза ($C_0 = 0$) температура замерзания состава равна 1°C ($t_{\text{зам } 0} = 1$), и уравнение (4) примет вид:

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n t_{\text{зам } i} - \sum_{i=1}^n C_i}{\sum_{i=1}^n C_i^2}. \quad (5)$$

На рис. 1–3 представлены экспериментальные данные и аппроксимирующая линия зависимости температуры замерзания от концентрации антифриза для исследованных составов системы алкилсульфонат (Волгонат) — Bayowet FT 948 — антифриз — вода, рассчитанная в соответствии с уравнением (5). Как видно из рис. 1–3, уравнение (5) удовлетворительно аппроксимирует экспериментальные данные зависимости температуры замерзания от концентрации антифриза.

На основе полученных уравнений можно рассчитать количество антифриза, необходимого для снижения температуры замерзания до минус 5°C , чтобы составы по показателю температуры кристаллизации удовлетворяли требованиям, предъявляемым к пенообразователям целевого назначения [2]. Как показывают расчеты, этого можно достичь введением 8,8 % масс. изопропилового спирта, 11,4 % масс. этиленгликоля или 13,2 % масс. пропиленгликоля в состав, содержащий 4 % масс. Bayowet FT 948 и 20 % масс. алкилсульфоната (Волгонат).

Как видно из табл. 1, составы, содержащие изопропиловый спирт, характеризуются большими значениями кратности и устойчивости пены, получаемой в лабораторных условиях, чем составы с одинаковым содержанием этиленгликоля и пропиленгликоля.

На основании результатов лабораторных исследований в качестве оптимального состава, перспективного для полигонных испытаний, был выбран состав, содержащий 4 % масс. Bayowet FT 948, 20 % масс. алкилсульфоната (Волгонат), 10 % масс. изопропанола, остальное — вода. В табл. 2 приведены физико-химические свойства этого состава, а также данные по соответствию его требованиям [2].

Как видно из табл. 2, состав, содержащий 4 % масс. Bayowet FT 948, 20 % масс. алкилсульфоната (Волгонат), 10 % масс. изопропанола, остальное — вода,

Таблица 2. Физико-химические свойства состава, содержащего 4 % масс. Bayowet FT 948, 20 % масс. алкилсульфоната, 10 % масс. изопропанола, остальное — вода

Параметр	Значение параметра		Соответствие нормативному документу [4, 5]
	нормируемое	экспериментальное	
Внешний вид	Однородная жидкость без осадка		Соответствует
Плотность при 20°C , кг/м ³	Устанавливается разработчиком в ТУ	1,05	То же
Кинематическая вязкость при 20°C , мм ² /с, не более	200	18	«
Температура застывания, $^{\circ}\text{C}$, не выше	-5	-6	«
Водородный показатель (pH)	6,5–10,0	10	«

полностью удовлетворяет по исследуемым параметрам требованиям [2].

Исследование кратности пены, получаемой из этого состава, в полигонных условиях было проведено в соответствии с [2]. При испытании выбранного для исследования состава на воздушно-пенном стволе при давлении 0,6 МПа кратность пены составила 7. В соответствии с требованиями ГОСТ Р 50588–99 [2] при получении пены на воздушно-пенном стволе при давлении 0,6 МПа кратность пены не должна превышать 20. Таким образом, по данному показателю состав, содержащий 4 % масс. Bayowet FT 948, 20 % масс. алкилсульфоната (Волгонат), 10 % масс. изопропанола, остальное — вода, удовлетворяет требованиям [2].

При испытаниях этого состава на эжекционном пеногенераторе средней кратности установлено, что при давлении 0,6 МПа кратность пены равна 33. В то же время в соответствии с требованиями [2] этот показатель при указанном ее давлении должен быть не менее 40. Таким образом, по показателю кратности пены при получении ее на пеногенераторе средней кратности при давлении 0,6 МПа данный состав не удовлетворяет требованиям [2].

Результаты исследования кратности пены, получаемой на эжекционном генераторе, в зависимости от давления перед генератором для состава, содержащего 4 % масс. Bayowet FT 948, 20 % масс. алкилсульфоната (Волгонат), 10 % масс. изопропанола, остальное — вода, приведены на рис. 4, а для состава, содержащего 4 % масс. Bayowet FT 948, 20 % масс. алкилсульфоната (Волгонат), 15 % масс. изопропанола, остальное — вода, — на рис. 5.

Основываясь на литературных данных и рис. 4 и 5, можно сделать вывод, что экспериментальные данные зависимости кратности пены от давления могут быть аппроксимированы кривой, описываемой функцией вида

$$K = K_0 + K_{\max} e^{-(p - p_{\max})/b^2}, \quad (6)$$

где K — кратность пены;

K_0 — минимальная кратность пены;

p — давление перед генератором пены, МПа;

p_{\max} — давление перед генератором пены, МПа, при котором наблюдается максимальная кратность пены K_{\max} .

В областях давлений перед генератором, близких к точке максимума кратности пены, экспериментальные данные зависимости кратности пены от давления могут быть аппроксимированы кривой, описываемой функцией

$$K = ap^2 + bp + c, \quad (7)$$

где K — кратность пены при получении ее на эжекционном генераторе;

a, b, c — эмпирические коэффициенты.

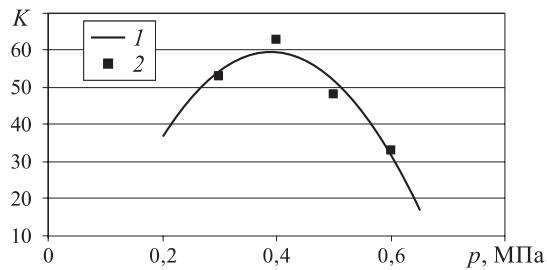


Рис. 4. Зависимость кратности пены, получаемой на эжекционном генераторе, от давления перед генератором для состава, содержащего 4 % масс. Bayowet FT 948, 20 % масс. алкилсульфоната, 10 % масс. изопропанола, остальное — вода: 1 — расчетная зависимость $K = -625p^2 + 487,5p - 35,75$; 2 — экспериментальные значения

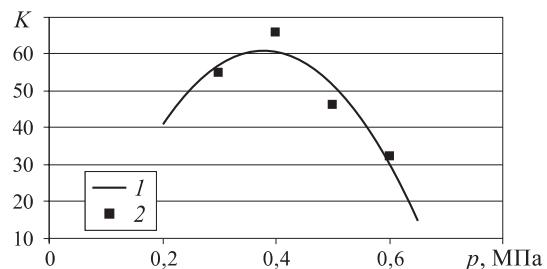


Рис. 5. Зависимость кратности пены, получаемой на эжекционном генераторе, от давления перед генератором для состава, содержащего 4 % масс. Bayowet FT 948, 20 % масс. алкилсульфоната, 15 % масс. изопропанола, остальное — вода: 1 — расчетная зависимость $K = -625p^2 + 473,5p - 28,95$; 2 — экспериментальные значения

В связи с тем что использование аппроксимирующей функции (7) менее трудоемко по сравнению с (6), она применялась в дальнейшем при расчетах зависимости кратности от давления. Согласно принципу наименьших квадратов (или, что то же самое, принципу максимальной вероятности) искомая кривая характеризуется минимумом суммы квадратов отклонений от нее всех экспериментальных точек.

При равноточных измерениях условия минимальной суммы отклонений экспериментальных значений кратности от расчетных для этого случая примут вид:

$$\frac{\partial \sum_{i=1}^n (K_i - ap^2 - bp - c)^2}{\partial a} = 0; \quad (8)$$

$$\frac{\partial \sum_{i=1}^n (K_i - ap^2 - bp - c)^2}{\partial b} = 0; \quad (9)$$

$$\frac{\partial \sum_{i=1}^n (K_i - ap^2 - bp - c)^2}{\partial c} = 0. \quad (10)$$

Продифференцировав уравнения (8)–(10) по ∂a , ∂b и ∂c , приравняв полученное выражение нулю

и произведя соответствующие преобразования, получим формулы для нахождения коэффициентов a , b и c :

$$a = \left[\left(n \sum_{i=1}^n p_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n p_i \right)^2 \right) \left(n \sum_{i=1}^n K_i p_i^2 - \sum_{i=1}^n K_i \sum_{i=1}^n p_i^2 \right) + \left(n \sum_{i=1}^n K_i p_i - \sum_{i=1}^n K_i \sum_{i=1}^n p_i \right) \left(\sum_{i=1}^n p_i \sum_{i=1}^n p_i^2 - n \sum_{i=1}^n p_i^3 \right) \right] \times \times \left[\left(n \sum_{i=1}^n p_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n p_i \right)^2 \right) \left(n \sum_{i=1}^n p_i^4 - \left(\sum_{i=1}^n p_i^2 \right)^2 \right) + \left(\sum_{i=1}^n p_i \sum_{i=1}^n p_i^2 - n \sum_{i=1}^n p_i^3 \right) \left(n \sum_{i=1}^n p_i^3 - \sum_{i=1}^n p_i \sum_{i=1}^n p_i^2 \right) \right]^{-1}; \quad (11)$$

$$b = \left[n \sum_{i=1}^n K_i p_i - \sum_{i=1}^n p_i \sum_{i=1}^n K_i + a \sum_{i=1}^n p_i \sum_{i=1}^n p_i^2 - an \sum_{i=1}^n p_i^3 \right] \left[n \sum_{i=1}^n p_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n p_i \right)^2 \right]^{-1}; \quad (12)$$

$$c = \frac{\sum_{i=1}^n K_i - b \sum_{i=1}^n p_i - a \sum_{i=1}^n p_i^2}{n}. \quad (13)$$

Формулы (11)–(13) позволяют найти эмпирические коэффициенты a , b и c в уравнении (7) методом наименьших квадратов.

Зависимости кратности пены при получении ее на эжекционном генераторе от давления перед генератором вида (7), полученные методом наименьших квадратов, вместе с экспериментальными значениями приведены на рис. 4 и 5. Как видно из этих рисунков, данные математические зависимости кратности пены хорошо аппроксимируют экспериментальные значения.

