

ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТЬ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

5'2010

III Всероссийская конференция, Симпозиум,
XIII Школа молодых ученых "Безопасность
критичных инфраструктур и территорий"

Авторегрессионные модели
при прогнозировании деятельности
подразделений МЧС России

Огнестойкость элементов строительных
конструкций при высокointенсивном нагреве



Способ обеспечения уровня адаптивности
пожарных насосно-рукавных систем
к низкотемпературным условиям

Методы оценки взрывопожароопасности
топливовоздушных смесей
на примере керосина марки РТ

Анализ взаимосвязи свойств н-алканов
и α -олефинов нормального строения

СОДЕРЖАНИЕ

CONTENTS

НОВОСТИ, КОНФЕРЕНЦИИ, ВЫСТАВКИ

**III Всероссийская конференция, Симпозиум,
XIII Школа молодых ученых "Безопасность
критических инфраструктур и территорий"**

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

- Миронов М. П., Каibичев И. А.** Авторегрессионные модели при прогнозировании деятельности подразделений МЧС России
Каibичев И. А., Алексеев К. С. Сезонный фактор при прогнозировании деятельности подразделений МЧС

ПОЖАРОВЗРЫВООПАСНОСТЬ ВЕЩЕСТВ И МАТЕРИАЛОВ

- Агафонов И. А., Гаркушин И. К., Барбин Н. М.,
Баканов А. В.** Анализ взаимосвязи свойств н-алканов и α-олефинов нормального строения
**Алексеев С. Г., Барбин Н. М., Алексеев К. С.,
Орлов С. А.** Связь показателей пожарной опасности с химическим строением. I. Алканолы
**Алексеев С. Г., Пищальников А. В., Левковец И. А.,
Барбин Н. М.** О пожароопасности водных растворов этанола
**Алексеев С. Г., Левковец И. А., Рыжков О. В.,
Артемьев Г. А., Барбин Н. М., Пищальников А. В.,
Котовская С. К.** Показатели пожаровзрывоопасности основных полупродуктов в синтезе антибактериального препарата левофлоксацина
Алексеев С. Г., Авдеев А. С., Барбин Н. М., Тимашев С. А., Гурьев Е. С. Методы оценки взрывопожароопасности топливовоздушных смесей на примере керосина марки РТ. I. РБ Г-05-039-96

ОГНЕСТОЙКОСТЬ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

- Еналеев Р. Ш., Теляков Э. Ш., Тучкова О. А., Харитонова О. Ю., Качалкин В. А.** Огнестойкость элементов строительных конструкций при высокointенсивном нагреве

ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

- Катышев С. Ф., Десятник В. Н., Теслюк Л. М.** Влияние добавок на взаимодействие аммиачной селитры с сульфидной рудой

ПОЖАРНАЯ ТЕХНИКА

- Семиноженко В. В., Савин М. А.** Способ обеспечения уровня адаптивности пожарных насосно-рукавных систем к низкотемпературным условиям

ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТЬ. СПРАВОЧНИК

NEWS, CONFERENCES, EXHIBITIONS

- 2 III All-Russian Conference, Symposium,
XIII School of Young Scientists "The Safety
of Critical Infrastructures and Territories"**

GENERAL QUESTIONS OF FIRE SAFETY

- 4 Mironov M. P., Kaibichev I. A.** Auto Regression Models of Forecasting for Activity of Russian Emercom Subdivisions
11 Kaibichev I. A., Alexeev K. S. The Seasonal Factor at Forecasting for Activity of Emercom Subdivisions

FIRE-AND-EXPLOSION HAZARD OF SUBSTANCES AND MATERIALS

- 21 Agafonov I. A., Garkushin I. K., Barbin N. M.,
Bakanov A. V.** Relationships of Properties of n-Alkanes and α-Olefins
**23 Alexeev S. G., Barbin N. M., Alexeev K. S.,
Orlov S. A.** Correlation of Fire Hazard Indexes with Chemical Structure. I. Alcohols
**31 Alexeev S. G., Pishchalnikov A. V., Levkoverz I. A.,
Barbin N. M.** About Fire Hazard of Aqueous Alcoholic Solutions
**34 Alexeev S. G., Levkoverz I. A., Rizhkov O. V.,
Artemjev G. A., Barbin N. M., Pishchal'nikov A. V.,
Kotovskaya S. K.** Indexes of Fire and Explosive Properties of the Main Semiproducts in Synthesis of the Antibacterial Drug Levofloxacin
37 Alexeev S. G., Avdeev A. S., Barbin N. M., Timashew S. A., Guryev E. S. Analysis Methods of Explosion Fire Hazard of Fuel and Air Mixtures on an Example for Jetfuel RT. I. RB G-05-039-96

FIRE-RESISTANCE OF BUILDING CONSTRUCTIONS

- 48 Enalejev R. Sh., Telyakov E. Sh., Tuchkova O. A.,
Haritonova O. Yu., Kachalkin V. A.** Fire Resistance of Elements of Building Constructions at High-Intensity Heating

FIRE-AND-EXPLOSION SAFETY OF TECHNOLOGICAL PROCESSES

- 54 Katyshev S. F., Desyatnik V. N., Teslyuk L. M.** The Effect of Additives on Reaction of Ammonium Nitrate with Sulfide Ore

FIRE ENGINEERING

- 58 Seminozhenko V. V., Savin M. A.** The Raise of Efficiency of Fire Engine Pump Operation at the Northern Climatic Conditions

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 ВИНТИ 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 представленных в редакцию материалов и публикацию их в открытой печати.

III ВСЕРОССИЙСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ, СИМПОЗИУМ, XIII ШКОЛА МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ “БЕЗОПАСНОСТЬ КРИТИЧНЫХ ИНФРАСТРУКТУР И ТЕРРИТОРИЙ”



10 – 14 ноября 2009 г. в г. Екатеринбурге состоялась III Всероссийская научно-техническая конференция “Безопасность критических инфраструктур и территорий”. В рамках этой конференции был проведен симпозиум “Риск-менеджмент mega-проектов”, посвященный освоению арктических нефтегазовых месторождений в Баренцевом море и на полуострове Ямал. Конференция была организована по инициативе и под руководством Научно-инженерного центра “Надежность и ресурс больших систем и машин” Уральского отделения РАН (НИЦ “НиР БСМ” УрО РАН). В подготовке и проведении конференции приняли участие Уральский институт Государственной противопожарной службы МЧС России (УрИ ГПС МЧС России), Уральское отделение РАН, правительство Свердловской области, администрация г. Екатеринбурга, ИМАШ РАН и ЗАО “ВЕКТ”.

Конференция привлекла внимание ОАО “Газпром”, субъектов Российской Федерации — Республики Башкортостан, Владимирской и Иркутской областей, Республики Карелия, Красноярского края, Республики Коми, Новосибирской и Оренбургской областей, Пермского края, Ростовской, Самарской, Тверской и Тюменской областей, Республики Татарстан, Удмуртской Республики, Хабаровского края, Челябинской области, а также ведущих научно-исследовательских и учебных заведений нашей страны, в том числе МГУ.

В конференции участвовали представители четырех стран СНГ — Белоруссии, Казахстана, России, Украины — из 24 городов. В работе конференции приняли участие 316 человек, в том числе представители госмонополий, крупных предприятий, государственных академий, вузов, МЧС, территориальных администраций, малого бизнеса, а также консультанты в области анализа риска.

Среди участников конференции 11 членов государственных и иностранных академий, 15 членов общественных академий, 62 доктора наук, 86 кандидатов наук, 29 аспирантов и адъюнктов, более 100 студентов и курсантов. Участники конференции представляли Российскую академию наук, промышленность, отраслевые НИИ, университеты, государственные и частные организации, занимающиеся анализом рисков, разработкой нормативных документов в области безопасности.

Конференция открылась вступительным словом сопредседателя оргкомитета проф. С. А. Тимашева, приветствиями первого заместителя председателя правительства области А. Л. Гредина (ныне премьер-министра Свердловской области), представителя губернатора области М. П. Свешникова, члена Президиума УрО РАН академика А. И. Татаркина, начальника УрИ ГПС МЧС России генерал-майора внутренней службы М. П. Миронова.





На пленарных и секционных заседаниях были всесторонне рассмотрены важнейшие междисциплинарные теоретические и практические аспекты территориальной безопасности взаимозависимых критичных инфраструктур. Под взаимозависимыми критичными инфраструктурами понимаются системы жизнеобеспечения и системы, производящие жизненно важную продукцию.

Во время конференции была организована XIII Школа молодых ученых “Безопасность критичных инфраструктур и территорий”, в рамках которой молодые ученые и специалисты, студенты старших курсов вузов ознакомились с основами теории анализа риска и современными методами решения проблем в этой области.

На конференции было отмечено, что впервые с момента образования (2007 г.) совместный научно-образовательный центр НИЦ “НиР БСМ” УрО РАН и УрИ ГПС МЧС, помимо регулярного выпуска инженеров, специалистов по риск-анализу, в рам-

ках гранта УрО РАН провел исследования особенностей фильтрации керосина через пористые среды, его испарения с дневной поверхности земли и образования топливно-воздушной смеси в зависимости от температуры, скорости и стратификации ветра и объема подземной линзы керосина. Цель данного исследования — повышение точности оценки риска использования керосинопроводов для снабжения аэропортов авиационным топливом.

В рамках конференции УрИ ГПС МЧС России была развернута выставка новейшей пожарной техники, пожарно-технического и аварийно-спасательного оборудования с демонстрацией их технических возможностей. Вниманию участников конференции были представлены показательные выступления курсантов УрИ ГПС МЧС России по спасению и эвакуации пострадавших.

*Сопредседатель оргкомитета конференции,
д-р техн. наук, профессор **С. А. Тимашев***



М. П. Миронов
канд. социол. наук, начальник
Уральского института ГПС МЧС России,
г. Екатеринбург, Россия



И. А. Кайбичев
д-р физ.-мат. наук, доцент, профессор
Уральского института ГПС МЧС России,
г. Екатеринбург, Россия

УДК 614.84:519.2

АВТОРЕГРЕССИОННЫЕ МОДЕЛИ ПРИ ПРОГНОЗИРОВАНИИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ МЧС РОССИИ

На примере статистических данных по числу пожаров, произошедших в различные месяцы 1993–2007 гг. на территории Республики Башкирия, показана перспективность применения авторегрессионных моделей для прогнозирования возможного числа пожаров на месяц вперед. Автокорреляционные модели позволили снизить среднее абсолютное отклонение и стандартное отклонение в 2 раза и больше по сравнению с результатами прогноза, выполненного по методике, рекомендованной МЧС. Наиболее перспективны для практического применения автокорреляционные модели 1, 12, 60 и 120-го порядков.

Ключевые слова: математическое прогнозирование, автокорреляционная модель.

Прогнозирование числа чрезвычайных ситуаций (ЧС) на территории субъекта Российской Федерации — одна из актуальных задач деятельности МЧС России [1]. Цель работы — исследовать данные по числу пожаров на территории Республики Башкирия в период 1993–2007 гг., выявить авторегрессионные зависимости, установить модели данных, показать возможность использования авторегрессионных моделей для среднесрочного прогнозирования числа пожаров на месяц вперед.

1. Исходные данные

Исследуем данные по числу пожаров, произошедших на территории Республики Башкирия в период 1993–2007 гг. (табл. 1).

При этом основное внимание обратим на выявление возможной связи между данными различных месяцев. Предположим, что число пожаров, произошедших в требуемом нам месяце нужного года, зависит от данных предшествующих нескольких месяцев.

2. Коэффициенты автокорреляции

Для проверки гипотезы о возможной зависимости числа пожаров в требуемом месяце от значений предшествующих вычислим коэффициенты автокорреляции [2]:

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

$$\tau = 1, 2, \dots, n-1,$$

где τ — так называемый лаг;

\bar{y} — среднее число пожаров; $\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n y(k)$;

$y(k)$ — число пожаров в k -м месяце.

Анализ коэффициентов автокорреляции (табл. 2) выявляет зависимость числа пожаров, произошедших в каждом месяце, от результата:

- предшествующего месяца;
- аналогичного месяца предшествующего года;
- аналогичного месяца 2 года назад;
- аналогичного месяца 4 года назад;
- аналогичного месяца 5 лет назад;
- аналогичного месяца 6 лет назад;
- аналогичного месяца 7 лет назад;
- аналогичного месяца 8 лет назад;
- аналогичного месяца 9 лет назад;
- аналогичного месяца 10 лет назад;
- аналогичного месяца 11 лет назад;
- аналогичного месяца 12 лет назад.

Установленные зависимости позволят построить авторегрессионные модели данных, которые мы будем использовать для прогнозирования числа пожаров.

© Миронов М. П., Кайбичев И. А., 2010

Таблица 1. Статистические данные по числу пожаров за 15 лет

Год	Месяц											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1993	214	178	175	222	191	135	124	187	213	278	167	119
1994	232	195	161	231	290	156	134	160	145	165	163	140
1995	272	181	133	142	180	119	128	146	179	261	199	216
1996	251	137	152	152	213	125	97	117	134	156	161	165
1997	219	132	115	123	111	109	107	189	154	219	189	174
1998	224	188	179	213	201	139	128	177	218	178	157	123
1999	241	194	160	238	283	144	133	158	135	155	153	150
2000	172	187	123	149	186	129	125	136	180	161	199	186
2001	231	147	159	157	203	128	197	127	138	165	169	145
2002	119	142	125	143	118	110	137	132	151	189	178	164
2003	194	198	177	212	181	155	114	179	193	256	177	127
2004	245	174	163	248	293	154	137	164	145	185	143	139
2005	274	185	143	137	170	134	130	156	177	221	201	196
2006	221	127	162	147	213	127	104	147	132	176	165	154
2007	179	122	135	133	121	113	117	180	134	169	146	178

Таблица 2. Коэффициент автокорреляции в зависимости от лага

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0,278	0,007	0,122	0,103	-0,080	-0,086	0,025	0,127	0,116	-0,151	-0,032	0,342
13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
-0,0542	-0,195	0,055	-0,002	-0,127	-0,210	-0,090	-0,003	0,031	-0,126	-0,007	0,307
25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
-0,03031	-0,120	0,030	-0,048	-0,170	-0,116	-0,049	-0,004	0,011	-0,160	-0,054	0,137
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
-0,096	-0,169	0,042	-0,034	-0,149	-0,140	-0,135	-0,066	-0,062	-0,189	-0,029	0,233
49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
-0,061	-0,178	0,009	0,053	-0,080	-0,020	-0,094	0,111	0,101	-0,014	0,274	0,679
61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72
0,275	0,002	0,164	0,155	-0,053	0,022	0,001	0,143	0,120	-0,122	-0,040	0,313
73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84
0,007	-0,195	-0,046	-0,001	-0,135	-0,132	-0,105	0,010	0,081	-0,140	-0,035	0,203
85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96
-0,013	-0,117	0,056	0,009	-0,082	-0,128	-0,138	-0,048	0,016	-0,183	-0,074	0,247
97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108
-0,038	-0,180	-0,048	-0,103	-0,187	-0,233	-0,125	-0,094	0,009	-0,209	-0,086	0,309
109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120
-0,086	-0,198	0,075	0,068	-0,056	-0,168	-0,130	0,027	0,073	-0,042	0,303	1,034
121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132
0,273	0,007	0,139	0,055	-0,058	-0,078	0,158	0,244	0,212	-0,101	0,007	0,497
133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144
-0,076	-0,214	0,128	0,106	-0,138	-0,307	-0,081	-0,005	0,095	-0,060	0,049	0,453
145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156
-0,014	-0,097	-0,037	-0,206	-0,270	-0,180	0,228	0,048	-0,019	-0,317	-0,173	0,006
157	158	159	160	161	162	163	164	165	166	167	168
-0,301	-0,321	-0,179	-0,324	-0,440	-0,398	-0,183	-0,369	-0,220	-0,145	-0,089	-0,039
169	170	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180
-0,456	-0,306	-0,257	-0,158	-0,385	-0,323	-0,085	-0,172	-0,018	-0,269	0,285	

3. Авторегрессионная модель 1-го порядка

В рамках этой модели число пожаров, произошедших в требуемом месяце, зависит только от их числа в предшествующий месяц:

$$y(k) = A + By(k-1) + \varepsilon(k), \quad k = 1, 2, \dots, n, \quad (2)$$

где A и B — постоянные авторегрессионной модели; $\varepsilon(k)$ — некоторая случайная величина.