Проведем анализ полученных математических зависимостей кратности пены. Продифференцировав уравнение (7) по dp , приравняв его нулю и произведя соответствующие преобразования, получим уравнение для нахождения давления перед генератором, при котором наблюдается максимальная кратность пены:

$$p = -b/2a. \quad (14)$$

Подставив (14) в (7) и произведя соответствующие преобразования, получим формулу для расчета максимального значения кратности:

$$K_{\max} = \frac{c - 2b}{4a}. \quad (15)$$

Приравняв кратность пены по уравнению (7) к 40, произведя соответствующие преобразования и найдя корни полученного уравнения, определим интервал давлений, при которых кратность пены, получаемой на эжекционном генераторе из пенообразующих растворов, больше или равна 40, что удовлетворяет требованиям [2].

Таблица 3. Количественные характеристики зависимости кратности пены при получении ее на эжекционном генераторе в зависимости от давления перед генератором из составов системы Bayowet FT 948 – алкилсульфонат – изопропанол – вода

Состав, % масс.	p , МПа	p_{\min} , МПа	p_{\max} , МПа	K_{\max}
Bayowet FT 948 — 4				
Алкилсульфонат — 20	0,39	0,21	0,56	59
Изопропанол — 10				
Вода — Остальное				
Bayowet FT 948 — 4				
Алкилсульфонат — 20	0,38	0,19	0,56	60
Изопропанол — 15				
Вода — Остальное				

Результаты расчетов давления, при котором наблюдается максимальное значение кратности пены K_{\max} , максимальное (p_{\max}) и минимальное (p_{\min}) давления, при которых выполняются требования [2] по кратности пены, приведены в табл. 3.

Как видно из табл. 3, область давлений, при которых кратность пены удовлетворяет требованиям [2], не охватывает значения давления 0,6 МПа, нормируемого данным документом. Увеличение содержания изопропилового спирта с 10 до 15 % масс. не приводит ни к повышению максимального значения кратности пены, ни к расширению области давлений, при которых кратность пены, получаемой на эжекционном генераторе, удовлетворяет требованиям [2].

Таким образом, на основе составов системы Bayowet FT 948 – алкилсульфонат (Волгонат) – изопропанол – вода не удается достигнуть установленных в [2] значений кратности пены при давлении 0,6 МПа.

Как было показано в [1], водные растворы Fluowet SA имеют кратность и устойчивость пены, сопоставимые с кратностью и устойчивостью алкилсульфоната (Волгонат). Показано также, что в системе алкилсульфонат (Волгонат) – Fluowet SA – вода имеются составы, способные образовывать изолирующую пленку на поверхности *n*-гептана, но для этого необходимо, чтобы содержание Fluowet SA было не менее 42 % масс. Последнее обстоятельство делает составы этой системы неперспективными в качестве основы целевого пенообразователя с экономической точки зрения.

Вместе с тем практический интерес представляют составы системы алкилсульфонат (Волгонат) – Bayowet FT 948 – Fluowet SA – вода, содержащие 20 % масс. алкилсульфоната и 4 % масс. фторированных ПАВ.

Исследованию этих составов предшествовало исследование составов системы алкилсульфонат (Волгонат) – Fluowet SA – вода, содержащих 4 % масс. Fluowet SA, 20 % масс. алкилсульфоната (Волгонат) и 0–15 % масс. сорасторителя. В качестве сораст-

ворителя в данном случае, как и для составов системы *алкилсульфонат (Волгонат) – Bayowet FT 948 – вода*, были выбраны этиленгликоль, пропиленгликоль и изопропиловый спирт. У выбранных для исследования составов, как и для составов системы *алкилсульфонат (Волгонат) – Bayowet FT 948 – вода*, определяли: кратность и устойчивость пены, наличие изолирующей пленки на поверхности *n*-гептана и бензина А-76, вязкость и температуру кристаллизации. Результаты исследования представлены в табл. 4.

Как видно из табл. 4, все исследованные составы системы *алкилсульфонат (Волгонат) – Fluowet SA – антифриз – вода* по показателю вязкости удовлетворяют требованиям, предъявляемым к пеногенераторам целевого назначения [2]. Введение 15 % масс. антифриза позволяет снизить температуру замерзания: пропиленгликоля — до минус 6 °C, этиленгликоля — до минус 7 °C, изопропанола — до минус 9 °C. Кроме того, зависимости температуры замерзания от концентрации антифриза для исследованных составов системы *алкилсульфонат (Волгонат) – Fluowet SA – антифриз – вода* такие же, как и для системы *алкилсульфонат (Волгонат) – Bayowet FT 948 – вода*.

Сопоставление данных табл. 1 и 4 по кратности и устойчивости пены, получаемой в лабораторных условиях из составов систем *алкилсульфонат (Волгонат) – Bayowet FT 948 – антифриз – вода* и *алкилсульфонат (Волгонат) – Fluowet SA – антифриз –*

вода, свидетельствует о том, что в последнем случае эти показатели существенно выше. Вместе с тем все исследованные составы системы *алкилсульфонат (Волгонат) – Fluowet SA – антифриз – вода* не образуют изолирующей пленки на поверхности *n*-гептана и бензина А-76.

Исследование кратности пены в полигонных условиях проведено в соответствии с [2] на воздушно-пенном стволе и пеногенераторе пены средней кратности для двух составов: 4 % масс. Fluowet SA, 20 % масс. алкилсульфоната (Волгонат), 10 % масс. изопропанола, остальное — вода и 4 % масс. Fluowet SA, 20 % масс. алкилсульфоната (Волгонат), 15 % масс. изопропанола, остальное — вода.

При испытаниях выбранных для исследования составов на воздушно-пенном стволе при давлении 0,6 МПа кратность пены, получаемой из них, составила соответственно 8 и 10. Таким образом, по данному показателю оба этих состава удовлетворяют требованиям [2].

Зависимости кратности пены, получаемой на эжекционном генераторе, от давления перед генератором вида (7), полученные методом наименьших квадратов, вместе с экспериментальными значениями для состава, содержащего 4 % масс. Fluowet SA, 20 % масс. алкилсульфоната (Волгонат), 10 % масс. изопропанола, остальное — вода, приведены на рис. 6, а для состава, содержащего 4 % масс. Fluowet SA, 20 % масс. алкилсульфоната, 15 % масс. изопропанола, остальное — вода, — на рис. 7. Как видно

Таблица 4. Физико-химические и пленкообразующие свойства составов, содержащих 4 % масс. Fluowet SA, 20 % масс. алкилсульфоната и добавки сорасторовителя

Модифицирующая добавка, % масс.	Пленкообразование		Вязкость, мм ² /м	Температура кристаллизации, °C	Кратность пены	Устойчивость пены, с
	на <i>n</i> -гептане	на бензине А-76				
Отсутствует	Нет	Нет	4	+1	6,5	400
Этиленгликоль — 5	Нет	Нет	4	-2	7,0	400
Этиленгликоль — 10	Нет	Нет	5	-4	7,5	410
Этиленгликоль — 15	Нет	Нет	5	-7	8,0	410
Пропиленгликоль — 5	Нет	Нет	5	-2	7,5	405
Пропиленгликоль — 10	Нет	Нет	5	-3	7,5	410
Пропиленгликоль — 15	Нет	Нет	5	-6	8,0	410
ИПС — 5	Нет	Нет	5	-3	7,5	400
ИПС — 10	Нет	Нет	5	-6	8,0	410
ИПС — 15	Нет	Нет	5	-9	8,5	410

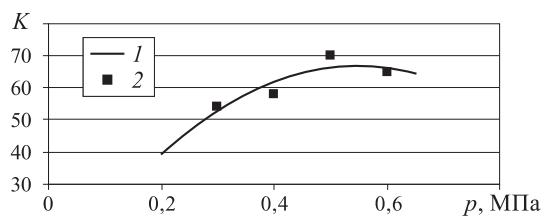


Рис. 6. Зависимость кратности пены, получаемой на эжекционном генераторе, от давления перед генератором для состава, содержащего 4 % масс. Fluowet SA, 20 % масс. алкилсульфоната, 10 % масс. изопропанола, остальное — вода: 1 — расчетная зависимость $K = -225p^2 + 247,5p - 1,25$; 2 — экспериментальные значения

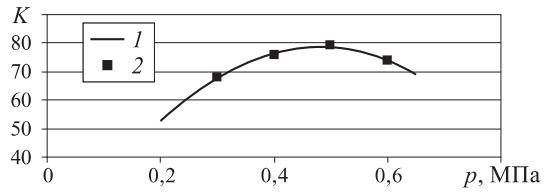


Рис. 7. Зависимость кратности пены, получаемой на эжекционном генераторе, от давления перед генератором для состава, содержащего 4 % масс. Fluowet SA, 20 % масс. алкилсульфоната, 15 % масс. изопропанола, остальное — вода: 1 — расчетная зависимость $K = -325p^2 + 313,5p + 3,05$; 2 — экспериментальные значения

из этих рисунков, полученные уравнения хорошо аппроксимируют экспериментальные значения зависимости кратности пены, получаемой на эжекционном генераторе, от давления перед генератором.

Результаты расчетов давления p , при котором наблюдается максимальное значение кратности пены K_{\max} , максимальное (p_{\max}) и минимальное (p_{\min}) давления, при которых выполняются требования [2] по кратности, приведены в табл. 5. Как видно из табл. 5, область давлений, при которых кратность пены удовлетворяет требованиям [2], охватывает значение давления 0,6 МПа, нормируемое данным документом. Увеличение содержания изопропилового спирта с 10 до 15 % масс. практически не приводит к расширению области давлений, при которых кратность пены, получаемой на эжекционном генераторе, удовлетворяет требованиям [2], и к изменению давления, при котором наблюдается максимум пенообразования, но приводит к росту максимального значения кратности пены.

Таким образом, эти составы системы алкилсульфонат (Волгонат) – Fluowet SA – антифриз – вода по своим свойствам удовлетворяют требованиям [2], но не образуют изолирующей пленки на поверхности *n*-гептана и бензина А-76.

С целью получения пленкообразующего пеногенератора, удовлетворяющего требованиям [2], в том числе и по кратности пены, проведено исследование составов системы алкилсульфонат (Волгонат) – Bayowet FT 948 – Fluowet SA – вода, содержащих 20 % масс. алкилсульфоната (Волгонат) и 4 % масс. фторированных ПАВ.

Значения поверхностного натяжения растворов систем алкилсульфонат (Волгонат) – Bayowet FT 948 – вода и алкилсульфонат (Волгонат) – Fluowet SA – вода, содержащих 20 % масс. алкилсульфоната (Волгонат) и 4 % масс. фторированного ПАВ, при различных значениях водородного показателя приведены в табл. 6.

Как видно из табл. 6, с увеличением pH с 7 до 10 поверхностное натяжение раствора состава, содержащего 20 % масс. алкилсульфоната (Волгонат), 4 % масс. Bayowet FT 948, остальное – вода, существенно снижается – с 20,6 до 17,5 мН/м. Напротив, для состава, содержащего 20 % масс. алкилсульфоната, 4 % масс. Fluowet SA, остальное – вода, поверхностное натяжение растворов не изменяется с ростом pH. При этом поверхностное натяжение состава системы алкилсульфонат (Волгонат) – Bayowet FT 948 – вода меньше или равно поверхностному натяжению системы алкилсульфонат (Волгонат) – Fluowet SA – вода.

Зависимости поверхностного натяжения от pH для составов системы алкилсульфонат (Волгонат) – Bayowet FT 948 – Fluowet SA – вода, содержащих

Таблица 5. Качественные характеристики зависимости кратности пены при получении ее на эжекционном генераторе в зависимости от давления перед генератором из составов системы Fluowet SA – алкилсульфонат – изопропанол – вода

Состав, % масс.	p , МПа	P_{\min} , МПа	P_{\max} , МПа	K_{\max}
Fluowet SA – 4				
Алкилсульфонат – 20	0,55	0,20	0,90	67
Изопропанол – 10				
Вода – Остальное				
Fluowet SA – 4				
Алкилсульфонат – 20	0,48	0,14	0,83	79
Изопропанол – 15				
Вода – Остальное				

Таблица 6. Поверхностное натяжение растворов систем алкилсульфонат – Bayowet FT 948 – вода и алкилсульфонат – Fluowet SA – вода, содержащих 20 % масс. алкилсульфоната и 4 % масс. фторированного ПАВ, при различных значениях pH

pH	Поверхностное натяжение, мН/м, состава	
	алкилсульфонат – Bayowet FT 948 – вода	алкилсульфонат – Fluowet SA – вода
7	20,6	20,4
8	20,0	20,6
9	19,3	20,2
10	17,5	20,6

20 % масс. алкилсульфоната (Волгонат) и 4 % масс. фторированного ПАВ, при различных соотношениях Bayowet FT 948 и Fluowet SA приведены на рис. 8–10.

Как видно из рис. 8–10, характер зависимости поверхностного натяжения от pH для всех исследованных составов данной системы одинаков и принципиально отличается от зависимостей поверхностного натяжения от pH как для состава, содержащего 20 % масс. алкилсульфоната (Волгонат), 4 % масс. Fluowet SA, остальное – вода. Эти зависимости характеризуются наличием мини-

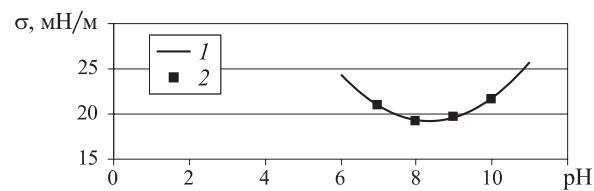


Рис. 8. Зависимость поверхностного натяжения раствора от pH для состава, содержащего 20 % масс. алкилсульфоната, 3 % масс. Bayowet FT 948, 1 % масс. Fluowet SA, остальное – вода: 1 – расчетная зависимость $\sigma = 0,925pH^2 - 15,455pH + 83,705$; 2 – экспериментальные значения

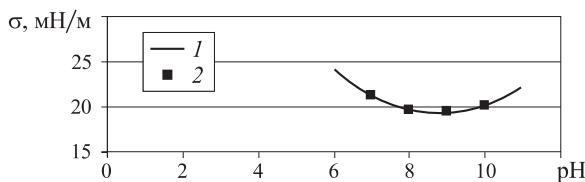


Рис. 9. Зависимость поверхностного натяжения раствора от pH для состава, содержащего 20 % масс. алкилсульфоната, 2 % масс. Bayowet FT 948, 2 % масс. Fluowet SA, остальное — вода: 1 — расчетная зависимость $\sigma = 0,575pH^2 - 10,165pH + 64,265$; 2 — экспериментальные значения

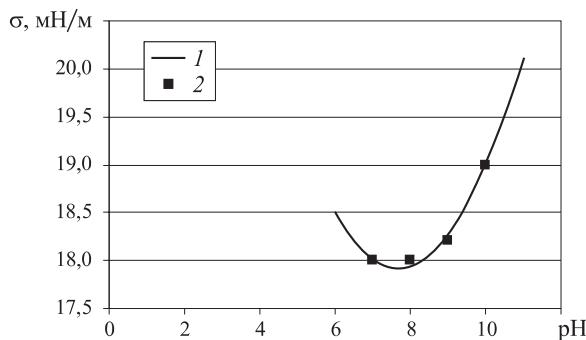


Рис. 10. Зависимость поверхностного натяжения раствора от pH для состава, содержащего 20 % масс. алкилсульфоната, 1 % масс. Bayowet FT 948, 3 % масс. Fluowet SA, остальное — вода: 1 — расчетная зависимость $\sigma = 0,2pH^2 - 3,08pH + 29,78$; 2 — экспериментальные значения

мума. Минимальные значения поверхностного натяжения при всех значениях pH наблюдаются при соотношении Bayowet FT 948: Fluowet SA, равном 1:3.

Математические зависимости поверхностного натяжения от pH вида

$$\sigma = a \cdot pH^2 + b \cdot pH + c, \quad (16)$$

полученные методом наименьших квадратов, а также экспериментальные значения приведены на рис. 8–10. Как видно из этих рисунков, данные математические зависимости хорошо аппроксимируют экспериментальные значения.

Результаты расчетов pH, при котором наблюдается минимальное значение поверхностного натяжения σ_{\min} , максимальное (pH_{max}) и минимальное (pH_{min}) значения водородного показателя, при которых выполняется условие $\sigma \leq 18,0 \text{ мН/м}$, приведены в табл. 7.

Как видно из табл. 7, поверхностное натяжение не более 18 мН/м имеет состав, содержащий 20 % масс. алкилсульфоната (Волгонат), 1 % масс. Bayowet FT 948, 3 % масс. Fluowet SA, остальное — вода, при pH от 7,1 до 8,3.

На основании результатов определения поверхностного натяжения для исследования минимальной концентрации ФПАВ в системе алкилсульфонат (Волгонат) — Bayowet FT 948 — Fluowet SA — изопро-

Таблица 7. Характеристики поверхностного натяжения для составов системы алкилсульфонат — Bayowet FT 948 — Fluowet SA — вода при различных значениях pH

Состав, % масс.	pH	$\sigma_{\min}, \text{мН/м}$	pH _{min}	pH _{max}
Bayowet FT 948 — 3 Алкилсульфонат — 20 Fluowet SA — 1 Вода — Остальное	8,4	19,1	—	—
Bayowet FT 948 — 2 Алкилсульфонат — 20 Fluowet SA — 2 Вода — Остальное	8,8	19,3	—	—
Bayowet FT 948 — 1 Алкилсульфонат — 20 Fluowet SA — 3 Вода — Остальное	7,7	17,9	7,1	8,3

Таблица 8. Результаты исследования пленкообразующей и изолирующей способности составов системы алкилсульфонат — Bayowet FT 948 — Fluowet SA — изопропиловый спирт — вода

Суммарное содержание ФПАВ, масс. %	pH	Наличие изолирующей пленки на поверхности <i>n</i> -гептана		
		Опыт 1	Опыт 2	Опыт 3
0,2	7	Нет	Нет	Нет
0,3	7	Нет	Нет	Нет
0,4	7	Есть	Есть	Есть
0,2	8	Нет	Нет	Нет
0,3	8	Нет	Нет	Нет
0,4	8	Есть	Есть	Есть
0,2	9	Нет	Нет	Нет
0,4	9	Нет	Нет	Нет
0,8	9	Нет	Нет	Нет

пиловый спирт — вода, необходимой для образования изолирующей пленки на поверхности *n*-гептана, были выбраны растворы, содержащие 1 % масс. алкилсульфоната (Волгонат), 0,5 % масс. изопропилового спирта и 0,2–0,8 % масс. фторированных ПАВ (при соотношении Bayowet FT 948 : Fluowet SA, равном 1:3).

Результаты исследования пленкообразующей и изолирующей способности выбранных для исследования составов системы алкилсульфонат (Волгонат) — Bayowet FT 948 — Fluowet SA — изопропиловый спирт — вода на поверхности *n*-гептана приведены в табл. 8.

Как видно из табл. 8, образование изолирующей пленки на поверхности *n*-гептана наблюдается при pH = 7...8, что согласуется с данными табл. 7. При этих значениях водородного показателя минимальное суммарное содержание фторированных ПАВ,

при котором наблюдается образование изолирующей пленки, равно 0,4 % масс. При $\text{pH} = 9$ изолирующая пленка на поверхности *n*-гептана не образуется даже при суммарном содержании фторированных ПАВ 0,8 % масс.

На основании результатов исследования способности пленкообразования на поверхности *n*-гептана рабочими растворами системы *алкилсульфонат (Волгонат) – Bayowet FT 948 – Fluowet SA – изопропиловый спирт – вода* был определен состав для нахождения кратности и устойчивости пены. Для проведения исследований показателей кратности и устойчивости пены в данной системе был выбран состав, содержащий 20 % масс. алкилсульфоната (Волгонат), 10 % масс. изопропанола, 2 % масс. Bayowet FT 948, 6 % масс. Fluowet SA, остальное — вода.