Постоянные авторегрессионной модели A и B вычисляли с помощью функции «Линейн» программы Microsoft Excel: $A = 121,1541$ и $B = 0,276131$.

В дальнейшем прогнозные значения будем получать по формуле

$$\begin{aligned} y_{\text{прогн}}(k) &= 121,1541 + 0,276131y(k-1), \\ &\quad k = 1, 2, \dots, n. \end{aligned} \quad (3)$$

Для получения целого числа пожаров использовали функцию «Округл» программы Microsoft Excel. Сравнение прогнозных значений с известными результатами (см. табл. 1) дает ошибку прогноза, представленную в табл. 3.

В качестве основного показателя качества прогноза используем среднее абсолютное отклонение

$$\xi = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n |y_{\text{прогн}}(k) - y(k)|. \quad (4)$$

В нашем случае $\xi = 30,80447$. Среднее значение ошибки равно $0,011173184$, т. е. близко к нулю. Стандартное отклонение ошибки составило $39,35077$.

Коэффициенты корреляции между номером месяца и ошибкой (см. табл. 3) достаточно малы (за ис-

ключением 1994, 1998, 1999, 2002 и 2004 гг.), что дает основание считать ошибку случайной величиной. Предложенная авторегрессионная модель 1-го порядка позволяет находить прогнозные значения на месяц вперед. Ее достоинство — простота математического аппарата и доступность использования.

4. Авторегрессионная модель 12-го порядка

Коэффициенты автокорреляции (см. табл. 2) заметно возрастили в интервале 12 месяцев. Поэтому выберем простую авторегрессионную модель 12-го порядка, когда число пожаров, произошедших в требуемом месяце, зависит только от их числа в предшествующем месяце этого года и в аналогичном месяце прошлого года:

$$\begin{aligned} y(k) &= A + By(k-1) + Cy(k-12) + \varepsilon(k), \\ &\quad k = 1, 2, \dots, n, \end{aligned} \quad (5)$$

где A , B и C — постоянные авторегрессионной модели;

$\varepsilon(k)$ — некоторая случайная величина.

Постоянные авторегрессионной модели A , B и C вычисляли с помощью функции «Линейн» программы Microsoft Excel: $A = 61,28405$, $B = 0,281336$, $C = 0,345466$.

В дальнейшем прогнозные значения будем получать по формуле

$$\begin{aligned} y_{\text{прогн}}(k) &= 61,28405 + 0,281336y(k-1) + \\ &+ 0,345466y(k-12) + \varepsilon(k), \quad k = 1, 2, \dots, n. \end{aligned} \quad (6)$$

Для получения целого числа пожаров использовали функцию «Округл» программы Microsoft Excel.

Таблица 3. Ошибка прогноза в модели 1-го порядка

Год	Месяц												Коэффициент корреляции	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
1993	2	-5	-53	-9	39	34	-32	-40	-98	31	48		0,070653	
1994	-78	-10	14	-65	-105	45	30	-2	20	-4	4	26	0,499037	
1995	-112	15	38	16	-20	52	26	10	-18	-90	-6	-40	-0,10149	
1996	-70	53	7	11	-50	55	59	31	19	2	3	1	0,186954	
1997	-52	50	43	30	44	43	44	-38	19	-55	-7	-1	-0,29772	
1998	-55	-5	-6	-42	-21	38	32	-21	-48	3	13	42	0,478653	
1999	-86	-6	15	-73	-96	55	28	0	30	3	11	13	0,498882	
2000	-9	-18	50	6	-24	44	32	20	-21	10	-33	-10	-0,20091	
2001	-58	38	3	8	-38	49	-41	49	18	-6	-2	23	0,247515	
2002	42	12	35	13	43	44	15	27	7	-26	-5	6	-0,63745	
2003	-28	-23	-1	-42	-1	16	50	-26	-22	-82	15	43	0,210358	
2004	-89	15	6	-82	-103	48	27	-5	21	-24	29	22	0,469447	
2005	-114	12	29	24	-11	34	28	1	-13	-51	-19	-19	0,015352	
2006	-46	55	-6	19	-51	53	52	3	30	-18	5	13	0,116598	
2007	-15	49	20	25	37	42	35	-27	37	-11	22	-17	-0,29462	
													Среднее	0,084084

Таблица 4. Ошибка прогноза в модели 12-го порядка

Год	Месяц												Коэффициент корреляции	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
1994	63	7	-16	48	98	-34	-14	-4	-35	-33	-2	-8	-0,50332	
1995	91	-24	-35	-37	-21	-47	-13	-7	27	92	8	50	0,293851	
1996	35	-57	6	-1	47	-37	-44	-22	-22	-33	-13	-16	-0,30958	
1997	25	-38	-36	-23	-58	-27	-18	57	-7	60	10	3	0,441087	
1998	38	18	25	59	41	-16	-9	14	54	-20	-20	-43	-0,62874	
1999	68	0	-18	58	85	-45	-13	-2	-46	-6	-6	3	-0,4302	
2000	-15	10	-46	-29	-15	-34	-19	-15	34	-4	40	17	0,588811	
2001	58	-44	14	0	33	-35	57	-37	-21	9	-7	-28	-0,31021	
2002	-63	-4	-31	-8	-54	-29	-23	-12	5	28	5	3	0,684488	
2003	45	33	17	52	19	5	-38	40	29	75	-18	-41	-0,38594	
2004	81	-25	-8	68	99	-43	-7	2	-29	-6	-31	-6	-0,46213	
2005	89	-13	-27	-50	-31	-28	-16	1	22	46	28	30	0,221642	
2006	10	-60	16	-7	52	-41	-38	3	-32	1	-15	-21	-0,12909	
2007	-2	-34	-17	-17	-51	-26	-12	35	-24	9	-20	22	0,424122	
													Среднее	-0,03609

Сравнение прогнозных значений с известными результатами (см. табл. 1) дает ошибку прогноза, представленную в табл. 4.

Среднее значение ошибки в модели 12-го порядка равно -0,00595, что по модулю в два раза меньше, чем в модели 1-го порядка. Главный показатель качества прогноза — среднее абсолютное отклонение также оказывается меньше — 28,95734. Заметим, что диапазон колебаний ошибки прогноза (характеризуется стандартным отклонением) тоже уменьшается — с 39,35077 до 36,32167.

Коэффициенты корреляции между номером месяца и ошибкой (см. табл. 4) для большинства исследуемых лет оказались по модулю больше, чем в модели 1-го порядка (см. табл. 3), однако среднее значение коэффициента корреляции при этом уменьшилось более чем в два раза. Таким образом, предположение о том, что ошибка является случайной величиной, выглядит более обоснованным.

Предложенная авторегрессионная модель 12-го порядка позволяет находить прогнозные значения на месяц вперед.

5. Авторегрессионная модель 24-го порядка

В рамках этой модели число пожаров, произошедших в требуемом месяце, зависит только от их числа в предшествующем месяце этого года и в аналогичном месяце прошлого и предшествующего ему года:

$$y(k) = A + By(k-1) + Cy(k-12) + Dy(k-24) + \varepsilon(k), \quad k = 1, 2, \dots, n, \quad (7)$$

где A, B, C и D — постоянные авторегрессионной модели;

$\varepsilon(k)$ — некоторая случайная величина.

Постоянные авторегрессионной модели A, B, C и D вычисляли с помощью функции “Линейн” программы Microsoft Excel: $A = 39,14079$, $B = 0,280792$, $C = 0,25451$, $D = 0,21765$.

В дальнейшем прогнозные значения будем получать по формуле

$$\begin{aligned} y_{\text{прогн}}(k) = & 39,14079 + 0,280792y(k-1) - \\ & - 0,25451y(k-12) + 0,21765y(k-24) + \varepsilon(k), \quad (8) \\ & k = 1, 2, \dots, n. \end{aligned}$$

Сравнение прогнозных значений с известными результатами (см. табл. 1) дает ошибку прогноза, представленную в табл. 5.

Среднее значение ошибки в модели 24-го порядка составит -0,02564, что по модулю в два раза больше по сравнению с моделью 1-го порядка. Среднее абсолютное отклонение равно 26,80276 и близко к результату, полученному для модели 12-го порядка. Стандартное отклонение при этом немного уменьшилось — с 36,32167 до 34,91445.

Коэффициент корреляции между ошибкой прогноза и номером месяца в модели 24-го порядка часто оказывался по модулю более 0,5 (см. табл. 5). Среднее значение этого коэффициента возросло с -0,03609 (модель 12-го порядка) до 0,621609, т. е. примерно в 20 раз. Последнее не позволяет признать ошибку прогноза случайной величиной.

В целом модель 24-го порядка оказывается более сложной, чем 12-го.

Поскольку среднее абсолютное отклонение и стандартное отклонение оказались близкими к аналогичному результату модели 12-го порядка, авторегрессионная модель 24-го порядка для нашего случая представляется неудачной.

Таблица 5. Ошибка прогноза в модели 24-го порядка

Год	Месяц												Коэффициент корреляции
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1995	88	-23	-36	-42	-14	-40	-6	-11	16	69	9	59	0,295926
1996	31	-61	5	-16	22	-38	-39	-21	-15	-23	-8	-5	-0,1171
1997	10	-43	-29	-18	-56	-19	-15	58	-11	40	4	-7	0,431341
1998	26	23	25	59	27	-12	1	28	61	-12	-15	-40	-0,53803
1999	63	11	-4	73	102	-34	-2	-5	-38	-15	-11	-1	-0,52344
2000	-19	9	-48	-32	-11	-29	-12	-17	21	-7	42	26	0,644088
2001	43	-47	12	-17	11	-32	61	-36	-12	12	0	-22	-0,12355
2002	-57	-9	-21	-4	-53	-23	-10	-8	0	30	-1	-3	0,638006
2003	28	36	16	53	8	9	-46	47	35	79	-16	-35	-0,25756
2004	95	-15	3	78	112	-31	-4	12	-22	-1	-32	-8	-0,52462
2005	91	-18	-28	-52	-22	-26	-6	0	15	29	25	37	0,201498
2006	4	-59	15	-26	26	-40	-34	3	-25	3	-6	-12	0,080901
2007	-19	-40	-11	-11	-47	-22	-9	37	-28	-1	-26	16	0,414146
Среднее												0,621609	

6. Авторегрессионная модель 60-го порядка

В рамках этой модели число пожаров, произошедших в требуемом месяце, будем считать зависящим только от их числа в предшествующий месяц этого года, а также в аналогичном месяце прошлого года и такого же месяца 5 лет назад:

$$y(k) = A + By(k-1) + Cy(k-12) + Dy(k-60) + \varepsilon(k), \quad k = 1, 2, \dots, n, \quad (9)$$

где A, B, C и D — постоянные авторегрессионной модели;

$\varepsilon(k)$ — некоторая случайная величина.

Постоянные авторегрессионной модели A, B, C и D вычисляли с помощью функции “Линейн” программы Microsoft Excel: $A = 31,49495$, $B = 0,064106$, $C = 0,116884$, $D = 0,624173$.

В дальнейшем прогнозные значения будем получать по формуле

$$\begin{aligned} y_{\text{прогн}}(k) = & 31,249495 + 0,064106y(k-1) + \\ & + 0,116884y(k-12) + 0,624173y(k-60) + \\ & + \varepsilon(k), \quad k = 1, 2, \dots, n. \end{aligned} \quad (10)$$

Сравнение прогнозных значений с известными результатами (см. табл. 1) дает ошибку прогноза, представленную в табл. 6.

Среднее значение ошибки в модели 60-го порядка равно $-0,03$, среднее абсолютное отклонение — $17,46$, стандартное отклонение — $26,05$.

Коэффициент корреляции между ошибкой прогноза и номером месяца в модели 60-го порядка часто оказывался по модулю менее $0,5$ (см. табл. 6).

Среднее значение этого коэффициента уменьшилось с $0,621609$ (модель 24-го порядка) до $-0,10751$,

Таблица 6. Ошибка прогноза в модели 60-го порядка

Год	Месяц												Коэффициент корреляции
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1998	22	16	13	17	24	-2	-2	-2	24	-67	-12	-13	-0,61371
1999	31	3	-5	27	32	-19	-6	-3	-23	-9	-9	7	-0,50081
2000	-67	9	-22	-7	0	-6	-10	-13	12	-63	15	-11	0,207911
2001	11	-7	9	3	7	-10	82	-6	-6	8	3	-22	-0,13284
2002	-85	3	-6	8	-16	-12	9	-41	-1	-8	-3	-4	0,348207
2003	-2	20	6	19	-3	12	-23	14	-4	79	10	-12	0,105506
2004	32	-17	0	33	48	-4	-1	4	-4	18	-17	-10	-0,38795
2005	98	-1	4	-26	-21	-7	-4	12	6	56	14	19	-0,03991
2006	1	-32	6	-9	26	-14	-74	11	-16	7	-7	-1	0,034738
2007	38	-24	-1	-14	-18	-10	-19	41	-19	-10	-27	17	-0,0962
Среднее												-0,10751	

Таблица 7. Ошибка прогноза в модели 120-го порядка

Год	Месяц												Коэффициент корреляции
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
2003	-15	21	3	-2	-8	17	-14	-3	-15	7	13	4	0,085419
2004	20	-17	3	24	18	0	1	5	1	23	-18	-4	-0,25308
2005	30	6	9	-8	-8	10	0	11	0	-13	7	-9	-0,51507
2006	-17	-14	9	-6	8	-2	-15	24	-5	19	3	-7	0,356461
2007	-17	-14	14	3	4	-1	0	4	-20	-38	-38	8	-0,30392
													Среднее -0,12604

т. е. примерно в шесть раз. Последнее позволяет признать ошибку прогноза случайной величиной.

7. Авторегрессионная модель 120-го порядка

Заметим, что коэффициенты автокорреляции имеют максимальные значения при лаге 120 и 60. Это дает основание применить модель 120-го порядка. В рамках этой модели число пожаров, произошедших в требуемом месяце, будем считать зависящим только от их числа в аналогичном месяце 10 и 5 лет назад:

$$y(k) = A + By(k - 60) + Cy(k - 120) + \varepsilon(k), \quad k = 1, 2, \dots, n, \quad (11)$$

где A , B и C — постоянные авторегрессионной модели;

$\varepsilon(k)$ — некоторая случайная величина.

Постоянные авторегрессионной модели A , B и C вычисляли с помощью функции “Линейн” программы Microsoft Excel: $A = 16,36279$, $B = 0,160004$, $C = 0,734659$.

В дальнейшем прогнозные значения будем получать по формуле

$$y_{\text{прогн}}(k) = 16,36279 + 0,160004y(k - 60) + 0,734659y(k - 120) + \varepsilon(k), \quad k = 1, 2, \dots, n. \quad (12)$$

Сравнение прогнозных значений с известными результатами (см. табл. 1) дает ошибку прогноза, представленную в табл. 7.

Среднее значение ошибки в модели 120-го порядка равно 0,017, среднее абсолютное отклонение — 10,95, стандартное отклонение — 14,17.

Среднее значение коэффициента корреляции (см. табл. 7) равно -0,12604, т. е. близко к аналогичному результату модели 60-го порядка (-0,10751). Последнее позволяет признать ошибку прогноза случайной величиной.

8. Методы математического прогноза, применяемые в МЧС России

В настоящее время достаточно широко применяют среднесрочное прогнозирование на месяц

вперед [3]. Ожидаемое число ЧС в следующем месяце можно получить с помощью среднесрочного прогнозирования. Этот вид прогноза использует данные двух последних месяцев. Прогнозируемое число природных или техногенных ЧС на следующий месяц рассчитывают по формуле

$$N_{i+1} = N_i K_i, \quad K_i = N_i / N_{i-1}, \quad (13)$$

где N_{i+1} — прогнозируемое число ЧС на следующий месяц;

N_i — фактическое число ЧС за прошедший месяц;

K_i — коэффициент динамики;

N_{i-1} — фактическое число ЧС за предшествующий прошлому месяц.

Сравнение формулы (13) с автокорреляционной моделью 1-го порядка (2) показывает, что применяемая в МЧС России методика является частным случаем автокорреляционных моделей.

Заметим, что ошибка прогноза, выполняемого по методике МЧС России, подвержена сильным колебаниям (табл. 8). Ее среднее значение равно -13,3, среднее абсолютное отклонение — 67,2, стандартное отклонение — 89,85.

Коэффициент корреляции между ошибкой прогноза и номером месяца в методике МЧС России невелик (см. табл. 8), поэтому ошибку прогноза можно считать случайной величиной.

Среднесрочное прогнозирование по методике [3] достаточно широко применяется на практике.

9. Сравнение итогов прогнозирования

Сравнение итогов прогнозирования, выполненного по методике МЧС России и с использованием автокорреляционных моделей, показало, что худшие показатели качества прогноза получены по методике МЧС (табл. 9), а минимальное значение среднего абсолютного отклонения дает автокорреляционная модель 120-го порядка.

Достаточно простая автокорреляционная модель 1-го порядка при тех же исходных данных обеспечивает снижение среднего абсолютного отклонения по сравнению с методикой МЧС России в два раза.

Таблица 8. Ошибка прогноза по методике МЧС России

Год	Месяц												Коэффициент корреляции
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1993		27	50	-91	-29	29	73	-69	35	-196	19		-0,276435488
1994	147	-257	-3	98	-41	-208	50	45	-46	34	-25	-21	0,032194619
1995	152	-347	13	44	28	-109	49	8	12	42	-182	64	0,062204474
1996	17	-155	77	-17	61	-173	24	42	-7	3	-21	-1	0,111394484
1997	50	-159	35	23	-21	9	0	84	-180	94	-122	11	-0,054401454
1998	64	-100	21	43	-52	-51	32	59	-27	-90	12	-15	-0,12877591
1999	145	-278	4	106	-71	-193	60	35	-53	40	-25	-1	0,073699435
2000	25	-10	-80	68	6	-103	36	15	32	-77	55	-60	-0,074788703
2001	57	-140	65	-15	48	-134	116	-176	56	15	-28	-28	-0,046744914
2002	-5	44	-44	33	-46	13	34	-39	24	16	-59	-4	-0,175173629
2003	43	-31	-25	54	-73	0	-19	95	-88	48	-163	5	-0,233789446
2004	154	-299	39	95	-84	-192	56	42	-51	57	-93	28	0,047940143
2005	139	-355	18	26	39	-77	24	30	-10	20	-75	13	0,10962137
2006	30	-122	89	-60	80	-182	28	62	-76	57	-70	-1	-0,003045675
2007	35	-86	52	-16	-10	3	11	59	-143	69	-67	52	0,010928967
												Среднее	-0,036344782

Таблица 9. Показатели качества прогноза

Показатель	Модель					Методика МЧС России
	1-го порядка	12-го порядка	24-го порядка	60-го порядка	120-го порядка	
Среднее	0,011173	-0,005952	-0,025641	-0,025	0,01666667	-13,3258
Среднее абсолютное отклонение	30,80291	28,957341	26,802761	17,4554167	10,95	67,19682
Стандартное отклонение	39,35077	36,321666	34,914448	26,0453588	14,1690659	89,84982
Средний коэффициент корреляции	0,084084	-0,036087	0,6216092	-0,107506	-0,12603679	-0,03634

Выводы

На примере статистических данных Республики Башкирия за период 1993–2007 гг. по числу пожаров показана возможность применения автокорреляционных моделей для прогнозирования числа пожаров на месяц вперед. В результате сравнения итогов прогнозирования, выполненного по методике, рекомендованной МЧС России, и с использованием авто-

корреляционных моделей, установлено, что последние обеспечивают снижение среднего абсолютного отклонения и стандартного отклонения ошибки в два раза и более. В качестве наиболее перспективных можно рекомендовать автокорреляционные модели 1, 12, 60 и 120-го порядков. Их применение позволит повысить готовность подразделений МЧС России к выполнению задач по ликвидации ЧС.

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 [электронный ресурс]. URL : <http://www.prokvo.ru/load/5-1-0-95> (дата обращения : 12.04.2010).
2. **Бирюкова Л. Г., Бобрик Г. И., Ермаков В. И.** и др. Теория вероятностей и математическая статистика / Под ред. В. И. Ермакова. — М. : ИНФРА-М, 2004.
3. Методические рекомендации по организации взаимодействия центров мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций регионального и территориального уровней / МЧС России. — М., 2004.

Материал поступил в редакцию 9 апреля 2010 г.
Электронный адрес авторов: Kaibitchev@mail.ru.

**И. А. Кайбичев**

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

**К. С. Алексеев**

студент Уральского государственного
технического университета им. Первого
Президента России Б. Н. Ельцина (УГТУ-УПИ),
г. Екатеринбург, Россия

УДК 614.84:519.2

СЕЗОННЫЙ ФАКТОР ПРИ ПРОГНОЗИРОВАНИИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ МЧС

Показано, что методы математического прогнозирования, применяемые в МЧС, не позволяют получить долгосрочный прогноз числа пожаров на год вперед с разбивкой по месяцам года, который необходим для обоснования графика расхода материальных ресурсов по месяцам года, составления плана ремонта техники и графика отпусков личного состава. Данная проблема решена путем применения известного метода выделения линейного тренда на основе известных данных прошлого года с учетом сезонного фактора в мультипликативной и аддитивной моделях. Разработано программное приложение для математического прогнозирования, которое позволяет сделать этот метод доступным для сотрудников подразделений МЧС. Сравнение прогнозных данных с фактическими показывает перспективность для практического применения мультипликативной модели, так как она дает меньшее значение среднего абсолютного отклонения.

Ключевые слова: математическое прогнозирование, сезонный фактор, мультипликативная и аддитивная модели.

Прогнозирование числа чрезвычайных ситуаций (ЧС) на территории субъекта Российской Федерации — одна из актуальных задач деятельности МЧС [1]. Цель работы — рассмотреть применяемые в МЧС методики прогнозирования ЧС и показать возможность применения метода прогнозирования, учитывающего сезонный фактор.

1. Методы математического прогнозирования, применяемые в МЧС России

В настоящее время достаточно широко применяют *долгосрочное прогнозирование* на год вперед [2]. В рамках этого метода прогнозируемое количество природных или техногенных ЧС $N_{\text{пр}}$ локального или местного уровня на территории Российской Федерации, федерального округа, субъекта федерации рассчитывают по формуле [2]:

$$N_{\text{пр}} = \frac{N}{m} K, \quad (1)$$

где N — фактическое количество природных или техногенных ЧС локального или местного уровня за m лет;

m — число лет наблюдений;

K — коэффициент, учитывающий динамику повторяемости чрезвычайных ситуаций локального или местного уровня.

Численное значение K рассчитывается для каждой территории отдельно. В случае затруднений расчета данного коэффициента для оценки количества ЧС используют среднегодовое значение числа ЧС для данной территории. Расчет прогнозируемого количества ЧС регионального и федерального уровня проводят аналогично.

Наиболее часто долгосрочное прогнозирование выполняют на основе данных двух последних лет. Тогда прогнозируемое число природных или техногенных ЧС рассчитывают по формуле

$$N_{i+1} = N_i K_i; \quad K_i = N_i / N_{i-1}, \quad (2)$$

где N_{i+1} — прогнозируемое число ЧС на следующий год;

N_i — фактическое число ЧС за прошедший год;

K_i — коэффициент динамики;

N_{i-1} — фактическое число ЧС за предшествующий прошедшему год.

Долгосрочное прогнозирование дает основу для планирования деятельности подразделений МЧС на год вперед. Оно позволяет обосновать заявки на материальные ресурсы. Недостаток долгосрочного прогнозирования заключается в том, что оно не дает распределения числа ЧС по месяцам планируемого года.

Ожидаемое число ЧС в следующем месяце можно получить с помощью *среднесрочного прогнозиро-*

вания. Этот вид прогноза использует данные двух последних месяцев. Прогнозируемое число природных или техногенных ЧС на следующий месяц рассчитывают по формуле

$$N_{j+1} = N_j K_j; \quad K_j = N_j / N_{j-1}, \quad (3)$$

где N_{j+1} — прогнозируемое число ЧС на следующий месяц;

N_j — фактическое число ЧС за прошедший месяц;

K_j — коэффициент динамики;

N_{j-1} — фактическое число ЧС за предшествующий прошедшему месяц.

Среднесрочное прогнозирование позволяет планировать деятельность подразделений МЧС на следующий месяц. Поскольку при его проведении используют реальные данные двух последних месяцев, результаты среднесрочного прогнозирования по итогам года оказываются, как правило, точнее по сравнению с долгосрочным прогнозом. Недостатком среднесрочного прогнозирования является получение ожидаемого числа ЧС за год только при выполнении прогноза на декабрь текущего года.

Анализ организации прогнозирования в МЧС показал, что существует проблема долгосрочного прогнозирования на год вперед с разбивкой числа ЧС по месяцам года. Такой вид прогноза необходим для построения графика расхода материальных ресурсов на год, что позволило бы повысить готовность подразделений МЧС к выполнению задач по ликвидации ЧС.

Цель работы — применить существующий в математическом прогнозировании метод, позволяющий выделить и учесть сезонный фактор при выполнении долгосрочного прогноза на год вперед.

2. Метод долгосрочного прогнозирования на год вперед с учетом сезонного фактора

Для долгосрочного прогнозирования на год вперед применим достаточно известный метод математического прогнозирования, позволяющий выделить и учесть сезонный фактор [3–5].

Известные данные за 12 месяцев года проанализируем с целью выделения линейного тренда:

$$y_{\text{тренд}} = -ax + b, \quad (4)$$

где $y_{\text{тренд}}$ — трендовое значение показателя в месяце;

a, b — коэффициенты, определяемые по методу наименьших квадратов;

x — номер месяца.

С помощью (4) рассчитаем трендовое значение показателя для каждого месяца года. Для выделения сезонного фактора программа использует мультипликативную и аддитивную модели [3–5].

В рамках мультипликативной модели сезонный коэффициент для каждого месяца определим как

$$K = y_{\text{факт}} / y_{\text{тренд}}, \quad (5)$$

где $y_{\text{факт}}$, $y_{\text{тренд}}$ — фактическое и трендовое число пожаров в данном месяце.

Прогноз на следующий год выполним в два этапа. На первом этапе на основе уравнения линии тренда (4) определим прогнозные трендовые значения.

На втором этапе проведем учет сезонного фактора. Для этого используем предположение о том, что значения сезонных коэффициентов, вычисленные на основе данных для прошлого года, будут справедливы и для следующего года.

Итоговое прогнозное значение числа пожаров для каждого месяца с учетом сезонного фактора вычислим по формуле

$$y_{\text{прог}} = y_{\text{тренд}}^{\text{прог}} K, \quad (6)$$

где $y_{\text{тренд}}^{\text{прог}}$ — прогнозное трендовое значение.

Для оценки правдоподобия прогнозных данных проведем их сравнение с реальными данными. В качестве показателя достоверности используем среднее абсолютное отклонение:

$$\varepsilon = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i^{\text{прог}} - y_i|, \quad (7)$$

где $y_i, y_i^{\text{прог}}$ — фактическое и прогнозное число пожаров в данном месяце.

Выделим сезонный фактор с помощью аддитивной модели. В рамках этой модели для каждого месяца определим сезонную добавку Δy :

$$\Delta y = y_{\text{факт}} - y_{\text{тренд}}. \quad (8)$$

При данном методе прогнозирования отличия наблюдаются только на этапе определения окончательного прогнозного значения с учетом сезонного фактора. Итоговое прогнозное значение для каждого месяца получим по формуле

$$y_{\text{прог}} = y_{\text{тренд}}^{\text{прог}} + \Delta y. \quad (9)$$

Изложенный метод математического прогнозирования позволяет на основе данных о числе пожаров, имевших место в каждом месяце года, определить прогнозное значение для каждого месяца следующего года.

Сезонный фактор учитывался в мультипликативной и аддитивной моделях. Преимущества рассмотренного метода состоят в простоте его применения и доступности для практических работников.

Недостаток метода заключается в проектировании ситуации предшествующего года на следующий с некоторым смещением в направлении линейной линии тренда. Поэтому такой метод не дает возможности предсказать бурный рост или резкий

спад, но может дать неплохие результаты для ситуаций сравнительно стабильного развития.

3. Программа для долгосрочного прогнозирования с учетом сезонного фактора

В целях упрощения процедуры долгосрочного прогнозирования с помощью программы Microsoft Excel и языка программирования Visual Basic for Applications разработано программное приложение, позволяющее прогнозировать показатели деятельности подразделения на год вперед.

Прогноз на следующий год программа выполняет в два этапа (рис. 1). На первом этапе на основе уравнения линии тренда (4) программа находит

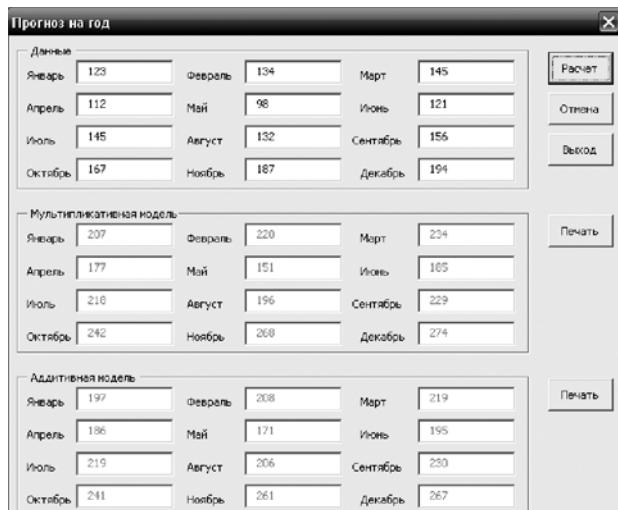


Рис. 1. Рабочее окно программы “Прогноз на год”

прогнозные трендовые значения. На втором этапе вводится учет сезонного фактора. Для этого используется предположение о том, что значения сезонных коэффициентов, вычисленные на основе более ранних данных, будут справедливы и в следующем году.

При нажатии кнопки “Расчет” результаты прогноза будут выведены в разделе “Мультипликативная модель” (см. рис. 1). Нажатие на кнопку “Печать” выведет результаты прогнозирования в виде графика и таблицы. Кнопка “Отмена” очищает поля рабочего окна программы. Кнопка “Выход” закрывает программное приложение.

В рамках аддитивной модели отличия наблюдаются только на этапе определения окончательного прогнозного значения с учетом сезонного фактора.

Результаты прогнозирования будут представлены в разделе “Аддитивная модель”. Нажатие на кнопку “Печать” выведет результаты прогноза в виде графика и таблицы. Кнопка “Отмена” очищает поля рабочего окна программы. Кнопка “Выход” закрывает программное приложение.

Благодаря разработке программного приложения математическое прогнозирование на год вперед стало доступным для сотрудников подразделений МЧС. Программное приложение выдает прогноз с учетом сезонного фактора в мультипликативной и аддитивной моделях.

4. Результаты прогнозирования

Выполним прогнозирование на основе данных 1998–2007 гг. по числу пожаров, произошедших в Свердловской области (табл. 1–10). Для удобства в таблицах приведены данные, на основе которых выполнен расчет прогнозных значений в мульти-

Таблица 1. Данные по пожарам за 1998 и 1999 гг. и прогноз на 1999 г.

Месяц	Данные		Модель		Модуль ошибки 1	Модуль ошибки 2
	1998 г.	1999 г.	мультипликативная	аддитивная		
Январь	799	708	790	789	82	81
Февраль	618	574	611	608	37	34
Март	760	746	751	750	5	4
Апрель	755	1243	746	745	497	498
Май	1699	1185	1679	1689	494	504
Июнь	979	1035	968	969	67	66
Июль	641	985	634	631	351	354
Август	750	837	741	740	96	97
Сентябрь	930	632	919	920	287	288
Октябрь	853	916	843	843	73	73
Ноябрь	816	859	807	806	52	53
Декабрь	766	776	757	756	19	20
Среднее	864	875	854	854	171,667	172,667
Среднее отклонение	169,4167	165,1111	167,4167	169,4167		
Дисперсия	79727,06	43325,88	77833,79	79727,06		
Стандартное отклонение	282,3598	208,1487	278,9871	282,3598		

пликативной и аддитивной моделях на следующий год, фактические данные на текущий год и модули разницы между фактическими и прогнозными значениями в мультипликативной (модуль ошибки 1) и аддитивной (модуль ошибки 2) моделях. Ошибка прогноза оценена с помощью среднего абсолютно го отклонения, вычисленного в строке "Среднее" в колонках "Модуль ошибки 1" для мультипликативной и "Модуль ошибки 2" для аддитивной моделей

(значения выделены курсивом). В целом можно сделать вывод, что обе модели дают достаточно близкие результаты.