Результаты исследования для указанного состава кратности пены, получаемой на пеногенераторе средней кратности, в зависимости от давления перед генератором приведены на рис. 11. При испытаниях этого состава на эжекционном генераторе также установлено, что при давлении 0,3–0,6 МПа устойчивость пены составляет более 600 с, что удовлетворяет требованиям [2].

На рис. 11, наряду с экспериментальными значениями, приведена аппроксимирующая кривая вида (7) зависимости кратности пены от давления перед генератором, полученная методом наименьших квадратов. Как видно из рисунка, данная аппроксимирующая кривая хорошо описывает экспериментальные данные.

Анализ полученной математической зависимости показал, что максимальное значение кратности пены ($K_{\max} = 57$) наблюдается при давлении 0,32 МПа. Значение кратности пены не менее 40 наблюдается в области давлений от 0,08 до 0,56 МПа, т. е. область давлений, при которых кратность пены удовлетворяет требованиям [2], не охватывает значения давления 0,6 МПа, нормируемого этим документом.

Сравнение данных табл. 3 с полученными значениями для состава, содержащего 20 % масс. алкилсульфоната (Волгонат), 10 % масс. изопропанола, 2 % масс. Bayowet FT 948, 6 % масс. Fluowet SA, остальное — вода, свидетельствует о том, что в системе *алкилсульфонат (Волгонат) – Bayowet FT 948 – Fluowet SA – изопропиловый спирт – вода* максимальное давление, при котором выполняются требования [2] по кратности, такое же, как и в системе *алкилсульфонат (Волгонат) – Bayowet FT 948 – изопропиловый спирт – вода*.

На рис. 12 приведены результаты исследования кратности пены, получаемой на пеногенераторе средней кратности, в зависимости от давления перед генератором для состава, содержащего 20 % масс. алкилсульфоната (Волгонат), 10 % масс. изопропанола,

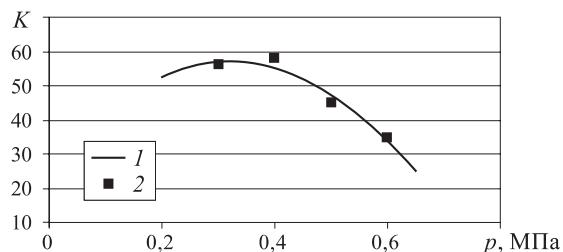


Рис. 11. Зависимость кратности пены, получаемой на эжекционном генераторе, от давления перед генератором для состава, содержащего 20 % масс. алкилсульфоната, 10 % масс. изопропанола, 2 % масс. Bayowet FT 948, 6 % масс. Fluowet SA, остальное — вода: 1 — расчетная зависимость $K = -300p^2 + 194p + 25,7$; 2 — экспериментальные значения

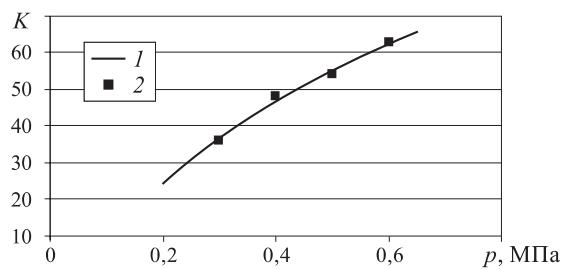


Рис. 12. Зависимость кратности пены, получаемой на эжекционном генераторе, от давления перед генератором для состава, содержащего 20 % масс. алкилсульфоната, 10 % масс. изопропанола, остальное — вода: 1 — расчетная зависимость $K = -75p^2 + 154,5p - 3,15$; 2 — экспериментальные значения

остальное — вода. Анализ полученных данных показал, что максимальная кратность пены ($K_{\max} = 76$) наблюдается при давлении 1,0 МПа, кратность пены не менее 40 — в области давлений от 0,33 до 1,7 МПа.

Сравнение данных табл. 3 для состава, содержащего 20 % масс. алкилсульфоната (Волгонат), 10 % масс. изопропанола, 4 % масс. Bayowet FT 948, остальное — вода, и для состава, содержащего 20 % масс. алкилсульфоната (Волгонат), 10 % масс. изопропанола, 2 % масс. Bayowet FT 948, 6 % масс. Fluowet SA, остальное — вода, с данными для состава, содержащего 20 % масс. алкилсульфоната (Волгонат), 10 % масс. изопропанола, 2 % масс. Fluowet SA, остальное — вода, свидетельствует о том, что, с одной стороны, фторированные ПАВ в указанных количествах позволяют получить изолирующую пленку на поверхности *n*-гептана, а с другой — являются пеногасителями. Это обуславливает, во-первых, снижение максимальной кратности; во-вторых, смешение давления, при котором наблюдается максимум пенообразования, в область более низких давлений; в-третьих, наиболее сильное снижение кратности при высоком давлении и, как следствие, существенное понижение максимального давления, при котором кратность пены составляет не менее 40.

Таким образом, на основе составов системы алкилсульфонат (Волгонат) – Bayowet FT 948 – Fluowet SA – изопропиловый спирт – вода не удается достигнуть установленных в [2] значений кратности пены при давлении 0,6 МПа.

Как показано выше, Bayowet FT 948 и Fluowet SA, способствуя образованию изолирующей пленки на поверхности *n*-гептана, являются пеногасителями. В связи с этим была предпринята попытка получить пенообразователь специального назначения в системе углеводородное ПАВ – Bayowet FT 948 – изопропанол – вода путем подбора углеводородного ПАВ с более высокой пенообразующей способностью при получении пены на эжекционном генераторе, чем у алкилсульфоната (Волгонат).

Исследование составов системы углеводородное ПАВ – Bayowet FT 948 – изопропанол – вода предшествовало исследование кратности пены, получаемой на эжекционном генераторе, для составов системы углеводородное ПАВ – изопропанол – вода, содержащих 25 % масс. углеводородного ПАВ, 15 % масс. изопропилового спирта, остальное – вода. В качестве углеводородного ПАВ использовались: алкилсульфонат (Волгонат), алкилсульфонат AS-95, алкилсульфосукцинат, алкилсульфоэтокилат и алкилсульфат.

Результаты исследования кратности пены, получаемой на эжекционном генераторе при давлении 0,6 МПа, для 3 и 6 %-ных растворов составов, содержащих 25 % масс. углеводородного ПАВ, 15 % масс. изопропилового спирта, остальное – вода, системы углеводородное ПАВ – изопропанол – вода приведены в табл. 9.

Из табл. 9 видно, что наибольшей кратностью пены ($K = 96$), получаемой на эжекционном генераторе при давлении 0,6 МПа, характеризуются 6 %-ные растворы составов, содержащих 25 % масс. алкилсульфата, 15 % масс. изопропилового спирта, остальное – вода. Среди 3 %-ных рабочих растворов пенообразователя наибольшей кратностью пены ($K = 94$), получаемой на эжекционном генераторе при давлении 0,6 МПа, характеризуется состав, содержащий 25 % масс. алкилсульфоната AS-95, 15 % масс. изопропилового спирта, остальное – вода.

На основании результатов исследования кратности пены, получаемой на эжекционном генераторе при давлении 0,6 МПа, составов системы углеводородное ПАВ – Bayowet FT 948 – изопропанол – вода для исследования кратности пены на соответствие требованиям [2] был выбран состав, содержащий 20 % масс. алкилсульфоната AS-95, 10 % масс. изопропанола, 4 % масс. Bayowet FT 948, остальное – вода.

На рис. 13 представлены результаты исследования для этого состава кратности пены, получаемой

Таблица 9. Результаты исследования кратности пены, получаемой на эжекционном генераторе при давлении 0,6 МПа, для 3 и 6 %-ных растворов составов системы углеводородное ПАВ – изопропанол – вода

Углеводородное ПАВ	Концентрация пенообразующего состава в рабочем растворе, % об.	Кратность пены, получаемой на генераторе средней кратности
Алкилсульфосукцинат	6	25
Алкилсульфоэтокилат	6	35
Алкилсульфонат	6	65
Алкилсульфат	3	81
	6	96
Алкилсульфонат AS-95	3	94
	6	85

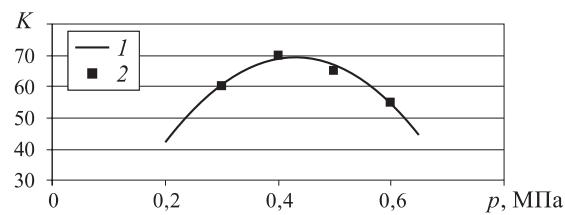


Рис. 13. Зависимость кратности пены, получаемой на эжекционном генераторе, от давления перед генератором для состава, содержащего 20 % масс. алкилсульфоната AS-95, 10 % масс. изопропанола, 4 % масс. Bayowet FT 948, остальное – вода: 1 – расчетная зависимость $K = -500p^2 + 430p - 23,5$; 2 – экспериментальные значения

на пеногенераторе средней кратности, в зависимости от давления перед генератором. Там же приведена математическая зависимость кратности пены при получении ее на эжекционном генераторе от давления перед генератором вида (6), полученная методом наименьших квадратов.

Из рис. 13 видно, что аппроксимирующая кривая хорошо описывает экспериментальные данные зависимости кратности пены, получаемой на пеногенераторе средней кратности, от давления перед генератором.

Анализ полученной зависимости кратности пены от давления для состава, содержащего 20 % масс. алкилсульфоната AS-95, 10 % масс. изопропанола, 4 % масс. Bayowet FT 948, остальное – вода, показал: максимальная кратность пены ($K_{\max} = 69$) наблюдается при давлении 0,43 МПа; кратность пены не менее 40 – в области давлений от 0,19 до 0,67 МПа. Таким образом, область давлений, при которых кратность пены удовлетворяет требованиям [2], охватывает значение давления 0,6 МПа, нормируемое этим документом.

При испытаниях этого состава на эжекционном генераторе также установлено, что при давлении 0,3–0,6 МПа устойчивость пены составляет более 600 с, что удовлетворяет требованиям [2]. Таким образом, состав, содержащий 20 % масс. алкилсуль-

фоната AS-95, 10 % масс. изопропанола, 4 % масс. Bayowet FT 948, остальное — вода, удовлетворяет требованиям [2] по показателю кратности и устойчивости пены при получении ее на пеногенераторе средней кратности при давлении 0,6 МПа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Котов С. Г., Навроцкий О. Д., Котов Д. С. Исследование пленкообразующей и изолирующей способности растворов фторированных поверхностно-активных веществ // Пожаровзрывобезопасность. — 2011. — Т. 20, № 5. — С. 25–35.
2. СТБ ГОСТ Р 50588–99. Пенообразователи для тушения пожаров. Общие технические требования и методы испытаний : введ. 01.07.2000. — Минск : Госстандарт, 2000. — 18 с.
3. Шароварников А. Ф. Противопожарные пены. Состав, свойства, применение. — М. : Знак, 2000. — 464 с.
4. А. с. 1319362 СССР. МКИ5 А 62 D ½. Универсальный пенный пленкообразующий состав для пожаротушения / Плетнев М. Ю., Власенко И. Г., Иванова Н. Б. и др. — Опубл. 15.10.92. — Бюлл. № 38.
5. Пат. 4S36298, США. МКИ А 62 D 1/04, НКИ 252/8.05. Aqueous foam fire extinguisher / Kamei M., Endo T., Hashimoto Y. — Опубл. 20.08.85.

*Материал поступил в редакцию 17 мая 2011 г.
Электронные адреса авторов: kotovsg@bsu.by; kotov_sergei@rambler.ru;
oleg.navrotsky@tut.by; niipb@mail.by; viscount.d@gmail.com.*



Издательство «ПОЖНАУКА»

Представляет книгу

ОГНЕТУШИТЕЛИ. УСТРОЙСТВО. ВЫБОР. ПРИМЕНЕНИЕ

Д. А. Корольченко, В. Ю. Громовой



В учебном пособии приведены классификация огнетушителей и конструкции основных их типов, средства тушения, используемые для зарядки огнетушителей, виды огнетушителей и правила их применения для ликвидации загораний различных веществ, рекомендации по расчету необходимого количества огнетушителей для разных объектов, по их размещению, хранению и техническому обслуживанию.

Рекомендации, содержащиеся в книге, разработаны на основе современных нормативных документов, регламентирующих конструкцию, условия применения, правила эксплуатации и технического обслуживания огнетушителей.

Учебное пособие рассчитано на широкий круг читателей: инженерно-технических работников предприятий и организаций, ответственных за оснащение объектов огнетушителями, поддержание их в работоспособном состоянии и своевременную перезарядку; преподавателей курсов пожарно-технического минимума и дисциплины "Основы безопасности жизнедеятельности" в средних и высших учебных заведениях; частных лиц, выбирающих огнетушитель для обеспечения безопасности квартиры, дачи или автомобиля.

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



ООО “Издательство “Пожнаука”
121352, г. Москва, а/я 43
тел./факс: (495) 228-09-03, 737-65-74
e-mail: mail@firepress.ru, izdat_pozhnauka@mail.ru
<http://www.firepress.ru>

УВАЖАЕМЫЕ КОЛЛЕГИ!

ООО “Издательство “Пожнаука” более 15 лет успешно работает в области информационного обеспечения. На страницах выпускаемой нами учебной, справочной, нормативной и научно-практической литературы публикуется информация для высококвалифицированных специалистов и руководителей. В наших изданиях Вы можете разместить сведения о продукции и услугах, предоставляемых Вашим предприятием.

Научно-техническая литература и периодика, выпускаемые ООО “Издательство “Пожнаука”, распространяются по всей территории Российской Федерации, в странах СНГ, Балтии и в ряде зарубежных стран.

Специализированный журнал “Пожаровзрывобезопасность”

Издается с 1992 г. Периодичность — 12 номеров в год. С октября 2001 г. журнал включен в Перечень периодических научных и научно-технических изданий РФ, рекомендуемых для публикации основных результатов диссертаций на соискание ученой степени доктора наук. В статьях журнала рассматриваются теоретические вопросы и способы практического обеспечения пожарной безопасности зданий и сооружений, технологических процессов и оборудования.

Журнал “Пожарная безопасность в строительстве”

Издается с декабря 2004 г. Полноцветное рекламное научно-практическое издание. Публикует статьи рекламного и аналитического характера, модельный ряд, справочник по фирмам-производителям и услугам. Тематика Приложения посвящена проблемам комплексной безопасности строительных объектов, включая огнестойкость материалов и конструкций, пожаро- и взрывоустойчивость зданий и сооружений, новым технологическим решениям в области пожарной автоматики и сигнализации, а также проблемам сертификации и стандартизации.

Виды рекламы в журнале “Пожаровзрывобезопасность” и расценки на ее размещение

1. Реклама на обложке (полноцветная):
2-я полоса — 28 000 руб. + 1 черно-белая полоса бесплатно;
3-я полоса — 25 000 руб. + 1 черно-белая полоса бесплатно;
4-я полоса — 35 000 руб. + 2 черно-белых полосы бесплатно.
2. Рекламная статья: 1/1 черно-белой полосы — 15 000 руб.
3. Статья обзорно-аналитического, проблемного, научно-технического характера — бесплатно.
4. Рекламные вклейки:

Размер модуля	Стоимость полноцветного модуля, руб.
1/1 полосы (215 × 300 мм)	28 000
1/2 полосы (190 × 137 мм)	15 000

5. Реклама справочного характера (название компании, контактные данные, перечень предлагаемых услуг и продукции — 500 печатных знаков) — 2300 руб.

Тираж: 5000 экз.

Спецпредложение!

Для наших рекламодателей мы предоставляем возможность бесплатного распространения буклетов и листовок на выставках в г. Москве, в которых данный номер журнала будет принимать участие.

**ПРЕДЛАГАЕМ ВАМ СЛЕДУЮЩИЕ ИЗДАНИЯ
В СФЕРЕ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

Июль 2011 г.

Авторы	Наименование	ISBN	Цена, руб./экз.
НОВИНКИ			
Книги написаны с учетом требований Федерального закона № 123-ФЗ “Технический регламент о требованиях пожарной безопасности”!			
	Своды правил. Системы противопожарной защиты. — 2009. — 618 с.	Электронная версия	500
	Федеральный закон “Технический регламент о требованиях пожарной безопасности”. — 2010. — 150 с.		220
Антоненко А. А., Буцынская Т. А., Членов А. Н.	Основы эксплуатации систем комплексного обеспечения безопасности объектов: учебно-справочное пособие. — 2010. — 220 с.	978-5-91444-017-3	380
Бабуров В.П., Бабурин В.В., Фомин В.И.	Автоматические установки пожаротушения: учебно-справочное пособие. — 2010.	Готовится к выпуску	
Корольченко А. Я.	Пожарная опасность материалов для строительства: учебное пособие. — 2009. — 217 с.	978-5-91444-013-5	350
Корольченко А. Я., Загорский Д. О.	Категорирование помещений и зданий по взрыво-пожарной и пожарной опасности. — 2010. — 118 с.	978-5-91444-015-9	250
Корольченко А. Я., Корольченко Д. А.	Основы пожарной безопасности предприятия. Полный курс пожарно-технического минимума: учебное пособие. — 2011. — 320 с.	978-5-91444-021-X	350
Корольченко А. Я., Корольченко О. Н.	Средства огне- и биозащиты. — Изд. 3-е, перераб. и доп. — 2010. — 250 с.	БЕСПЛАТНО	
Корольченко Д. А., Громовой В. Ю.	Огнетушители. Устройство. Выбор. Применение. — 2010. — 94 с.	978-5-91444-014-02	140
Пилигин Л. П.	Прогнозирование последствий внутренних аварийных взрывов. — 2010. — 380 с.	978-5-91444-016-6	450
Смелков Г. И.	Пожарная безопасность электропроводок. — 2009. — 328 с.	978-5-9901554-2-8	540
Черкасов В. Н., Зыков В. И.	Обеспечение пожарной безопасности электроустановок: ученое пособие. — 2010. — 430 с.	978-5-91444-020-3	470
Членов А. Н., Буцынская Т. А., Дровникова И. Г., Бабуров В. П., Бабурин В. В., Фомин В. И.	Технические средства систем охранной и пожарной сигнализации: учебно-справочное пособие: в 2 ч. — 2009. — Ч. 1. — 316 с.; Ч. 2. — 300 с.	978-5-91444-008-1	950
СУПЕРСКИДКИ			
Собурь С. В.	Заполнение проемов в противопожарных преградах: пособие. — Изд. 2-е, с изм. и доп. — 2006. — 168 с.	5-98629-005-4	90
Собурь С. В.	Пожарная безопасность: справочник. — Изд. 2-е, с изм. — 2005. — 292 с.	5-98629-001-1	50
Собурь С. В.	Пожарная безопасность сельскохозяйственных предприятий: справочник. — 2005. — 88 с.	5-98629-004-6	36
Собурь С. В.	Установки пожарной сигнализации: учебно-справочное пособие. — Изд. 5-е, с изм. и доп. — 2006. — 280 с.	5-98629-003-8	150
Собурь С. В.	Установки пожаротушения автоматические: справочник. — Изд. 4-е, с изм. — 2004. — 408 с.: ил.	5-98629-008-9	50