В результате сравнения ошибки прогноза в мультипликативной и аддитивной моделях можно сделать вывод, что аддитивная модель дает ошибку на 5,33 % больше, чем мультипликативная (табл. 11).

В результате сравнения прогнозного числа пожаров с фактическим установлено, что среднее аб-

Таблица 2. Данные по пожарам за 1999 и 2000 гг. и прогноз на 2000 г.

Месяц	Данные		Модель		Модуль ошибки 1	Модуль ошибки 2
	1999 г.	2000 г.	мультипликативная	аддитивная		
Январь	708	656	719	722	63	66
Февраль	574	627	585	590	42	37
Март	746	761	758	760	3	1
Апрель	1243	997	1263	1257	266	260
Май	1185	942	1204	1199	262	257
Июнь	1035	971	1052	1049	81	78
Июль	985	896	1002	1000	106	104
Август	837	736	850	851	114	115
Сентябрь	632	906	642	646	264	260
Октябрь	916	960	931	930	29	30
Ноябрь	859	928	873	873	55	55
Декабрь	776	859	788	790	71	69
Среднее	875	853	889	889	113,000	111,000
Среднее отклонение	165,1111	105,5	167,9028	165,0694		
Дисперсия	43325,88	16035,11	44696,99	43236,99		
Стандартное отклонение	208,1487	126,6298	211,4166	207,9351		

Таблица 3. Данные по пожарам за 2000 и 2001 гг. и прогноз на 2001 г.

Месяц	Данные		Модель		Модуль ошибки 1	Модуль ошибки 2
	2000 г.	2001 г.	мультипликативная	аддитивная		
Январь	656	734	842	870	108	136
Февраль	627	607	801	841	194	234
Март	761	579	967	975	388	396
Апрель	997	1247	1261	1211	14	36
Май	942	1026	1186	1156	160	130
Июнь	971	753	1216	1184	463	431
Июль	896	759	1119	1110	360	351
Август	736	757	915	950	158	193
Сентябрь	906	754	1122	1120	368	366
Октябрь	960	716	1185	1174	469	458
Ноябрь	928	765	1128	1131	363	366
Декабрь	859	1006	1053	1073	47	67
Среднее	853	809	1066	1066	257,667	263,667
Среднее отклонение	105,5	142,2083	125,5417	104,8333		
Дисперсия	16035,11	36274,45	22913,3	15874,2		
Стандартное отклонение	126,6298	190,4585	151,3714	125,9929		

соглошное отклонение меньше для мультиплекативной модели, поэтому она более перспективна для практического использования.

5. Связь параметров исходного набора данных с ошибкой прогноза

Исходный набор данных для прогнозирования (см. табл. 1–10) может быть охарактеризован:

- средним числом пожаров (строка “Среднее”);

- средним абсолютным отклонением от среднего числа (среднее отклонение);
- дисперсией;
- стандартным отклонением.

Для установления возможной связи параметров исходных данных со средним абсолютным отклонением вычисляем коэффициент корреляции (табл. 12). Он оказался более 0,5 только для наборов данных по среднему значению и среднему абсолютному

Таблица 4. Данные по пожарам за 2001 и 2002 гг. и прогноз на 2002 г.

Месяц	Данные		Модель		Модуль ошибки 1	Модуль ошибки 2
	2001 г.	2002 г.	мультиплекативная	аддитивная		
Январь	734	736	818	822	82	86
Февраль	607	565	677	696	112	131
Март	579	618	655	667	37	49
Апрель	1247	1327	1387	1336	60	9
Май	1026	1473	1139	1114	334	359
Июнь	753	778	835	841	57	63
Июль	759	758	842	848	84	90
Август	757	829	838	845	9	16
Сентябрь	754	857	834	842	23	15
Октябрь	716	714	792	805	78	91
Ноябрь	765	657	845	853	188	196
Декабрь	1006	864	1111	1095	247	231
Среднее	809	848	898	897	109,25	111,3333
Среднее отклонение	142,2083	188,1667	157,2917	142,3333		
Дисперсия	36274,45	75794	44155,11	36327,82		
Стандартное отклонение	190,4585	275,3071	210,1312	190,5986		

Таблица 5. Данные по пожарам за 2002 и 2003 гг. и прогноз на 2003 г.

Месяц	Данные		Модель		Модуль ошибки 1	Модуль ошибки 2
	2002 г.	2003 г.	мультиплекативная	аддитивная		
Январь	736	660	686	677	26	17
Февраль	565	570	527	506	43	64
Март	618	657	577	560	80	97
Апрель	1327	1308	1238	1269	70	39
Май	1473	2063	1373	1415	690	648
Июнь	778	741	725	720	16	21
Июль	758	803	705	699	98	104
Август	829	785	771	770	14	15
Сентябрь	857	812	797	798	15	14
Октябрь	714	1117	663	655	454	462
Ноябрь	657	884	611	599	273	285
Декабрь	864	764	803	806	39	42
Среднее	848	930	790	790	151,5	150,667
Среднее отклонение	188,1667	282,8333	175,3889	188,3333		
Дисперсия	75794	168640,1	66013,15	75908,64		
Стандартное отклонение	275,3071	410,6581	256,9302	275,5152		

отклонению. Поэтому можно утверждать, что среднее абсолютное отклонение зависит только от среднего числа пожаров за прошедший год и не зависит от остальных исходных данных.

График зависимости среднего абсолютного отклонения прогноза от среднего числа пожаров за прошлый год показывает наличие между ними нелинейной связи (рис. 2).

С помощью функции “Линейн” программы Microsoft Excel установлена возможность аппроксима-

ции связи между средним числом пожаров за прошлый год и средним абсолютным отклонением прогноза полиномом шестой степени:

$$Y = a_0 + a_1 z + a_2 z^2 + a_3 z^3 + a_4 z^4 + a_5 z^5 + a_6 z^6, \quad (10)$$

где Y — среднее абсолютное отклонение прогноза; $a_0, a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6$ — постоянные коэффициенты (табл. 13); z — среднее число пожаров за прошлый год.

Таблица 6. Данные по пожарам за 2003 и 2004 гг. и прогноз на 2004 г.

Месяц	Данные		Модель		Модуль ошибки 1	Модуль ошибки 2
	2003 г.	2004 г.	мультипликативная	аддитивная		
Январь	660	742	689	700	53	42
Февраль	570	716	594	609	122	107
Март	657	772	685	696	87	76
Апрель	1308	802	1363	1347	561	545
Май	2063	2714	2152	2103	562	611
Июнь	741	971	772	780	199	191
Июль	803	1108	837	842	271	266
Август	785	778	819	825	41	47
Сентябрь	812	694	846	851	152	157
Октябрь	1117	679	1163	1156	484	477
Ноябрь	884	679	920	923	241	244
Декабрь	764	782	796	804	14	22
Среднее	930	953	970	970	232,25	232,083
Среднее отклонение	282,8333	322,2917	294,8333	282,8333		
Дисперсия	168640,1	323529,2	183475,3	168740,4		
Стандартное отклонение	410,6581	568,7963	428,3402	410,7803		

Таблица 7. Данные по пожарам за 2004 и 2005 гг. и прогноз на 2005 г.

Месяц	Данные		Модель		Модуль ошибки 1	Модуль ошибки 2
	2004 г.	2005 г.	мультипликативная	аддитивная		
Январь	742	756	548	459	208	297
Февраль	716	700	525	433	175	267
Март	772	548	560	488	12	60
Апрель	802	1149	578	519	571	630
Май	2714	1404	1935	2430	531	1026
Июнь	971	741	685	687	56	54
Июль	1108	940	775	825	165	115
Август	778	922	537	494	385	428
Сентябрь	694	803	474	411	329	392
Октябрь	679	1287	459	396	828	891
Ноябрь	679	989	451	395	538	594
Декабрь	782	745	513	499	232	246
Среднее	953	915	670	670	335,833	416,667
Среднее отклонение	322,2917	199,8333	230,8333	322,1667		
Дисперсия	323529,2	65120,42	167380,4	323320,6		
Стандартное отклонение	568,7963	255,187	409,1215	568,6129		

Таблица 8. Данные по пожарам за 2005 и 2006 гг. и прогноз на 2006 г.

Месяц	Данные		Модель		Модуль ошибки 1	Модуль ошибки 2
	2005 г.	2006 г.	мультипликативная	аддитивная		
Январь	756	929	937	953	8	24
Февраль	700	624	863	896	239	272
Март	548	619	673	744	54	125
Апрель	1149	883	1408	1346	525	463
Май	1404	2912	1713	1600	1199	1312
Июнь	741	1029	901	937	128	92
Июль	940	788	1139	1136	351	348
Август	922	855	1114	1118	259	263
Сентябрь	803	947	968	999	21	52
Октябрь	1287	838	1546	1483	708	645
Ноябрь	989	811	1185	1185	374	374
Декабрь	745	742	890	941	148	199
Среднее	915	998	1111	1112	334,5	347,4167
Среднее отклонение	199,8333	324,1389	239,4167	199,8333		
Дисперсия	65120,42	378101,4	94828,99	65134,09		
Стандартное отклонение	255,187	614,8995	307,9432	255,2138		

Таблица 9. Данные по пожарам за 2006 и 2007 гг. и прогноз на 2007 г.

Месяц	Данные		Модель		Модуль ошибки 1	Модуль ошибки 2
	2006 г.	2007 г.	мультипликативная	аддитивная		
Январь	929	717	753	722	36	5
Февраль	624	590	504	417	86	173
Март	619	698	498	412	200	286
Апрель	883	1280	707	676	573	604
Май	2912	1114	2323	2705	1209	1591
Июнь	1029	802	817	822	15	20
Июль	788	791	623	581	168	210
Август	855	870	673	648	197	222
Сентябрь	947	865	742	740	123	125
Октябрь	838	1303	653	631	650	672
Ноябрь	811	961	629	604	332	357
Декабрь	742	869	572	535	297	334
Среднее	998	905	791	791	323,8333	383,25
Среднее отклонение	324,1389	173	259,6111	324,1389		
Дисперсия	378101,4	50090	242019,6	378101,4		
Стандартное отклонение	614,8995	223,808	491,9549	614,8995		

Модельные значения для среднего абсолютного отклонения прогноза вычисляли на основе полинома (10) с коэффициентами, приведенными в табл. 14. Установлено, что среднее значение для модуля разницы между модельными и фактическими значениями равно 65,65. Отклонение модельных данных от фактических в среднем составляет 28,5 %, что дает основание для практического использования предложенной зависимости (10).

Выводы

В результате анализа организации прогнозирования в МЧС выявлена проблема выполнения долгосрочного прогнозирования на год вперед с разбивкой числа ЧС по месяцам года.

Для решения этой проблемы был применен достаточно известный метод выделения линейного тренда на основе данных по числу пожаров, имевших место в каждом месяце прошлого года. Сезонный

Таблица 10. Данные по пожарам за 2007 и 2008 гг. и прогноз на 2008 г.

Месяц	Данные		Модель		Модуль ошибки 1	Модуль ошибки 2
	2007 г.	2008 г.	мультипликативная	аддитивная		
Январь	717	811	965	987	154	176
Февраль	590	620	788	860	168	240
Март	698	592	926	968	334	376
Апрель	1280	4011	1587	1550	2424	2461
Май	1114	2276	1459	1384	817	892
Июнь	802	902	1043	1071	141	169
Июль	791	1040	1024	1061	16	21
Август	870	708	1119	1139	411	431
Сентябрь	865	697	1108	1135	411	438
Октябрь	1303	890	1659	1572	769	682
Ноябрь	961	717	1219	1231	502	514
Декабрь	869	792	1096	1138	304	346
Среднее	905	1171	1166	1175	537,5833	562,1667
Среднее отклонение	173	657,3889	209,9444	173,0556		
Дисперсия	50090	1001123	72327,17	50049,52		
Стандартное отклонение	223,808	1000,561	268,9371	223,7175		

Таблица 11. Среднее абсолютное отклонение для мультипликативной и аддитивной моделей

Прогнозируемый год	Мультипликативная модель	Аддитивная модель	Соотношение Адди/Мульти, %
1999	171,6667	172,6667	100,58
2000	113	111	98,23
2001	257,6667	263,6667	102,33
2002	109,25	111,3333	101,91
2003	151,5	150,6667	99,45
2004	232,25	232,0833	99,93
2005	335,8333	416,6667	124,07
2006	334,5	347,4167	103,86
2007	323,8333	383,25	118,35
2008	537,5833	562,1667	104,57
Среднее		105,33	

фактор учитывали в мультипликативной и аддитивной моделях. Прогнозное значение для каждого месяца следующего года определяли путем продолжения линейного тренда в будущее и умножения на сезонный коэффициент (мультипликативная модель) или использования сезонной добавки (аддитивная модель). Преимущества рассмотренного метода состоят в простоте его применения и доступности для практических работников. Недостаток метода заключается в проектировании ситуации предшествующего года на следующий год со смещением в направлении линейной линии тренда. Поэтому такой метод не позволяет предсказывать бурный рост или резкий спад, но может дать неплохие результаты для ситуаций сравнительно стабильного развития.

Таблица 12. Параметры данных предшествующих годов и среднее абсолютное отклонение для мультипликативной модели

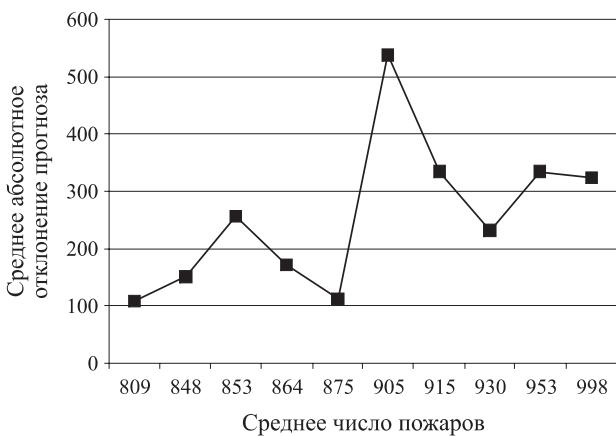
Прогнозируемый год	Среднее	Среднее отклонение	Дисперсия	Стандартное отклонение	Среднее абсолютное отклонение
1999	864	169,4166667	79727,0606	282,359807	171,6667
2000	875	165,1111111	43325,8788	208,1486939	113
2001	853	105,5	16035,1136	126,6298292	257,6667
2002	809	142,2083333	36274,447	190,4585177	109,25
2003	848	188,1666667	75794	275,3071013	151,5
2004	930	282,8333333	168640,061	410,6580824	232,25
2005	953	322,2916667	323529,174	568,7962502	335,8333
2006	915	199,8333333	65120,4242	255,1870378	334,5
2007	998	324,1388889	378101,356	614,8994683	323,8333
2008	905	173	50090	223,8079534	537,5833
Корреляция	0,57041	0,284199663	0,26255159	0,247548085	—

Таблица 13. Коэффициенты полинома

a_6	a_5	a_4	a_3	a_2	a_1	a_0
7,02038E-11	-3,00357E-07	0,000501	-0,395773	131,6535	0	-6875266

Таблица 14. Сравнение модельных значений с фактическими

Среднее	Среднее абсолютное отклонение	Модельное значение	Модуль разницы	Модуль разницы / среднее абсолютное отклонение, %
809	109,2500000	112,7757600	3,52576261	3,23
848	151,5000000	165,3060000	13,80599968	9,11
853	257,6666667	173,1011900	84,56547353	32,82
864	171,6666667	198,6449600	26,97829565	15,72
875	113,0000000	234,5697600	121,5697619	107,58
905	537,5833333	342,5812100	195,0021257	36,27
915	334,5000000	363,1799200	28,67992046	8,57
930	232,2500000	363,1636200	130,9136198	56,37
953	335,8333333	287,1486900	48,68463907	14,50
998	323,8333333	326,6122100	2,77887849	0,86
Среднее		65,65044769		28,50

**Рис. 2.** Зависимость среднего абсолютного отклонения прогноза от среднего числа пожаров за прошлый год

Разработано программное приложение для математического прогнозирования, которое делает этот метод доступным для сотрудников подразделений МЧС России.