Авторы	Наименование	ISBN	Цена, руб./экз.
Теребнев В. В., Артемьев Н. С., Грачев В. А.	Транспорт: наземный, морской, речной, воздушный, метро: учебное пособие. — 2007. — 383 с.	5-903049-09-5	220
Теребнев В. В., Артемьев Н. С., Подгрушиный А. В.	Леса, торфяники, лесосклады. — 2007. — 358 с.	5-903049-12-5	220
Теребнев В. В., Артемьев Н. С., Подгрушиный А. В.	Объекты добычи, переработки и хранения горючих жидкостей и газов: учебное пособие. — 2007. — 325 с.	5-903049-11-7	220
Шароварников А. Ф., Шароварников С. А.	Пенообразователи и пены для тушения пожаров. Состав. Свойства. Применение. — 2005. — 335 с.	5-903049-02-X	120
Бондарь В. А.	Электрооборудование для взрывоопасных и пожароопасных зон производств различных отраслей промышленности. — 2009. — 126 с.	978-5-91444-004-3	220
Брушлинский Н. Н., Корольченко А. Я.	Моделирование пожаров и взрывов. — 2000. — 492 с.		540
Грачев В. А., Поповский Д. В., Теребнев В. В.	Газодымозащитная служба: учебно-методическое пособие. — Изд. 2-е, перераб. и доп. — 2009. — 328 с.	978-5-91444-007-4	350
Грачев В. А., Собурь С. В.	Средства индивидуальной защиты органов дыхания (СИЗОД): пособие. — Изд. 2-е, с изм. и доп. — 2007. — 224 с.: ил.	5-98629-006-2	345
Корольченко А. Я.	Процессы горения и взрыва: учебник. — 2007. — 266 с.: ил.	978-5-91444-001-2	450
Корольченко А. Я., Корольченко Д. А.	Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения: справочник; в 2 ч. — Изд. 2-е, перераб. и доп. — 2004. — Ч. I. — 713 с.; Ч. II. — 774 с.	5-901283-02-3	2500
Корольченко А. Я., Корольченко О. Н.	Средства огнезащиты. — Изд. 2-е, перераб. и доп. — 2009. — 560 с.: ил.	978-5-91444-010-4	540
Корольченко А. Я., Трушкин Д. В.	Пожарная опасность строительных материалов: учебное пособие. — 2006. — 232 с.	978-5-91444-006-7	250
Пилигин Л. П.	Обеспечение взрывоустойчивости зданий с помощью предохранительных конструкций. — 2000. — 224 с.: ил.	5-901283-03-1	240
Теребнев В. В., Артемьев Н. С., Грачев В. А.	Справочник спасателя-пожарного: справочник. — 2006. — 528 с.	5-91017-019-8	385
Теребнев В. В., Артемьев Н. С., Шадрин К. В.	Основы пожарного дела: учебное пособие. — 2006. — 328 с.	5-91017-016-3	390
Теребнев В. В., Грачев В. А., Теребнев А. В.	Организация службы начальника караула пожарной части: пособие. — 2007. — 216 с.: ил.	5-901520-06-8-006-2	340
Теребнев В. В., Грачев В. А., Шехов Д. А.	Подготовка спасателей-пожарных. Пожарно-строительная подготовка: учебно-методическое пособие. — 2008. — 350 с.	5-91017-019-9	460
Теребнев В. В., Подгрушиный А. В.	Пожарная тактика. Основы тушения пожаров. — 2008. — 512 с.	5-91017-019-8	595
Теребнев В. В., Теребнев А. В., Грачев В. А., Шехов Д. А.	Организация службы пожарной части: учебное пособие. — 2008. — 344 с.	5-98629-305-8	460

Авторы	Наименование	ISBN	Цена, руб./экз.
Теребнев В. В., Теребнев А. В., Подгрушиный А. В., Грачев В. А.	Тактическая подготовка должностных лиц органов управления силами и средствами на пожаре: учебное пособие. — 2006. — 304 с.	5-98135-004-0	330
Теребнев В. В., Шадрин К. В.	Подготовка спасателей-пожарных. Пожарно-профилактическая подготовка: учебное пособие. — 2007. — 270 с.	5-91017-019-8	420
	Электронная версия комплекта типовых инструкций по пожарной безопасности для руководителя предприятия		980

ВНИМАНИЮ ПОДПИСЧИКОВ ТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДАНИЙ!

**ООО “Издательство “Пожнаука” предлагает подписку на 2011 г.
на комплект журналов “Пожаровзрывобезопасность”
и “Пожарная безопасность в строительстве”.**

	Стоймость, руб.
ПОЛУГОДИЕ	
Комплект журналов “Пожаровзрывобезопасность” (6 номеров) и “Пожарная безопасность в строительстве” (3 номера)	3790
Журнал “Пожарная безопасность в строительстве” (3 номера)	1140
ГОД	
Комплект журналов “Пожаровзрывобезопасность” (12 номеров) и “Пожарная безопасность в строительстве” (6 номеров)	7580
Журнал “Пожарная безопасность в строительстве” (6 номеров)	2280

Подписка осуществляется через следующие агентства:

Название организации	Телефон/факс	Адрес	Индекс в каталоге
Агентство подписки и розницы “АПР”	(495) 974-11-11	123995, г. Москва, просп. Маршала Жукова, д. 4	83647
Агентство “РОСПЕЧАТЬ”	(495) 921-25-50	123995, г. Москва, просп. Маршала Жукова, д. 4	83340
Агентство “ИНТЕР-ПОЧТА”	(495) 500-00-60, 684-55-34	129090, г. Москва, пер. Васнецова, д. 4, стр. 2	—
Агентство “УРАЛ-ПРЕСС ХХI”	(495) 789-86-37, 789-86-36	125040, г. Москва, ул. Нижняя Масловка, д. 11-13	—
Агентство “Артос-ГАЛ”	(495) 981-03-24	г. Москва, ул. 3-я Гражданская, д. 3, стр. 2	107564
ООО “Информнаука”	(495) 787-38-73, 152-54-81	125190, г. Москва, ул. Усиевича, д. 20	—
ЗАО “МК-ПЕРИОДИКА”	(495) 672-70-12, 672-72-34	111524, г. Москва, ул. Электродная, д. 10	—

Образец заявки для оформления заказа на литературу

Название организации (полностью), реквизиты (ИНН/КПП обязательно)
Наименование и количество заказываемой литературы
Вид доставки: • самовывоз; • почтовая (ВНИМАНИЕ! + 25 % от стоимости заказа)
Почтовый адрес, тел./факс, e-mail, контактное лицо

Для БЕСПЛАТНОГО получения справочника “СРЕДСТВА ОГНЕ-И БИОЗАЩИТЫ”:

1. Заполните все поля анкеты:

Название организации	
Профиль деятельности	
Почтовый адрес (индекс)	
Контактное лицо	
Должность	
Телефон рабочий	Код ()
Факс	Код ()
Способ получения (нужное отметить)	<input type="checkbox"/> Наложенным платежом (Вы оплачиваете только стоимость пересылки из г. Москвы до вашего города) <input type="checkbox"/> Курьером (по г. Москве) — стоимость 150 руб. <input type="checkbox"/> Самовывоз (со склада издательства “Пожнаука” в г. Москве)
Откуда узнали о справочнике (нужное отметить)	<input type="checkbox"/> Из журнала <input type="checkbox"/> Из интернет-рассылки <input type="checkbox"/> На выставке <input type="checkbox"/> На сайте издательства <input type="checkbox"/> Другое

2. Пришлите анкету удобным для Вас способом — по факсу или электронной почте.

**Желающие сделать заказ в “Издательстве “Пожнаука” (г. Москва)
могут отправить заявку в отдел распространения:**

- по почте: 121352, г. Москва, а/я 43;
- по тел./факсу: (495) 228-09-03, (495) 737-65-74, 8-909-940-63-94;
- по e-mail: mail@firepress.ru, izdat_pozhnauka@mail.ru



К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ

Направляемые в журнал “ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТЬ” статьи должны представлять собой результаты научных исследований и испытаний, описания технических устройств и программно-информационных продуктов, проблемные обзоры и краткие сообщения, комментарии и собственно нормативно-технические документы, справочные материалы и т. п. Методы расчета и экспериментальные данные автора должны быть оформлены в соответствии с рекомендациями КОДАТА. Остальные численные данные, за исключением общезвестных величин, следует снабжать ссылками на первоисточник. Научные статьи должны иметь практическую направленность. В начале работы (например, во введении) целесообразно кратко изложить состояние проблемы и место в ней данной задачи. В конце публикации желательны краткие выводы с указанием научной новизны и практической полезности материала.

Редакция просит авторов при подготовке рукописи руководствоваться изложенными ниже правилами.

1. Статья должна быть представлена на бумажном и магнитном носителях или может быть послана в редакцию по электронной почте (mail@firepress.ru). Статья должна быть ясно изложена, тщательно отредактирована и подписана авторами.

2. Текст статьи должен быть напечатан через 2 интервала без помарок и вставок на одной стороне стандартного листа формата А4 с левым полем 3 см. При первой ссылке на рисунки и таблицы в тексте на полях проставляются их номера.

3. Материал статьи излагается в такой последовательности:

- номер УДК (универсальная десятичная классификация);
- название статьи (на русском и английском языках);
- имена, отчества и фамилии всех авторов (полностью), должности, степени, звания и название организации (полностью) (на русском и английском языках), фотографии авторов, контактные телефоны, почтовый и электронный адреса. Число авторов — не более трех от одной организации и не более четырех от разных организаций. Авторами являются лица, принимавшие участие во всей работе или ее главных разделах. Лица, участвовавшие в работе частично, указываются в сносках;
- аннотация (на русском и английском языках);
- ключевые слова (на русском и английском языках);
- текст статьи;
- цитируемая литература;
- рисунки и подписи к ним.

4. Сокращения и условные обозначения физических величин должны соответствовать действующим международным стандартам. Формулы и буквенные обозначения должны быть четкими и ясными. При возможности неоднозначного понимания формул и обозначений: показатели и другие надстрочные знаки отмечаются простым карандашом дугой \cup , а подстрочные — дугой \cap ; заглавные буквы подчеркиваются двумя черточками снизу, строчные — сверху (например, \underline{Q} и $\bar{\Omega}$); греческие буквы подчеркиваются красным карандашом. Все буквенные обозначения, входящие в формулы, должны быть расшифрованы с указанием единиц измерения. Размерность всех характеристик должна соответствовать системе СИ.

5. Иллюстрации (на бумажном носителе и электронные версии) прилагаются отдельно. Фотографии должны быть сделаны с хорошего негатива контрастной печатью (файлы растровых изображений представляются с разрешением не менее 300 dpi, черно-белая штриховая графика — 600 dpi). Файлы векторной графики представляются в формате той программы, где они созданы. Все иллюстрации должны иметь сквозную нумерацию. Чертежи в качестве иллюстраций не приемлемы.

6. Таблицы должны быть составлены лаконично и содержать только необходимые сведения, однотипные таблицы строятся одинаково. Цифровые данные следует округлять в соответствии с точностью эксперимента. Сведения в таблицах и на рисунках не должны повторяться.

7. Цитируемая литература должна быть оформлена в виде общего списка в порядке цитирования или по алфавиту. В тексте ссылка на литературу отмечается порядковой цифрой в квадратных скобках, например [1]. Литература в списке дается на языке оригинала. 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.

8. Отклоненные статьи автору не возвращаются. Просьба редакции о переработке материала не означает, что он принят к печати.

9. Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается.

Приглашаем Вас к сотрудничеству на страницах нашего журнала.

Characteristics of Heat Release at Burning of Wood of Different Reeds and Species

Aseeva R. M., Dr. of Chemistry, Professor,
Professor of Academy of State Fire Fighting Service
of Emercome RF, Moscow, Russia

Serkov B. B., Dr. of Technics, Professor,
Head of an Study-Scientific Complex of Problems
of Fire Safety in Building of Academy of State Fire
 Fighting Service of Emercome RF, Moscow, Russia

Sivenkov A. B., Cand. of Technics, Associated Professor,
Deputy Head of An Study-Scientific Complex of Problems
of Fire Safety in Building of Academy of State Fire
 Fighting Service of Emercome RF, Moscow, Russia

Barbotko S. L., Cand. of Technics, Head of Laboratory
of Federal State Unitary Enterprise "VIAM" SSC RF,
Moscow, Russia

Kruglov E. Yu., Postgraduate Student of Academy
of State Fire Fighting Service of Emercome RF,
Moscow, Russia

The results of the research of the basic characteristics of heat release at burning of deciduous and coniferous varieties of wood are presented. It is established a significant influence on the characteristics of heat release such factors as wood varieties, humidity, as well as the density of incident external radiating heat flux.

Keywords: wood of different reeds and species; heat release; humidity; density of incident external radiating heat flux.

Correlation of Fire Hazard Indexes with Chemical Structure. III. Ketones (Part 2)

Alexeev S. G., Cand. of Chemistry, Associate Professor,
Head of Department of Ural State Fire Service Institute
of Emercome RF, Ekaterinburg, Russia

Barbin N. M., Dr. of Technics, Cand. of Chemistry,
Head of Department of Ural State Fire Service Institute
of Emercome RF, Ekaterinburg, Russia

Alexeev K. S., Student of Chemical Industrial Faculty
of Ural Federal University named by the First President
of Russia B. N. El'tsin, Ekaterinburg, Russia

Orlov S. A., Cand. of Technics, Associate Professor,
Vice-Rector-Commandant of Ural State Fire Service
Institute of Emercome RF, Ekaterinburg, Russia

There are shown application of the hydrocarbon chain rule for forecast of fire hazard characteristics (indexes) on an example of nonlinear aliphatic ketones.

Keywords: ketone; rule; property; fire hazard; index (characteristic).

On System Error of Approximation of Standard Fire Temperature Conditions by Mathematical Formulas

Zaytsev A. M., Cand. of Technics, Associate Professor
of Voronezh State University of Architecture and Civil
Engineering, Voronezh, Russia

Chernykh D. S., Postgraduate Student of Voronezh
State University of Architecture and Civil Engineering,
Voronezh, Russia

The results of the studies on approximation of standard fire temperature conditions by mathematical formulas are analyzed. It is shown that applied method to account for initial fire temperature by adding initial fire temperature to the known mathematical formulas in the case of long-term fire results in significant errors in calculations of warming-up and actual limits of fire resistance of building structures. Simplified method to eliminate this limitation is proposed.

Keywords: temperature conditions; standard fire; initial temperature of fire.

Increase of Fire Safety of the Grain Processing Enterprises at the Expense of Use of the Gravitational Separators

Nekrasov A. V., Cand. of Technics, Docent, Associate
Professor of Voronezh Institute of State Fire Fighting
Service of Emercome RF, Voronezh, Russia

Kalach A. V., Cand. of Chemistry, Docent,
Deputy Head of Voronezh Institute of State Fire
 Fighting Service of Emercome RF, Voronezh, Russia

Isaev A. A., The Deputy Head of Voronezh Institute
of State Fire Fighting Service of Emercome RF
on Educational Work, Voronezh, Russia

The perspective direction of development of separation technology, promoting increase of fire safety of the grain processing enterprises is considered. The basic advantages of gravitational separators and results of their tests are discussed.

Keywords: fire safety; the grain processing enterprises; gravitational separators; a dust; fractionating.

Explosion Hazard of Nuclear Power Plants that Have Been Planned and Built in Russia without Meeting the Explosion Safety Requirements

Mishuev A. V., Dr. of Technics, Professor, Moscow State
University of Civil Engineering, Moscow, Russia

Kazennov V. V., Dr. of Technics, Professor, Moscow
State University of Civil Engineering, Moscow, Russia

Khusnudinov D. Z., Cand. of Technics, Senior Research Assistant of Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia

The article focuses on Nuclear Power Plant explosion hazard and ways of its mitigation in case of discrepancy between Nuclear Plant condition and current regulatory requirements.

Keywords: nuclear power plant; explosion; explosion resistance; risk; prospective hazards; regulatory documents.

Roof's Technical Rooms Evacuation Problems

Pronin D. G., Head of Section of the Central Scientific-Research Institute of Building Constructions named by V. A. Kucherenko, Moscow, Russia

Spiridonov D. A., Leading Specialist of the Central Scientific-Research Institute of Building Constructions named by V. A. Kucherenko, Moscow, Russia

Roof's technical rooms evacuation problems have been defined, recommendations for designing have been given.

Keywords: evacuation; technical rooms; roof.

Likelihood of Saving People as a Factor in Reducing the Individual Fire Risk in Public Buildings

Sedov D. V., Cand. of Technics, Teacher of Department of the Fire Safety Engineering Processes, Buildings and Structures of East-Siberian Institute of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation, Irkutsk, Russia

An attempt to refine the method of calculating individual fire risk in public buildings by taking into account the probability of saving lives during a fire. The approaches to determining the probability of self-rescue and rescue by the fire service.

Keywords: individual fire risk; the probability of saving lives during a fire.

Fire Numbers Surge Analysis

Kaibitchev I. A., Dr. of Physics-Mathematics, Professor, Assistant Professor of Ural State Fire Service Institute of Emercome RF, Ekaterinburg, Russia

Procedure of the separation surge with anomalous large fire number are considered. It is shown that accompaniment in mathematical model of the fictitious parameter enlarges accuracy to approximations in two times at the average. On base autocorrelation model predicted months perspective on surges. The comparison result forecast surge with fact has shown that forecast gives not more than two mistakes per annum.

Keywords: the mathematical forecasting; surge analysis; linear trend method.

Gas Sensitivity of Gas Sensors Based on Stannic Oxide at an Irradiation by Light-Emitting Diode

Russkikh D. V., Cand. of Technics, Associate Professor of Voronezh Institute of State Fire Fighting Service of Emercome RF, Voronezh, Russia

Tuev V. E., Listener of Voronezh Institute of State Fire Fighting Service of Emercome RF, Voronezh, Russia

Kalach A. V., Cand. of Chemistry, Docent, Deputy Head of Voronezh Institute of State Fire Fighting Service of Emercome RF, Voronezh, Russia

In the article results of influence of an irradiation by violet light diode L5013VC with a wave-length 400 nm and capacity 76 mWt on electroresistance of sensitive layer of gas sensors test structures based on SnO_2 on air, and also in an atmosphere of ethanol and acetone are represented.

Keywords: gas sensors; stannic oxide; gas sensitivity; electroresistance; sensitive layer; violet light diode; ethanol; acetone.

Research of Foam-Forming Capacity of Solutions of Fluorinated Surfactants

Kotov S. G., Cand. of Technics, Head of R&D Support and Coordination Administration of the Research Section of the Senior Management of Science, Belarusian State University, Minsk, Belarus

Navrotsky O. D., Senior Research Assistant of Research Institute of Fire Safety and Emergencies (RIFSE-Belarus) of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus, Minsk, Belarus

Kotov D. S., Master of Physics-Mathematics, Engineer, UE "Geoinformational Systems" of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus

Research results of foaming and film-forming capacity of compounds of systems alkylsulfonate – Bayowet FT 948 – water, alkylsulfonate – Fluowet SA – water, alkylsulfonate – Bayowet FT 948 – Fluowet SA – water, alkylsulfonate – Bayowet FT 948 – antifreeze – water, alkylsulfonate – Bayowet FT 948 – Fluowet SA – isopropanol – water, hydrocarbon SAS – Bayowet FT 948 – isopropanol – water are given. Dependence of foam ratios for foam obtained from foam generators on pressure before ejection foam generator were determined. For systems containing ethylene glycol, propylene glycol and isopropyl alcohol dependences of freezing temperatures on antifreeze concentrations were retrieved. Compound of purpose-specific foam-former which satisfy the requirements of Belarusian and Russian normative documents for foam ratio and foam stability for foam obtained from foam generators was justified.

Keywords: purpose-specific foam-former; isolation film; foam generator; foaming and film-forming capacity; foam ratio and foam stability; freezing temperature; viscosity; crystallization temperature.