На основе данных 1998–2007 гг. по числу пожаров, произошедших в Свердловской области, проведено долгосрочное прогнозирование на год вперед с разбивкой по месяцам. В результате сравнения прогнозных значений числа пожаров с фактическими установлена перспективность для практическо-

го применения мультипликативной модели, так как она дает меньшее значение среднего абсолютного отклонения.

С помощью вычисления коэффициента корреляции доказано, что среднее абсолютное отклонение зависит только от среднего числа пожаров за прошлый год и не зависит от остальных параметров годового распределения пожаров по месяцам.

Построена математическая модель зависимости среднего абсолютного отклонения от среднего числа пожаров за прошлый год в виде полинома шестой степени, рассчитаны коэффициенты полинома. Это позволяет на основе данных по среднему числу пожаров за прошедший год оценить среднее абсолютное отклонение для прогноза на будущий год.

Сравнение модельных значений для среднего абсолютного отклонения с фактическими показало, что отклонение в среднем составляет 28,5 %, что дает основание для практического использования предложенной математической модели.

Долгосрочное прогнозирование на год вперед с разбивкой по месяцам позволяет обосновать график расхода материальных ресурсов на год, что дает возможность повысить готовность подразделений МЧС России к выполнению задач по ликвидации ЧС.

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 [электронный ресурс]. URL : <http://www.prokvo.ru/load/5-1-0-95> (дата обращения : 12.04.2010).
2. Методические рекомендации по организации взаимодействия центров мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций регионального и территориального уровней / МЧС России. — М., 2004.
3. **Минько А. А.** Статистика в бизнесе: Руководство менеджера и финансиста. — М. : Эксмо, 2008.
4. **Минько А. А.** Прогнозирование в бизнесе с помощью Excel. — М. : Эксмо, 2007.
5. **Захарченко Н. И.** Бизнес-статистика и прогнозирование в MS Excel. — М. : Издательский дом "Вильямс", 2004.

Материал поступил в редакцию 9 апреля 2010 г.
Электронный адрес авторов: Kaibitchev@mail.ru.



Издательство «ПЖНАУКА»

Представляет новую 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, ул. Давыдовская, д. 12, стр. 7;
тел./факс: (495) 228-09-03; e-mail: mail@firepress.ru



И. А. Агафонов
канд. хим. наук, доцент
Самарского государственного
технического университета,
г. Самара, Россия



И. К. Гаркушин
д-р хим. наук, профессор,
заведующий кафедрой Самарского
государственного технического
университета, г. Самара, Россия



Н. М. Барбин
д-р техн. наук, старший научный
сотрудник, заведующий кафедрой
Уральского института ГПС МЧС
России, г. Екатеринбург, Россия



А. В. Баканов
аспирант Самарского
государственного техни-
ческого университета,
г. Самара, Россия

УДК 541.1

АНАЛИЗ ВЗАИМОСВЯЗИ СВОЙСТВ н-АЛКАНОВ И α -ОЛЕФИНОВ НОРМАЛЬНОГО СТРОЕНИЯ

Проанализирована взаимосвязь некоторых пожароопасных свойств α -олефинов нормального строения и н-алканов. Выведены формулы, описывающие зависимости между свойствами этих углеводородов. При помощи найденных уравнений определены значения рассмотренных свойств высокомолекулярных α -олефинов. Приведены результаты расчетов по предложенным формулам.

Ключевые слова: пожароопасные свойства, алканы, олефины.

Вторыми проведен анализ закономерностей, связывающих свойства предельных углеводородов нормального строения и α -олефинов. Исследование базировалось на методе М. Х. Карапетьянца. В основе его лежит приближенное соотношение $G_2 = AG_1 + B_1$, полученное при сопоставлении значений какого-либо свойства G в двух рядах сходных веществ. Причем анализ проводится не только в обычных, но и в функциональных шкалах, а в качестве G может быть взято как свойство, так и комплекс свойств [1]. Этот подход был реализован в настоящей работе.

Нормальные алканы являются, пожалуй, наиболее изученными веществами, образующими гомологический ряд. Следовательно, сведения о свойствах этих веществ могут быть использованы при поиске свойств углеводородов, принадлежащих другим гомологическим рядам. С одной стороны, актуальность подобных исследований обусловлена поиском веществ, которые могли бы выступать в качестве рабочих тел тепловых аккумуляторов, а с другой — большой интерес представляет прогнозирование показателей пожарной опасности. Исходные данные для исследования взяты из работ [2, 3].

В результате анализа температур плавления $t_{\text{пл}}$ н-алканов и α -олефинов найдена линейная зависимость, описываемая уравнением

Результаты расчета температур вспышки

Число углеродных атомов	Температура вспышки, °C			Погрешность	
	н-алкана	олефина		°C	%
		экспериментальная	расчетная		
7	-4,0	-4,0	-1,51	-2,49	62,34
8	14,0	21,0	16,09	4,91	23,40
10	47,0	48,0	48,34	-0,34	-0,70
12	77,0	75,0	77,66	-2,66	-3,54
13	90,0	84,0	90,36	-6,36	-7,57
14	103,0	110,0	103,07	6,93	6,30
15	115,0	—	114,79	—	—
16	128,0	—	127,50	—	—
17	137,0	—	136,30	—	—
18	147,0	—	146,07	—	—

$$t_{\text{пл. олеф}} = -24,62 + 1,1329 t_{\text{пл. алк}} \quad (r^2 = 0,9883), \quad (1)$$

где r — коэффициент корреляции.

Температура кипения α -олефинов $t_{\text{кип. олеф}}$ с приемлемой точностью (не более 2–5 °C, за исключением 1-октена, для которого погрешность расчета составляет 8 °C) может быть определена по уравнению

нию (2) через температуру кипения соответствующего алкана:

$$t_{\text{кип. олеф}} = -8,06 + 1,021 t_{\text{кип. алк}} \quad (r^2 = 0,9989). \quad (2)$$

Между теплотами сгорания $H_{\text{ср}}$ н-алканов и 1-алкенов также существует линейная зависимость. Относительная ошибка расчета по уравнению (3) не превышает 5 %:

$$H_{\text{ср. олеф}} = 285,94 + 1,022 H_{\text{ср. алк}} \quad (r^2 = 0,9990). \quad (3)$$

Взаимосвязь температур вспышки $t_{\text{всп}}$ предельных углеводородов и олефинов с удовлетворительной точностью может быть описано формулой

$$t_{\text{всп. олеф}} = 2,4 + 0,977 t_{\text{всп. алк}} \quad (r^2 = 0,9860). \quad (4)$$

Результаты расчета по уравнению (4) в сравнении с экспериментальными данными [3] приведены в таблице.

Выводы

Определена взаимосвязь физико-химических свойств и показателей пожарной опасности н-алканов и α -олефинов. Предложены линейные уравнения для прогнозирования температур плавления, кипения, вспышки и теплот сгорания α -олефинов нормального строения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Карапетянц М. Х.** Методы сравнительного расчета физико-химических свойств. — М. : Наука, 1965.
- Татевский В. М.** Физико-химические свойства углеводородов. — М. : Гостоптехиздат, 1960.
- Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения : справочник / Под ред. А. Н. Баратова и А. Я. Корольченко. — М. : Химия, 1990. — Кн. 1, 2.

Материал поступил в редакцию 9 апреля 2010 г.
Электронный адрес авторов: NMBarbin@yandex.ru.



Издательство «ПОЖНАУКА»

Представляет новую 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 “Издательство “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 эксплозивной 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, ул. Давыдовская, д. 12, стр. 7;
тел./факс: (495) 228-09-03; e-mail: mail@firepress.ru



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



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



К. С. Алексеев
студент Уральского государствен-
ного технического университета
им. Первого Президента России
Б. Н. Ельцина (УГТУ-УПИ),
г. Екатеринбург, Россия



С. А. Орлов
канд. техн. наук, замести-
тель начальника Уральского
института ГПС МЧС России
по научной работе, г. Екате-
ринбург, Россия

УДК 614.84:547.42

СВЯЗЬ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ С ХИМИЧЕСКИМ СТРОЕНИЕМ. I. АЛКАНОЛЫ

Изучены зависимости температур вспышки, воспламенения, самовоспламенения, температурных и концентрационных пределов от длины углеводородной цепи на примере алифатических спиртов. Найдены линейные и степенные зависимости показателей пожарной опасности от длины углеводородной цепи. Показана взаимосвязь между показателями пожарной опасности нормальных алканолов и олефинов. Предложено правило "углеродной цепи" для прогнозирования температур вспышки, воспламенения, самовоспламенения и температурных пределов распространения пламени нелинейных алканолов и циклоалканолов.

Ключевые слова: спирт, алканол, циклоалканол, температура вспышки, температура воспламенения, темпера-
тура самовоспламенения, зависимость.

Корреляция между химическим строением вещества и показателями пожарной опасности не раз привлекала внимание многих исследователей, результатом чего стало появление различных методик по определению температур вспышки ($t_{\text{всп}}$), воспламенения ($t_{\text{вос}}$), самовоспламенения ($t_{\text{свс}}$), температурных (ТПВ) и концентрационных (КПВ) пределов воспламенения. В этих методиках либо использовался аддитивный подход, основанный на выделении структурных элементов атомов или условных фрагментов молекулы, либо предлагалась для определенно-го класса органических соединений своя эмпирическая формула [1–5]. Недостатком этих подходов является то, что в них практически не рассматривается такое явление, как изомеризация органических молекул. В какой-то степени явление изомеризации учтено в методе определения температуры самовоспламенения по условной средней длине молекулы [2, 3]. Однако из-за несовершенства экспериментальной методики определения температуры самовоспламенения, а возможно и самой расчетной методики, она не нашла своего отражения в национальном стандарте [1].

Объектом нашего исследования явились предельные алифатические спирты (алканолы). На основе справочных данных [6, 7] составлена табл. 1, в ко-

торой приведены основные показатели пожарной опасности нормальных алканолов и соответствую-
щих им алкенов (олефинов). В целях восполнения недостающих экспериментальных параметров и со-
поставления данных эксперимента и расчета пока-
затели пожарной опасности первичных нормальных спиртов были также рассчитаны по формулам [3]:

$$t_{\text{всп}} = a + bt_{\text{кип}}; \quad (1)$$

где a , b — эмпирические константы; для спиртов $a = -41,69$, $b = 0,652$ [3];

$t_{\text{кип}}$ — температура кипения спирта; значения $t_{\text{кип}}$ взяты из [8, 9];

$$t_{\text{вос}} = \frac{t_{\text{кип}} + 273}{1 + k(t_{\text{кип}} + 273)} - 273; \quad (2)$$

k — эмпирический параметр; для спиртов $k = 6 \cdot 10^{-4}$ [3];

$$t_{\text{свс}} = 0,6796t_1 + 121,2; \quad (3)$$

t_1 — температура самовоспламенения алкана, соответствующего спирту [3];

$$\text{ТПВ} = k t_{\text{кип}} - l; \quad (4)$$

k , l — эмпирические константы; для спиртов при расчете НТПВ $k = 0,61$, $l = 38$; ВТПВ — $k = 0,69$, $l = 15$ [3].

© Алексеев С. Г., Барбин Н. М., Алексеев К. С., Орлов С. А., 2010

Для сравнения приведены данные международной компании Sigma-Aldrich [9] по температуре вспышки и концентрационным пределам воспламенения ряда спиртов (см. табл. 1). Наряду с хорошей сходимостью зарубежных результатов с данными наших классических справочников [6, 7], для большинства нормальных спиртов имеются и существенные расхождения для C_{1-} , C_{3-} , C_{8-} , C_{10-} , C_{12-} , C_{13-} и C_{16-} -спиртов, что, вероятно, связано с их различной химической чистотой и возможным аппаратурным различием в методе определения температуры вспышки.

На основании отечественных данных нами найдены зависимости температур вспышки, воспламенения и самовоспламенения, а также температурных и концентрационных пределов воспламенения от числа атомов углерода в нормальных алифатических спиртах:

$$t_{\text{всп}} = 11,42C_x - 8,2198 \quad (r = 0,998); \quad (5)$$

$$t_{\text{вос}} = 11,599C_x - 1,6538 \quad (r = 0,998); \quad (6)$$

$$t_{\text{свс}} = 457,08C_x^{-0,247} \quad (r = 0,981); \quad (7)$$

$$HTPB = 10,373C_x - 4,5259 \quad (r = 0,999); \quad (8)$$

$$BTPB = 12,115C_x + 20,267 \quad (r = 0,997); \quad (9)$$

$$HCPB = 7,0163C_x^{-0,989} \quad (r = 1,000); \quad (10)$$

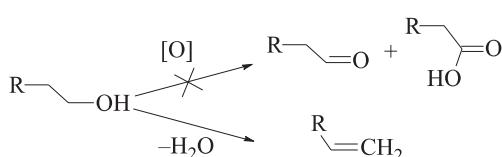
$$BKPB = 33,279C_x^{-0,8194} \quad (r = 0,997), \quad (11)$$

где C_x — число атомов углерода в спирте;

r — коэффициент корреляции.

Результаты расчетов по формулам (5)–(11) приведены в табл. 1 в графах “Прогноз”. В большинстве случаев прогнозируемые показатели пожарной опасности хорошо согласуются с экспериментальными данными (см. табл. 1).

С учетом ранее проведенных исследований [10] нами выдвинуто предположение, что в темной области пламени, где его температура составляет порядка 300–400 °C, доминирующей химической реакцией является не окисление спиртов до альдегидов и карбоновых кислот, а их дегидратация с образованием соответствующих олефинов:



Таким образом, в светящейся области пламени должно происходить горение не спиртов, а непредельных углеводородов.

Сопоставление литературных данных по температуре самовоспламенения и концентрационным пределам воспламенения первичных спиртов и олефинов подтверждает нашу гипотезу (см. табл. 1).

Различия в показателях пожарной опасности спиртов и алканов находятся в пределах ошибки эксперимента. Исключением является область воспламенения этилена, которая шире области воспламенения этанола. Аномальное значение температуры самовоспламенения пропилена скорее всего связано либо с опечаткой в [6, 7], либо с неточностью экспериментального определения.

Сравнение показателей пожарной опасности изомерных спиртов с их линейными аналогами (нормальными алканолами) позволяет выявить следующие закономерности:

1) переход от линейных (нормальных) однокомпонентных спиртов к их изомерным аналогам приводит к заметному изменению таких температурных показателей пожарной опасности, как температуры вспышки, воспламенения, самовоспламенения и температурные пределы воспламенения. При этом переход практически не оказывается на изменении концентрационных пределов воспламенения изомерных спиртов;

2) существует правило “углеродной цепи”, которое можно сформулировать следующим образом: “температурные показатели пожарной опасности изомерных алканолов можно предсказать по аналогичным показателям нормальных спиртов”.

Продемонстрируем действие правила “углеродной цепи” на конкретных примерах. Начнем с простых примеров. Возьмем изопропанол (I) и 2-бутиanol (II) (рис. 1).

Основная углеродная цепь (ОУЦ) выделена на рис. 1 прямоугольником. Для изопропилового спирта (I) это C–C или C_2 , а для 2-бутилового спирта — C_3 . В α -положении молекул алканолов I и II находится метильная группа, выделенная кругом. Обнаружено, что CH_3 -заместитель в α -положении от гидроксильной группы не удлиняет основную углеродную цепь, поэтому в этих случаях условная углеродная цепь (УУЦ) будет равна ОУЦ в молекулах I и II. Таким образом, температурные показатели пожарной опасности соединений I и II будут аналогичны показателям пожаровзрывоопасности соответственно этанола и пропанола (см. табл. 1 и 2). Отметим, что введение второй метильной группы в α -положение молекулы спирта также не приводит

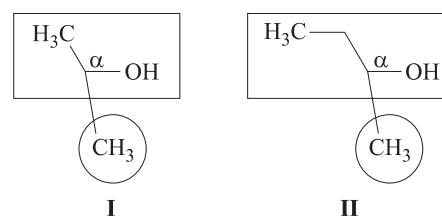


Рис. 1. Схема правила “углеродной цепи” для изопропанола (I) и 2-бутианола (II)

Таблица 1. Показатели пожарной опасности н-алканолов и олефинов [3, 6, 7, 9]

Длина углеродной цепи	Температура, °C								Алканол / Олефин		
	вспышки ¹⁾		воспламенения		самовоспламенения		Temperaturные пределы воспламенения		Концентрационные пределы воспламенения		
	Эксперимент, расчет	Прогноз	Эксперимент, расчет	Прогноз	Эксперимент, расчет	Прогноз	Эксперимент, расчет	Прогноз	Эксперимент, расчет	Прогноз	Эксперимент, расчет
C ₁ 6; (11; 1 ²⁾	3	13; 8 ²⁾	15	440; 486 ²⁾	457	5; 2 ²⁾	2	39; 30 ²⁾	32	7,0; (6,0)	35,5; (36,0)
C ₂ 13; (12; 14); 9 ²⁾	15	18; 17 ²⁾	25	400; 471 ²⁾ 435	385	11; 10 ²⁾	13	41; 39 ²⁾	44	3,6; (3,3) 2,7	17,7; (19,0) 34
C ₃ 23; (15; 22 ²⁾	26	30; 30 ²⁾	36	371; 441 ²⁾ 455	348	21; 21 ²⁾	24	55; 52 ²⁾	57	2,3; (2,1) 2,4	13,6; (13,7) 11
C ₄ 35; (35; 35 ²⁾	37	43; 44 ²⁾	46	340; 396 ²⁾ 384	325	34; 34 ²⁾	35	67; 66 ²⁾	69	1,8; (1,4) 1,6	10,9; (11,2) 10
C ₅ 48; (49); 48 ²⁾	49	57; 57 ²⁾	56	300; 316 ²⁾ 273	307	45; 46 ²⁾	46	79; 80 ²⁾	81	1,5; (1,2) 1,4	8,3; (10,0) 8,7
C ₆ 60; (59); 61 ²⁾	60	70; 69 ²⁾	67	285; 280 ²⁾ 254	294	57; 58 ²⁾	57	92; 93 ²⁾	93	1,2; (1,3) 1,2 ³⁾	1,2 7,4 ³⁾
C ₇ 74; (70); 73 ²⁾	72	82; 81 ²⁾	77	275; 273 ²⁾ 260	283	68; 69 ²⁾	68	106; 106 ²⁾	105	1,0 1,0 ³⁾	1,0 6,8 ³⁾
C ₈ 86; (80); 86 ²⁾	83	92; 93 ²⁾	88	260; 267 ²⁾ 245	273	80; 82 ²⁾	79	116; 120 ²⁾	117	0,9 0,9 ³⁾	0,9 6,0
C ₉ 96; (98); 98 ²⁾	95	104; 104 ²⁾	98	260; 261 ²⁾	266	91; 93 ²⁾	90	132; 133 ²⁾	129	0,8 0,8 ³⁾	0,8 5,4
C ₁₀ 110; (82); 109 ²⁾	106	117; 114 ²⁾	108	250; 278 ²⁾	259	103; 103 ²⁾	101	142; 144 ²⁾	141	0,7 ³⁾	0,7 5,5 ³⁾
C ₁₁ 116; (113); 121 ²⁾	117	124; 125 ²⁾	119	250; 261 ²⁾	253	110; 115 ²⁾	112	150; 158 ²⁾	154	0,7	0,7 4,6
C ₁₂ 131; (121); 129 ²⁾	129	139; 132 ²⁾	129	245; 250; 258 ²⁾	247	121; 122 ²⁾	123	165; 166 ²⁾	166	0,6	0,6 4,5
C ₁₃ 135; (113); 137 ²⁾	140	145; 139 ²⁾	139	250; 260 ²⁾	243	129 ²⁾	134	174 ²⁾	178	-	0,6 - 4,1
C ₁₄ 151; (148); 147 ²⁾	152	133 ^{2), 147^{2), 4)}}	150	240; 258 ²⁾	238	138 ²⁾	145	184 ²⁾	190	- 0,5 - 3,8	- 0,5 - 3,8

Окончание табл. 1

		Алканол / Олефин									
Длина углеродной цепи	вспышки ¹⁾	Температура, °C									
		воспламенения		самовоспламенения		Temperaturные пределы воспламенения		Концентрационные пределы воспламенения			
		Эксперимент, расчет	Прогноз	Эксперимент, расчет	Прогноз	Эксперимент, расчет	Прогноз	Эксперимент, расчет	Прогноз	Эксперимент, расчет	Концентрация, % (об.)
C ₁₅ (112; 134 ²⁾	163 137 ²⁾	160	259 ²⁾	234	127 ²⁾	156	171 ²⁾	202	—	0,5	— 3,6
C ₁₆ (170; 183 ²⁾	175 180; 177 ²⁾	170	245; 262 ²⁾	230	172 ²⁾	167	222 ²⁾	214	—	0,5	— 3,4

При меч ани я :
Курсивом обозначены расчетные данные. В скобках приведены данные компании Sigma-Aldrich [9] (используемый метод определения температуры вспышки (з. т. или о. т.) неизвестен).

1) Для спиртов C₁–C₄ — в закрытом тигле, для остальных алканолов используемый метод определения температуры вспышки (з. т. или о. т.) неизвестен.
2) Рассчитано авторами.

3) Литературные данные [6, 7].

4) Для тетрадецилового спирта приведены различные значения температуры кипения [8, 9].

Таблица 2. Сравнение экспериментальных данных с прогнозируемыми показателями пожарной опасности для изомерных спиртов и циклоалканолов

Алканол	УУЦ	Temperatura, °C										Temperaturные пределы воспламенения, °C					
		вспышки		воспламенения		самовоспламенения		нижний				верхний					
		Литер. данные	Прогноз	Ошибкa	Литер. данные	Прогноз	Ошибкa	Литер. данные	Прогноз	Ошибкa	Литер. данные	Прогноз	Ошибкa	Литер. данные	Прогноз	Ошибкa	
(CH ₃) ₂ CHOH изопропанол (I)	C ₂	14	13 15	1 1	21	18 22	2 2	3 1	430	400 385	30 45	11	11 16	0 5	42	41 44	1 2
(CH ₃) ₃ COH трет-бутиanol (II)	C ₂	10	13 15	3 5	20	18 22	2 2	460	400 385	60 75	10	10 16	1 6	44	41 44	3 0	
CH ₃ CH ₂ CH(CH ₃)OH вторбутиanol (III)	C ₃	23	1 2	32	30 33	2 1	395	371	24 47	20	21 27	1 7	55	55 57	55	55 57	
CH ₃ CH ₂ C(CH ₃) ₂ OH трет-амиловый спирт (IV)	C ₃	24	23 26	1 2	34	30 33	4 1	410	371 348	39 62	23	21 27	2 4	55	55 57	55	55 57
(CH ₃) ₂ CH ₂ CH ₂ OH изобутанол (V)	C _{3,5}	28	29 32	1 4	39	37 39	2 0	390	356 335	34 55	26	28 32	2 6	60	61 63	1 3	

Продолжение табл. 2

Алканол	ууц	Температура, °C										Горячие пределы воспламенения, °C					
		вспышки			воспламенения			самовоспламенения			нижний			верхний			
		Литер. данные	Прогноз	Ошибка данные	Литер. данные	Прогноз	Ошибка данные	Литер. данные	Прогноз	Ошибка данные	Литер. данные	Прогноз	Ошибка данные	Литер. данные	Прогноз	Ошибка данные	
(CH ₃) ₂ CHCH(CH ₃) ₂ OH вторизомицетиловый спирт (3-метил-2-бутанол) (VII)	C _{3,5}	32	29 32	3 0	4 2	46	43 45	3 1	347	356 335	9 12	30	28 32	2 2	62	61 63	1 1
CH ₃ (CH ₂) ₂ C(CH ₃) ₂ OH 2-метил-2-пентанол (трет-гексиловый спирт)	C ₄	39	35 37	4 2	38	37 39	1 1	415	340 325	75 90	35	34 37	1 2	70	67 69	3 1	
(CH ₃) ₃ CCH ₂ OH 2,2-диметил-1-пропанол	C ₄	32	35 37	3 5	41	43 45	2 4	360	340 325	20 35	30	34 37	4 7	64	67 69	3 5	
CH ₃ CH ₂ CH(CH ₃)CH ₂ OH 2-метил-1-бутианол	C _{4,5}	42	42 43	0 1	51	50 51	1 0	385	320 315	65 70	40	41 42	1 2	74	74 75	0 1	
(CH ₃) ₂ (CH ₂) ₂ CH ₂ OH изоамильовый спирт (изопентанол) (VI)	C _{4,5}	43	42 43	1 0	52	50 51	2 1	340	320 315	20 25	42	41 42	1 0	77	77 75	3 2	
(CH ₃) ₂ CHCH ₂ CH(CH ₃)OH 4-метил-2-пентанол (VIII)	C _{4,5}	46	42 43	4 3	54	50 51	4 3	340	320 315	20 25	42	41 42	1 0	77	77 75	3 2	
CH ₃ (CH ₂) ₃ CH(CH ₃)OH 2-гексанол (вторгексиловый спирт)	C ₅	50	48 49	2 1	60	57 56	3 4	300	340 307	40 7	48	45 47	3 1	82	79 81	3 1	
Цикlopентанол	C ₅	51	48 49	3 2	—	57 56	—	—	340 307	—	—	45 47	—	—	79 81	—	
(CH ₃) ₂ (CH ₂) ₃ CH ₂ OH изогексиловый спирт (изогексанол)	C _{5,5}	58	54 55	4 3	66	64 62	2 4	300	293 300	7 0	54	51 53	3 1	90	86 87	4 3	
CH ₃ (CH ₂) ₂ CH(CH ₃)CH ₂ OH 2-метил-1-пентанол	C _{5,5}	54	54 55	0 1	64	64 62	0 2	310	293 300	17 10	51	51 53	0 2	87	86 87	1 0	
CH ₃ CH ₂ CH(C ₂ H ₅)CH ₂ OH 2-этил-1-бутианол	C _{5,5}	53	54 55	1 2	62	64 62	2 0	315	293 300	23 15	—	51 53	—	—	86 87	—	
Циклогексанол	C ₆	61	60 60	1 1	—	70 68	—	300	285 294	15 6	58	57 58	1 0	99	92 93	7 6	

Окончание табл. 2

Алканол	ууц	Температура, °C										Горячие пределы воспламенения, °C					
		вспышки			воспламенения			самовоспламенения			нижний			верхний			
		Литер. данные	Прогноз	Ошибка данные	Литер. данные	Прогноз	Ошибка данные	Литер. данные	Прогноз	Ошибка данные	Литер. данные	Прогноз	Ошибка данные	Литер. данные	Прогноз	Ошибка данные	
Метилциклогексанол	C _{6,5}	68	67 66	1 2	—	76 74	—	295	280 288	15 7	62	63 63	1 1	96	97 99	1 3	
(CH ₃) ₂ CHCH ₂ CH(C ₂ H ₅)CH ₂ OH 4-метил-2-этил-1-пентанол	C ₇	74	74 72	0 0	82	82 80	0 2	316	275 283	41 33	70	68 68	2 2	106	106 105	0 1	
((CH ₃) ₂ CHCH ₂) ₂ CHNOH 2,6-диметил-4-гептанол (X)	C ₇	72	74 72	2 0	82	82 80	0 2	300	275 283	25 17	68	68 68	0 0	106	106 105	0 1	
(CH ₃) ₂ (CH ₂) ₅ CH ₂ OH изооктиловый спирт (изооктанол)	C _{7,5}	77	80 77	3 0	86	87 85	1 1	266	268 278	2 12	70	74 73	4 3	108	111 111	3 3	
CH ₃ (CH ₂) ₃ CH(C ₂ H ₅)CH ₂ OH 2-этил-1-гексанол	C _{7,5}	78	80 77	2 1	86	87 85	1 1	270	268 278	2 8	73	74 73	1 0	110	111 111	1 1	
	C ₈	—	86 83	—	—	92 91	—	—	260 273	—	—	80 78	—	—	116 117	—	
	C _{8,5}	—	91 89	—	—	98 97	—	—	260 269	—	—	86 84	—	—	124 123	—	
	C ₉	—	96 95	—	—	104 103	—	—	260 266	—	—	91 89	—	—	132 129	—	
(CH ₃) ₂ (CH ₂) ₆ CH ₂ OH 8-метил-1-нананол (изодектиловый спирт)	C _{9,5}	105	103 100	2 5	—	111 109	—	—	255 262	—	—	97 94	—	—	137 135	—	
CH ₃ (CH ₂) ₃ CH(C ₂ H ₅)(CH ₃)OH 5-этил-2-нонанол (IX)	C _{9,5}	100	103 100	3 0	110	111 109	1 1	—	255 262	—	98	97 94	1 4	138	137 135	1 3	
	C ₁₀	—	110 106	—	—	117 114	—	—	250 259	—	—	103 99	—	—	142 141	—	

Причечания:

1. Литературные данные взяты из источников [5, 6].
2. Над чертой указан прогноз по табл. 1, под чертой — по формулям (5)–(9).

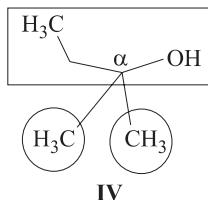
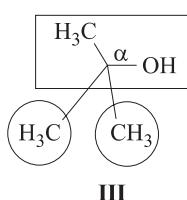


Рис. 2. Схема правила “углеродной цепи” для трет-бутилового (**III**) и трет-амилового (**IV**) спиртов

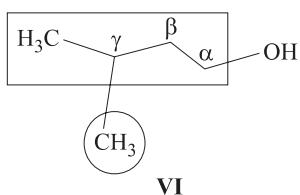
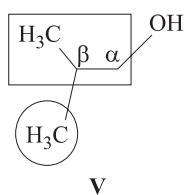


Рис. 3. Схема правила “углеродной цепи” для изобутилового (**V**) и изоамилового (**VI**) спиртов

к удлинению УУЦ молекулы спирта. Так, например, показатели пожарной опасности трет-бутилового (**III**) и трет-амилового (**IV**) спиртов (рис. 2) будут близки к показателям пожаровзрывоопасности соответственно этанола и пропанола (см. табл. 1 и 2). Аналогично находим УУЦ для 2-метил-2-пентанола (трет-гексилового спирта), которая будет равна C_4 .

Если одна или несколько метильных групп находятся не в α -положении, а в другом положении молекулы спирта, то в этом случае каждая метильная группа увеличивает ОУЦ на 0,5. Продемонстрируем это положение примерами. Возьмем изобутиловый (**V**) и изоамиловый (**VI**) спирты (рис. 3). В рассматриваемых случаях метильная группа находится в β - и γ -положениях относительно гидроксильной группы соответственно. Таким образом, УУЦ алканолов **V** и **VI** будут равны $C_{3,5}$ и $C_{4,5}$. Дробные коэффициенты означают, что показатели пожаровзрывоопасности соединений **V** и **VI** определяются как среднеарифметическое между экспериментальными данными пропанола и бутанола в случае спирта **V** и бутанола и пентанола в случае спирта **VI** (см. табл. 1 и 2).

Аналогично находим УУЦ для изогексанола, изооктанола, 2-метил-1-пентанола, 2-гексанола, 2-метилбутанола и 2,2-диметил-1-пропанола, которые будут равны соответственно $C_{5,5}$, $C_{7,5}$, $C_{5,5}$, C_5 , $C_{4,5}$, C_4 (см. табл. 2).