Председатель Редакционного совета:

д.т.н., профессор, академик МАНЭБ
А. Я. Корольченко

Зам. председателя Редакционного совета:

д.т.н., профессор, член-корреспондент НАНПБ
Ю. М. Глуховенко

д.т.н., профессор, академик Нью-Йоркской академии наук
В. В. Мольков

д.т.н., профессор В. П. Назаров

Редакционный совет:

д.т.н., профессор, действительный член НАНПБ,
заслуженный деятель науки РФ А. Н. Баратов

д.т.н., профессор Н. М. Барбин

д.т.н., профессор, академик РАЕН,
заслуженный деятель науки РФ Н. Н. Брушинский

к.т.н., профессор Е. Е. Кирюханцев

к.т.н. Д. А. Корольченко

к.т.н. В. А. Меркулов

д.т.н., профессор, академик РАЕН
А. В. Мишуев

д.т.н., профессор, действительный член НАНПБ
В. М. Ройтман

д.т.н., профессор,
действительный член НАНПБ Б. Б. Серков

д.т.н., профессор, член-корреспондент НАНПБ
С. В. Пузач

д.т.н., профессор, академик РАЕН, НАНПБ
Н. Г. Топольский

д.т.н., член-корреспондент МАНЭБ
Н. А. Тычино

д.т.н., профессор, действительный член НАНПБ
Ю. Н. Шебеко

профессор Т. Дж. Шилдс

д.т.н., профессор, академик и почетный член РАЕН
В. В. Холщевников

Редакция:

Главный редактор журнала
д.т.н., профессор, академик МАНЭБ
А. Я. Корольченко

Шеф-редактор
Н. Н. Соколова

Редактор
Л. В. Крылова

Chairman of Editorial Council:

Dr.Sc.(Eng.), Professor, Academician of International Academy of Ecology and Life Safety A. Ya. Korolchenko

Deputy of Chairman of Editorial Council:

Dr.Sc.(Eng.), Professor, Corresponding Member of the National Academy of Fire Science Yu. M. Gluhovenko

Dr.Sc.(Eng.), Professor, an Active Member of the New-York Academy of Sciences V. V. Molkov

Dr.Sc.(Eng.), Professor V. P. Nazarov

Editorial Council:

Dr.Sc.(Eng.), Professor, Full Member of National Academy of Fire Science, the Honoured Scientist of the Russian Federation A. N. Baratov

Dr.Sc.(Eng.), Professor N. M. Barbin

Dr.Sc.(Eng.), Professor, Academician of the Russian Academy of Natural Sciences, the Honoured Scientist of the Russian Federation N. N. Brushlinsky

Cand.Sc.(Eng.), Professor E. E. Kiryuhantsev

Cand.Sc.(Eng.) D. A. Korolchenko

Cand.Sc.(Eng.) V. A. Merkulov

Dr.Sc.(Eng.), Professor, Academician of the Russian Academy of Natural Sciences A. V. Mishuev

Dr.Sc.(Eng.), Professor, Full Member of National Academy V. M. Roitman

Dr.Sc.(Eng.), Professor, Full Member of National Academy of Fire Science B. B. Serkov

Dr.Sc.(Eng.), Professor, Corresponding Member of the National Academy of Fire Science S. V. Puzach

Dr.Sc.(Eng.), Professor, Academician of the Russian Academy of Natural Sciences, National Academy of Fire Science N. G. Topolskiy

Dr.Sc.(Eng.), Corresponding Member of International Academy of Ecology and Life Safety N. A. Tyichino

Dr.Sc.(Eng.), Professor, Full Member of National Academy of Fire Science Yu. N. Shebeko

Professor Thomas Jim Shields

Dr.Sc.(Eng.), Professor, Academician and the Honoured Member of the Russian Academy of Natural Sciences V. V. Kholshchevnikov

Editorial Office:

Deputy Editor-in-Chief

Dr.Sc.(Eng.), Professor, Academician of International Academy of Ecology and Life Safety A. Ya. Korolchenko

Editor-in-Chief
N. N. Sokolova

Editor
L. V. Krylova

Учредитель – ООО “Издательство “Пожнauка”

Тел./факс: (495) 228-09-03, (495) 737-65-74, 8-909-940-63-94

121352, г. Москва, а/я 43

E-mail: mail@firepress.ru, izdat_pozhnauka@mail.ru

<http://www.firepress.ru>

ISSN 0869-7493



9 770869 749006

Подписано в печать 06.07.11.

Формат 60×84 1/8. Тираж 5000 экз.

Бумага офсетная №1. Печать офсетная.

Отпечатано в типографии “ГранПри”, г. Рыбинск

Здравствуйте, наши дорогие читатели!

Издательство “Пожнauка” предлагает Вам оформить годовую или полугодовую подписку на журналы “Пожаровзрывобезопасность” и “Пожарная безопасность в строительстве” на 2011 г.

Подписка на полугодие включает в себя шесть номеров журнала “Пожаровзрывобезопасность” и три номера журнала “Пожарная безопасность в строительстве”. Стоимость полугодовой подписки на комплект составляет 3790 руб.

Годовая подписка включает в себя двенадцать номеров журнала “Пожаровзрывобезопасность” и шесть номеров журнала “Пожарная безопасность в строительстве”. Стоимость годовой подписки на комплект составляет 7580 руб.



ПЕРСОНАЛЬНАЯ ПОДПИСКА на журнал пожаровзрыво- БЕЗОПАСНОСТЬ КУПОН '2011

Издание	Цена подписки, руб.	Количество экземпляров	Стоимость подписки, руб.
Комплект журналов “Пожаровзрывобезопасность” и “Пожарная безопасность в строительстве”: полугодие год	3790 7580		
Журнал “Пожарная безопасность в строительстве”: полугодие год	1140 2280		

- Укажите в таблице количество экземпляров, которое Вам необходимо. В связи с введением обязательного составления счетов-фактур при совершении операций по реализации просим заполнить карточку на обороте купона. Эти сведения необходимы для подготовки и высылки Вам счета-фактуры.
- Заполненный купон и копию платежного поручения вышлите по тел./факсу (495) 737 65 74 или по e-mail: mail@firepress.ru в отдел распространения. Проследите, пожалуйста, чтобы были высланы **обе стороны** купона.
- Оплату за подписку Вы можете произвести по следующим реквизитам:
ООО “Издательство “ПОЖНАУКА”
Почтовый адрес: 121357, г. Москва, а/я 43
ИНН / КПП 7731652572 / 773101001
Р/с 40702810930130056301 в ОАО “Промсвязьбанк” г. Москва
К/с 30101810600000000119
БИК 044583119
Главный редактор — Корольченко Александр Яковлевич

*По вопросам подписки прошу обращаться по телефонам
(495) 228-09-03, 737-65-74*

ПОДПИСКА:

через ООО “Издательство “Пожнauка”;

через агентство “РОСПЕЧАТЬ”, индекс 83340;

через агентство “АПР”, индекс 83647

(в любом почтовом отделении в каталоге “Газеты и журналы”);

через подписные агентства:

ООО “Интер-почтa”, ООО “Урал-Пресс XXI”,

ООО “Артос-ГАЛ”, ООО “Информнаука”, ЗАО “МК-ПЕРИОДИКА”

Вы можете также отдельно подписатьсь на журнал "Пожарная безопасность в строительстве".

Стоимость полугодовой подписки (три номера) составляет 1140 руб. Стоимость годовой подписки (шесть номеров) составляет 2280 руб.

Расширяя тематику журнала, в 2011 г. редакция планирует увеличить количество обзоров, посвященных состоянию отечественного рынка средств обеспечения пожарной безопасности. В журнале также будут опубликованы тексты основных нормативных документов в сфере пожарной безопасности и комментарии ведущих специалистов к ним, даны необходимые пояснения.

**Редакция с благодарностью примет все замечания и пожелания
по тематике журнала и содержанию публикуемого материала.
Надеемся на длительное и плодотворное сотрудничество!**



Карточка учета сведений о подписчике

Полное наименование фирмы (в соответствии с учредительными документами)	
Идентификационный номер (ИНН)	
Код отрасли по ОКОНХ	
Код отрасли по ОКПО	
Полное наименование банка	
Местонахождение банка	
БИК	
Расчетный счет	
Корсчет	
Юридический адрес (в соответствии с учредительными документами)	
Фактический адрес	
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС	
Индекс	
Область, край	
Город	
Улица	
Дом	
Телефон	
Факс	
Контактное лицо	
Телефон контактного лица	

ДЛЯ ЗАМЕТОК

ДЛЯ ЗАМЕТОК



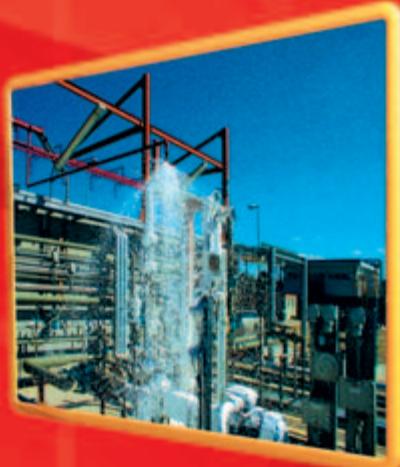
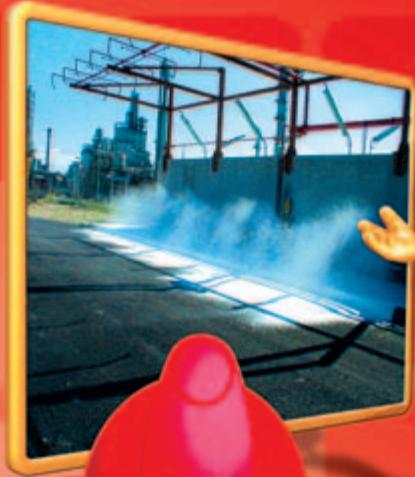
НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ КОМПАНИЯ

121352, г. Москва,
ул. Давыдковская, д. 12, стр. 3
Тел./факс: (495) 735-28-13
E-mail: gefest-fire@mail.ru
www.gefestnpk.ru

ПЕНООБРАЗОВАТЕЛИ ДЛЯ ПОЖАРОТУШЕНИЯ

Шторм-М 3/6

**высокоэффективный
пленкообразующий
синтетический
фторсодержащий
пенообразователь
типа АFFF специального назначения
для получения пены низкой, средней
и высокой кратности.**



Низкая кратность способствует быстрому образованию водяной пленки, которая самопроизвольно растекается по поверхности. Пенообразователь может подаваться на большие расстояния и использоваться со стандартной российской техникой для получения пены средней кратности. С помощью пенообразователя можно получать пену высокой кратности на генераторах без принудительного наддува, это придает ему универсальность использования.

ISSN 0869-7493



9 770869 749006

РЕКЛАМА