Правило “углеродной цепи” действует и в том случае, когда метильные заместители находятся не только в α -положении, но и в других положениях молекулы алканола. В качестве примеров можно привести вторизоамиловый спирт — 3-метил-2-бутанол (**VII**) и 4-метил-2-пентанол (**VIII**) (см. табл. 2, рис. 4). Здесь также CH_3 -группа в α -положении не

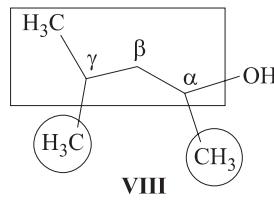
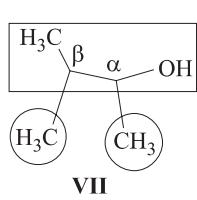


Рис. 4. Схема правила “углеродной цепи” для вторизоамилового спирта (**VII**) и 4-метил-2-пентанола (**VIII**)

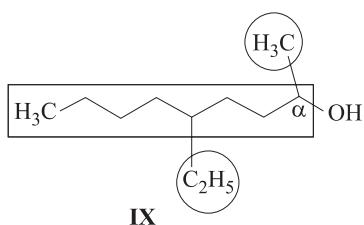


Рис. 5. Схема правила “углеродной цепи” для 1-метил-4-этил-1-октанола (**IX**)

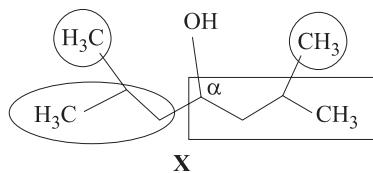


Рис. 6. Схема правила “углеродной цепи” для 2,6-диметил-4-гептанола (**X**)

удлиняет ОУЦ, а метильный заместитель в другом месте молекулы спирта увеличивает ОУЦ на 0,5.

При переходе от метильной группы к другим алкильным заместителям длина УУЦ увеличивается на единицу с добавлением дополнительного CH_2 -фрагмента, т. е. для этила увеличение УУЦ составит 1,5, для пропила — 2,5, для бутила — 3,5.

Рассмотрим это на примерах. В 2-этил-1-гексиловом спирте УУЦ определяется как ОУЦ (C_6) + вклад этила (1,5). В итоге УУЦ равна $C_{7,5}$ (см. табл. 2). Аналогично находим УУЦ для 2-этил-1-бутанола: УУЦ = $C_{5,5}$. Для определения УУЦ 5-этил-2-нона-нола (**IX**) (рис. 5) его следует представить как 1-метил-4-этил-1-октанол (**IX**). Тогда УУЦ будет равна ОУЦ (C_8) плюс вклад этила (1,5). В итоге УУЦ = $C_{9,5}$. Здесь также учитывается, что метильная группа в α -положении не влияет на величину УУЦ.

УУЦ 4-метил-2-этил-1-пентанола будет складываться из ОУЦ (C_5) плюс вклады метила (0,5) и этила (1,5). В итоге УУЦ = C_7 (см. табл. 2).

Рассмотрим пример, когда в α -положении спирта находится не метильная группа, а другой алкильный заместитель. Так, 2,6-диметил-4-гептанол (**X**) можно представить как 1-изобутил-3-метилбутанол (**X**) (рис. 6). Изобутильный радикал представляется как 2'-метилпропильный заместитель. Тогда УУЦ будет складываться из ОУЦ (C_4) плюс вклад второметильных групп ($2 \times 0,5$) плюс вклад пропильного заместителя (2,5) минус вклад CH_2 -фрагмента про-

пильного заместителя (0,5) в α -положении. Вычитание CH_2 -фрагмента производить необходимо, так как он представляет собой формальную метильную группу в α -положении молекулы спирта. Таким образом, УУЦ соединения **X** будет равна 7.

Информации по показателям пожаровзрывоопасности циклоалканолов немного, но имеющиеся данные позволяют сделать предположение, что “углеродное правило” распространяется и на них. Переход от нормальных алканолов к циклическим спиртам не влияет на изменение длины УУЦ: так, у циклопентанола и циклогексанола УУЦ будут равны соответственно C_5 и C_6 (см. табл. 2). Пример с метилциклогексанолом (см. табл. 2) дает основания для предположения, что наличие алкильных заместителей в молекуле циклоалканолов будет оказывать такое же влияние, как и в случае нециклических спиртов.

Выводы

Зная УУЦ известных нелинейных (ненормальных) и циклических спиртов, по формулам (5)–(9) с приемлемой точностью можно определить их температурные показатели пожарной опасности и сделать прогноз по показателям пожаровзрывоопасности не изученных до настоящего времени спиртов (см. табл. 2).

В ходе проведенных исследований выведено “углеродное правило”, которое позволяет прогнозировать основные температурные показатели пожарной опасности для нелинейных и циклических спиртов. Определение области применения данного правила будет объектом наших дальнейших исследований.

Отметим также, что в настоящее время данное направление начинает привлекать пристальное внимание и других исследователей [11–16].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- ГОСТ 12.1.044–89*** ССБТ. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения — Введ. 1991–01–01 // Сборник НСИС ПБ. — 2007. — № 3(31) (электронная версия).
- Монахов В. Т.** Методы исследования пожарной опасности веществ. — М. : Химия, 1979.
- Шебеко Ю. Н., Навцена В. Ю., Копылов С. Н.** и др. Расчет основных показателей пожаровзрывоопасности веществ и материалов : руководство. — М. : ВНИИПО, 2002.
- Корольченко А. Я.** Процессы горения и взрыва. — М. : Пожнаука, 2007.
- Алексеев С. Г., Барбин Н. М., Авдеев А. С.** и др. Показатели пожаровзрывоопасности нитроокусного эфира // Пожаровзрывобезопасность. — 2008. — Т. 17, № 5. — С. 48–53.
- Баратов А. Н., Корольченко А. Я., Кравчук Г. Н.** и др. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения : справоч. изд. : в 2 кн. / Под ред. А. Н. Баратова и А. Я. Корольченко. — М. : Химия, 1990. — Кн. 1 и 2.
- Корольченко А. Я., Корольченко Д. А.** Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения : справочник : в 2 ч. — М. : Асс. “Пожнаука”, 2004. — Ч. 1 и 2.
- Справочник химика / Под. ред. Б. И. Никольского, О. Н. Григорова, М. Е. Позина и др. — Л. : Химия, 1963. — Т. 2.
- Сайт компании Sigma-Aldrich [электронный ресурс]. URL : <http://www.sigmaaldrich.com/catalog> (дата обращения 15.01.2010).
- Алексеев С. Г., Рудаков Б. В., Попков Г. А.** Химические процессы, протекающие в диффузионном пламени изобутанола // Тез. докл. XV науч.-практ. конф. “Проблемы горения и тушения пожаров на рубеже веков”. — М. : ВНИИПО, 1999. — С. 55–57.
- Батов Д. В., Молчанова Т. А., Петров А. В.** Описание и прогнозирование температур вспышки сложных эфиров в рамках аддитивно-группового метода // Пожаровзрывобезопасность. — 2010. — Т. 19, № 2. — С. 15–18.
- Агафонов И. А., Гаркушин И. К., Люстрицкая Д. В., Снопов С. Г.** Анализ и прогнозирование пожароопасных свойств индивидуальных н-алканов // Пожаровзрывобезопасность. — 2009. — Т. 18, № 2. — С. 16–19.
- Hristova M., Tchaoushev S.** Calculation of Flash Points and Flammability Limits of Substances and Mixtures // J. Univ. Chem. Technology & Metallurgy. — 2006. — Vol. 41, No. 3. — P. 291–296.
- Pan Y., Jiang J., Cao H., Wang R.** Prediction of Flammability Characteristics by Using Quantitative Structure-Property Relationship Study Based on Neural Network // Chem. Industry and Engineering Progress. — 2008. — Vol. 27, No. 3. — P. 378–384.
- Важев В. В., Бектурганова Г. К., Важева Н. В.** и др. Прогнозирование и экспертиза значений температуры вспышки углеводородов. I. Алкены [электронный ресурс]. URL : www.kazinmetr.org/data/filedat/default/ALKENES.doc (дата обращения 07.03.2010).
- Важев В. В., Бектурганова Г. К., Важева Н. В.** и др. Прогнозирование и экспертиза значений температуры вспышки углеводородов. II. Алканы и циклоалканы [электронный ресурс]. URL : <http://www.kazinmetr.kz/?cid=0&rid=231> (дата обращения 07.03.2010).

Материал поступил в редакцию 9 апреля 2010 г.

Электронные адреса авторов: Alexshome@mail.ru, NMBarbin@yandex.ru, Orlov.sergei@mail.ru.



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



А. В. Пищальников
начальник ГУ "Судебно-
экспертное учреждение ФПС
"Испытательная пожарная
лаборатория" по Пермскому
краю, г. Пермь, Россия



И. А. Левковец
старший инженер ГУ "Судебно-
экспертное учреждение ФПС
"Испытательная пожарная
лаборатория" по Пермскому
краю, г. Пермь, Россия



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

УДК 618.840

О ПОЖАРООПАСНОСТИ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ ЭТАНОЛА

Экспериментально определен ряд показателей пожаровзрывоопасности водных растворов этанола. Найдены эмпирические уравнения для расчета концентрации спирта, температур вспышки, воспламенения и самовоспламенения для водно-этанольных смесей.

Ключевые слова: этанол, раствор, температура вспышки, температура самовоспламенения, НКПВ, ВКПВ.

В настоящее время при оценке пожаровзрывоопасности водных растворов этанола и водочной продукции мы, как правило, ориентируемся на данные, приведенные в классических справочных пособиях [1, 2]. Однако, как было показано ранее на примере водочной продукции, реальные показатели отличаются от литературных данных [3]. В связи с этим нами начата работа по уточнению ряда показателей пожарной опасности для данной продукции.

В ходе исследований установлено, что существует зависимость концентрации этанола в водно-спиртовой смеси C от плотности при температуре 20 °C, которая может быть описана уравнением

$$C = -1851,9 \rho_{\text{p-p}}^2 + 2855,8 \rho_{\text{p-p}} - 1005,1 \quad (r = 0,9986), \quad (1)$$

где C — концентрация этанола, % (об.);

$\rho_{\text{p-p}}$ — плотность смеси ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} + \text{H}_2\text{O}$), г/мл;
 r — коэффициент корреляции.

Существует также линейная зависимость концентрации этанола от коэффициента преломления n_D^{20} для концентраций спирта от 5 до 45 % (об.) (см. таблицу):

$$C = 1819,9 n_D^{20} - 2424 \quad (r = 0,9993), \quad (2)$$

где n_D^{20} — коэффициент преломления (рефракции) при температуре 20 °C.

Уравнение (2) может быть использовано при экспресс-оценке по выявлению фальсифицированной водочной продукции. Так, например, коэффициент

преломления n_D^{20} водочной продукции "Славянское застолье", "Русская тройка", "Пермская", "Зеленая марка", "Градус" и "Пять озер", изготовленной на основе ректификационного спирта марки "Экстра", равен 1,3539. Экспериментальные и рассчитанное по формуле (2) значения концентрации спирта в вышеупомянутых водочных изделиях составляют 40 % (об.).

При сопоставлении данных по плотности водных растворов этилового спирта, приведенных в справочниках [1, 2], с информацией, данной в специальной литературе [4, 5], установлено, что фактически в этих справочниках указано содержание этанола не в массовых, а объемных процентах.

На аттестованном оборудовании по национальному стандарту [6] определены температуры вспышки, воспламенения и самовоспламенения растворов этанола в интервале концентраций от 5 до 95 % (см. таблицу). Установлено, что зависимости температуры вспышки, воспламенения и самовоспламенения от концентрации удовлетворительно описываются уравнениями:

$$T_{\text{всп(зт)}} = -15,82 \ln C + 87 \quad (r = 0,9942); \quad (3)$$

$$T_{\text{всп(от)}} = 191,55 C^{-0,4346} \quad (r = 0,9932); \quad (4)$$

$$T_{\text{вос}} = 305,9 C^{-0,5435} \quad (r = 0,9926); \quad (5)$$

$$T_{\text{свс}} = -50,883 \ln C + 694,5 \quad (r = 0,9855), \quad (6)$$

где $\ln C$ — натуральный логарифм объемной концентрации спирта.

Показатели пожарной опасности водных растворов этанола и спиртовой продукции

Объект испытаний	C^* , % (об.)	Показатели пожарной опасности											
		$T_{\text{всп(зт.)}}, ^\circ\text{C}$ (з.т.)			$T_{\text{всп(от.)}}, ^\circ\text{C}$ (о.т.)			$T_{\text{вос}}, ^\circ\text{C}$			$T_{\text{свс}}, ^\circ\text{C}$		
		Эксперимент	[1–3, 7]	Прогноз по (3)–(5)	Эксперимент	[1–3, 7]	Прогноз по (3)–(5)	Эксперимент	[1–3, 7]	Прогноз по (3)–(5)	Эксперимент	[1–3, 7]	Прогноз по (6), (7)
EtOH + H ₂ O	96,2	—	11,5	15	—	13	26	—	14	26	—	—	462 450
EtOH + H ₂ O	95/93	13	14	15	26	—	26	26	—	26	456	—	463 455
EtOH + H ₂ O	90/90	16	16	16	28	—	27	28	—	27	459	—	466 465
EtOH + H ₂ O	85/86	18	—	17	29	—	28	29	—	27	469	—	468 472
EtOH + H ₂ O	80/81	19	18	18	29	—	29	29	—	28	479	—	472 475
EtOH + H ₂ O	75/76	20	—	19	29	—	29	29	—	29	479	—	475 479
Спирт ароматный	75	—	—	—	—	18	—	—	18	—	—	520	— —
Спирт ароматный ржаных отрубей	75	—	16	—	—	18	—	20	—	—	—	495	— —
EtOH + H ₂ O	70/72	21	20; 20–22	20	30	22	30	30	—	30	479	468 478	482
EtOH + H ₂ O	65/65	21	—	21	31	—	31	31	—	31	480	—	482 482
Спирт коньячный	62	—	—	—	—	27	—	—	—	32	—	507	— —
EtOH + H ₂ O	60/60	23	22	22	32	—	32	32	—	32	480	—	486 489
EtOH + H ₂ O	56	—	22	23	—	22	34	—	25	34	—	470	491 499
EtOH + H ₂ O	55/55	23	26	24	34	—	34	34	—	34	491	480 495	502
EtOH + H ₂ O	50/49	26	25	25	34	—	35	34	—	35	500	—	501 506
EtOH + H ₂ O	45 (43; 44)	27	—	27	38	—	37	38	—	37	509	—	507 509
Настой гвоздики	45	—	25,5	—	—	30	—	—	30	—	—	546	— —
Водка “Пермская”	41/40	27	—	28	36	—	38	37	—	41	500	—	506 509
EtOH + H ₂ O	40 (39; 39)	28	28; 25	29	37	26	39	39	28	39	511 535; 474	507	506
Водка “Русская тройка”, “Славян- ское застолье”	40/40	28	—	29	36	—	39	37	—	39	503	—	507 506
Водка “Зеленая марка”, “Градус”, “Пять озер”, “Путинка”, “Прикамье”	40/40	—	26–27	29	—	34–38	39	—	35–39	39	—	479–482	507 499–502
Коньяк 3-летней выдержки	40	—	32	—	—	34	39	—	40	—	—	623	— —
EtOH + H ₂ O	35 (33; 35)	29	—	31	41	—	41	44	—	44	515	—	514 509
EtOH + H ₂ O	30 (28; 31)	31	32; 28	33	42	32,5	44	48	36	48	517	518	521 516
EtOH + H ₂ O	25 (24; 26)	34	31	36	45	36	47	56	39	53	527	534	531 526
Морс черноплод- ной рябины	25	—	32,5	—	—	39	—	—	45	—	—	648	— —
Рябина нежинская	24	—	30,5	—	—	42,5	—	—	44,5	—	—	652	— —
EtOH + H ₂ O	20	38	39; 39–40	40	55	43	52	62	Отсут.	60	535 570; 539	542	539

Окончание таблицы

Объект испытаний	C^* , % (об.)	Показатели пожарной опасности												
		$T_{\text{всп(зт)}}^{\circ}\text{C}$ (з.т.)			$T_{\text{всп(от)}}^{\circ}\text{C}$ (о.т.)			$T_{\text{вос}}^{\circ}\text{C}$			$T_{\text{свс}}^{\circ}\text{C}$			
		Эксперимент	[1–3, 7]	Прогноз по (3)–(5)	Эксперимент	[1–3, 7]	Прогноз по (3)–(5)	Эксперимент	[1–3, 7]	Прогноз по (3)–(5)	Эксперимент	[1–3, 7]	Прогноз по (6), (7)	
Портвейн, сахар 8 %	19	—	52	—	—	Отсут.	—	—	Отсут.	—	—	616	—	—
Вино десертное, сахар 16 %	16	—	57	—	—	Отсут.	—	—	Отсут.	—	—	623	—	—
EtOH + H ₂ O	$\frac{15}{(16; 15)}$	45	—	44	57	—	59	71	—	70	568	—	557	563
Вино столовое красное	10–14	—	Отсут.	—	—	Отсут.	—	—	Отсут.	—	—	—	—	—
EtOH + H ₂ O	$\frac{10}{(13; 9)}$	50	50;	51	74	—	70	Отсут.	—	—	572	615	577	580
EtOH + H ₂ O	$\frac{5}{(6; 4)}$	64	61	62	Отсут.	—	—	Отсут.	—	—	> 700	750	—	—

* Над чертой приведены экспериментальные данные, под чертой — расчетные, полученные по уравнениям (1) и (2).

Найдена также линейная зависимость температуры самовоспламенения водных растворов спиртов от температуры вспышки в закрытом тигле:

$$T_{\text{свс}} = 3,37T_{\text{всп(зт)}} + 411,2 \quad (r = 0,9902). \quad (7)$$

Результаты расчета по уравнениям (1)–(7) показателей пожарной опасности водных растворов этилового спирта представлены в таблице в графах “Прогноз”.

Выводы

В ходе исследования экспериментально определены температуры вспышки, воспламенения и самовоспламенения водных растворов этилового спирта. Предложены эмпирические уравнения для определения температур вспышки, воспламенения и самовоспламенения водно-спиртовых смесей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Баратов А. Н., Корольченко А. Я., Кравчук Г. Н. и др. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения : справоч. изд. : в 2 кн. / Под ред. А. Н. Баратова и А. Я. Корольченко. — М. : Химия, 1990. — Кн. 2.
- Корольченко А. Я., Корольченко Д. А. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения : справочник : в 2 ч. — М. : Асс. “Пожнаука”, 2004. — Ч. 2.
- Алексеев С. Г., Барбин Н. М., Авдеев А. С., Пищальников А. В. О взрывопожароопасности водочной продукции // Пожаровзрывобезопасность. — 2009. — Т. 18, № 2. — С. 20–23.
- Яровенко В. Л., Устинников Б. А., Богданов Ю. П., Громов С. И. Справочник по производству спирта. Сырье, технология и технохимконтроль. — М. : Легкая и пищевая пром-сть, 1981.
- Рабинович В. А., Хавин З. Я. Краткий химический справочник. — Л. : Химия, 1978.
- ГОСТ 12.1.044–89*. ССБТ. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения — Введ. 1991–01–01 // Сборник НСИС ПБ. — 2007. — № 3(31) (электронная версия).
- ВСН 13–94. Инструкция по проектированию взрывопожароопасных производств спиртовых, ликероводочных и коньячных предприятий пищевой промышленности : утв. Комитетом РФ по пищевой и перерабатывающей промышленности 5 марта 1994 г. : ввод. в действие с 1 апреля 1994 г. [электронная версия]. URL : <http://sabsyzran.narod.ru/gosts/vsn13-94.pdf> (дата обращения 05.12.2008).

Материал поступил в редакцию 9 апреля 2010 г.

Электронные адреса авторов: Alexshome@mail.ru, NMBarbin@yandex.ru.



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



И. А. Левковец
старший инженер ГУ "Судебно-экспертное учреждение ФПС "Испытательная пожарная лаборатория" по Пермскому краю, г. Пермь, Россия



О. В. Рыжков
инженер-исследователь Института органического синтеза им. И. Я. Постовского УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия



Г. А. Артемьев
инженер-исследователь Института органического синтеза им. И. Я. Постовского УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия



Н. М. Барбин
д-р техн. наук, канд. хим. наук, старший научный сотрудник, заведующий кафедрой Уральского института ГПС МЧС России, г. Екатеринбург, Россия



А. В. Пищальников
начальник ГУ "Судебно-экспертное учреждение ФПС "Испытательная пожарная лаборатория" по Пермскому краю, г. Пермь, Россия



С. К. Котовская
канд. хим. наук, старший научный сотрудник Института органического синтеза им. И. Я. Постовского УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

УДК 618.841

ПОКАЗАТЕЛИ ПОЖАРОВЗРЫВООПАСНОСТИ ОСНОВНЫХ ПОЛУПРОДУКТОВ В СИНТЕЗЕ АНТИБАКТЕРИАЛЬНОГО ПРЕПАРАТА ЛЕВОФЛОКСАЦИНА

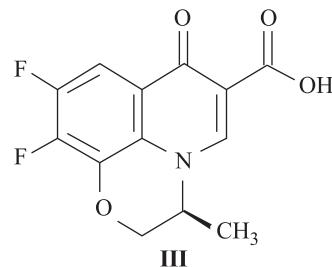
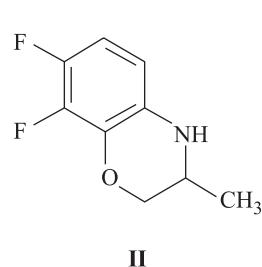
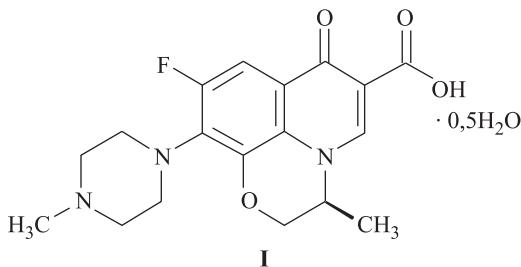
Расчетными и экспериментальными методами определен ряд показателей пожаровзрывоопасности (*R,S*)-7,8-дифтор-2,3-дигидро-3-метил-4Н-1,4-бензоксазина и (3*S*)(-)-9,10-дифтор-3-метил-7-оксо-2,3-дигидро-7Н-пиридо[1,2,3-*d,e*][1,4]-бензоксазин-6-карбоновой кислоты – ключевых полупродуктов в синтезе антибактериального препарата левофлоксацина.

Ключевые слова: показатель пожаровзрывоопасности, бензоксазин, левофлоксацин.

Антибактериальный препарат нового поколения — левофлоксацин (**I**) эффективен и широко применяется при следующих заболеваниях:

- инфекциях мочевыводящих путей (острой и неосложненной пиелонефrite, остром пиелонефрите, уретритах различной этиологии);

- остром и хроническом простатите; остром эпидидимите; гонорее и пр.;
- инфекциях верхних и нижних дыхательных путей; острых внебольничных и госпитальных пневмониях, остром бронхите, синусите, вызываемых широким спектром возбудителей;



Структурные формулы соединений (**I**), (**II**) и (**III**)

© Алексеев С. Г., Левковец И. А., Рыжков О. В., Артемьев Г. А., Барбин Н. М., Пищальников А. В., Котовская С. К., 2010

Таблица 1. Физико-химические свойства бензоксазина (**II**) и карбоновой кислоты (**III**)

Показатель	Бензоксазин (II)	Карбоновая кислота (III)
Брутто-формула	C ₉ H ₉ F ₂ NO	C ₁₃ H ₉ F ₂ NO ₄
Внешний вид	Бесцветный кристаллический порошок	Порошок от бесцветного до светло-желтого цвета
Молекулярная масса, г/моль	185,17	281,22
Температура плавления, °C	54–55	Выше 300
Растворимость	Растворим в ацетонитриле, ацетоне, хлороформе, этаноле, диэтиловом эфире; ограниченно растворим в предельных углеводородах; практически нерастворим в воде	Растворим в ДМСО, кислоте уксусной ледяной; малорастворим в ацетонитриле, ацетоне, хлороформе, этаноле; практически нерастворим в диэтиловом эфире, гексане, гептане, воде
Содержание основного вещества, %	Не менее 98	Не менее 98
УФ-спектр	—	УФ (CH ₃ Cl): λ _{max} (нм): 320 и 233,5
ЯМР-спектр	¹ H ЯМР (CDCl ₃), δ (м. д.): 1,19 д. (3H, CH ₃ , J = 6,5 Гц); 3,46–3,54 м. (1H, 3-H); 3,63 уш. с. (1H, NH); 3,78 д. д. (1H, 2-H _A , J = 10,5; 8,1 Гц); 4,27 д. д. (1H, 2-H _B , J = 10,5; 2,7 Гц); 6,25 м. (1H, 5-H); 6,54 м. (1H, 6-H)	¹ H ЯМР (CDCl ₃), δ (м. д.): 1,48 д. (3H, CHCH ₃), 4,49 д. д. (1H, 2-H _A , J = 11,6; 2,3 Гц), 4,69 д. д. (1H, 2-H _B , J = 11,6; 1,8 Гц), 5,01–5,03 м. (1H, 3-H), 7,82 д. д. (1H, 8-H, J = 10,6; 7,8 Гц), 9,10 уш. с. (1H, 5-H)
ВЭЖХ	T _{уд} основного вещества — 5,663 мин	T _{уд} основного вещества — 10,254 мин
ГЖХ	T _{уд} основного вещества — 17,99 мин	—
Масс-спектр	m/z (I, %): 185 (85 %) (M ⁺), 170 (100 %) (M-CH ₃)	—
Условия хранения	В сухом, защищенном от света месте при температуре ≤ 10 °C	В сухом, защищенном от света месте при температуре ≤ 25 °C

П р и м е ч а н и е. ЯМР — ядерно-магнитный резонанс; ВЭЖХ — высокоэффективная жидкостная хроматография; ГЖХ — газожидкостная хроматография; м. д. — миллионная доля; д. — дублет; уш. с. — уширенный синглет; д. д. — дублет дублетов; м. — мультиплет; J — константа спин-спинового взаимодействия; T_{уд} — время удержания; m/z — отношение молекулярной массы к заряду; I — интенсивность пика (сигнала) по отношению к максимальному пику в масс-спектре.

- гинекологической инфекции (аднексит, эндометрит, воспаление фаллопиевых труб, цервицит и др.);
- инфекциях кожи и мягких тканей;
- гнойной хирургической инфекции;
- туберкулезе.

В институте органического синтеза Уральского отделения РАН разработана оригинальная отечественная технология получения антибактериального препарата нового поколения — левофлоксацина (**I**). Ключевыми полупродуктами в синтезе соединения (**I**) являются (*R,S*)-7,8-дифтор-2,3-дигидро-3-метил-4Н-1,4-бензоксазин (**II**) и (3*S*)-(—)-9,10-дифтор-3-метил-7-оксо-2,3-дигидро-7Н-пиридо[1,2,3-*d,e*][1,4]-бензоксазин-6-карбоновая кислота (**III**).

На рисунке представлены структурные формулы соединений (**I**), (**II**) и (**III**).

Физико-химические свойства соединений (**II**) и (**III**) приведены в табл. 1.

По ранее описанному нами алгоритму (Алексеев С. Г., Барбин Н. М., Авдеев А. С. и др. Показатели

Таблица 2. Показатели пожаровзрывоопасности соединений (**II**) и (**III**)

Показатель	Бензоксазин (II)	Карбоновая кислота (III)
Низшая теплота сгорания, МДж/кг	23,92	19,69
НКПВ, г/м ³ , для частиц размером:		
≤ 10 мкм	81	100
40–50 мкм	32–33	40–41
Способность взрываться и гореть при взаимодействии с водой и O ₂ воздуха	Отсут.	Отсут.
Максимальное давление взрыва, кПа	566	569
Максимальная скорость нарастания давления при взрыве, МПа/с	42,5	42,7
Температура самовоспламенения, °C	418	> 570
Температура тления, °C	Отсут.	Отсут.

пожаровзрывоопасности противовирусного препарата триазавирина и полупродуктов его синтеза // Пожаровзрывобезопасность. — 2008. — Т. 17, № 3. — С. 46–48) расчетным способом определен ряд показателей пожаровзрывоопасности соединений (II) и (III). По ГОСТ 12.1.044–89* исследована совместимость этих соединений с кислородом воздуха и водой, определены их температуры самовоспламенения и тления.

Результаты расчетов и экспериментальных исследований пожаровзрывоопасных свойств (*R,S*)-7,8-дифтор-2,3-дигидро-3-метил-4Н-1,4-бен-

зоксазина (II) и (3*S*)-(–)-9,10-дифтор-3-метил-7-оксо-2,3-дигидро-7Н-пиридо[1,2,3-*d,e*][1,4]-бензоксазин-6-карбоновой кислоты (III) приведены в табл. 2.

Работа выполнена при финансовой поддержке государственного контракта № 02.522.12.2011 в рамках ФЦНП “Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007–2012 годы”.

Материал поступил в редакцию 9 апреля 2010 г.
Электронные адреса авторов: Alexshome@mail.ru, NMBarbin@yandex.ru.



Издательство «ПОЖНАУКА»

Представляет новую книгу

ОГНЕТУШИТЕЛИ. УСТРОЙСТВО. ВЫБОР. ПРИМЕНЕНИЕ

Д. А. Корольченко, В. Ю. Громовой



В данном пособии рассматриваются вопросы классификации, выбора и применения огнетушителей, приведены нормативно-технические документы, применяемые при проведении пожарно-профилактических мероприятий на предприятиях, в частности СП 9.13130.2009 “Техника пожарная. Огнетушители. Требования к эксплуатации”.

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

Издание разработано на основе современной нормативно-правовой базы, в том числе с учетом обязательных для исполнения требований “Технического регламента о требованиях пожарной безопасности” (Федеральный закон № 123-ФЗ), а также положений, изложенных в сводах правил и национальных стандартах.

121352, г. Москва, ул. Давыдовская, д. 12, стр. 7;
тел./факс: (495) 228-09-03; e-mail: mail@firepress.ru



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



А. С. Авдеев
начальник сектора ГУ
“Судебно-экспертное
учреждение ФПС
“Испытательная по-
жарная лаборатория”
по Пермскому краю,
г. Пермь, Россия



Н. М. Барбин
д-р техн. наук, канд. хим.
наук, старший научный
сотрудник, заведующий
кафедрой Уральского ин-
ститута ГПС МЧС России,
г. Екатеринбург, Россия



С. А. Тимашев
д-р техн. наук, профессор,
директор Научно-инженерного
центра “Надежность и ресурс
больших систем и машин”
УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия



Е. С. Гурьев
канд. техн. наук, доцент, ученый
секретарь Научно-инженерного
центра “Надежность и ресурс
больших систем и машин” УрО РАН,
г. Екатеринбург, Россия

УДК 614.84:665.74

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ВЗРЫВОПОЖАРООПАСНОСТИ ТОПЛИВОВОЗДУШНЫХ СМЕСЕЙ НА ПРИМЕРЕ КЕРОСИНА МАРКИ РТ. I. РБ Г-05-039-96

Произведен расчет параметров взрыва топливовоздушной смеси по РБ Г-05-039-96 в режиме детонации и дефлаграммации на примере керосина РТ. Выявлены возможности и недостатки методики РБ Г-05-039-96.

Ключевые слова: взрыв, керосин, топливовоздушная смесь, избыточное давление.

Вопросам оценки взрывопожарной опасности различных углеводородных топлив уделяется пристальное внимание, что нашло отражение в различных нормативных документах. Предметом данной статьи является анализ применимости требований руководства РБ Г-05-039-96 [1] на примере оценки взрывопожароопасности разлива керосина марки РТ. Несмотря на то что данный документ разрабатывался в первую очередь для объектов атомной энергетики, область его применения значительно шире: она охватывает все потенциально опасные объекты [1]. Поэтому эта методика может быть использована при решении задач по прогнозированию возможных последствий аварийных взрывов на любых потенциально опасных объектах.

Допустим, что в результате аварийной ситуации из системы хранения или транспортирования керосина марки РТ произошел разлив 25 м³ топлива, которое сконцентрировалось в яме, образовав зеркало жидкости площадью F = 100 м². Температура окружающей среды 35 °C; атмосферное давление P₀ равно нормальному; плотность авиационного керосина марки РТ при 20 °C ρ²⁰ по паспорту [2] составляет 779 кг/м³.

В руководстве [1] для топливовоздушных смесей заложены два сценария развития события, свя-

занные с аварийным взрывом. Первый вариант — объемная детонация горючей смеси, второй — объемная дефлагментація.

Рассмотрим первый вариант объемной детонации керосиновоздушной смеси для наших гипотетических условий. Предполагается, что аварийный взрыв облака топливовоздушной смеси будет наземным. При этом принимается, что облако горючей смеси будет иметь форму полусфера объемом V_{TBC} и радиусом r₀, которые описываются формулами:

$$V_{TBC} = \frac{2240\chi M_t T}{\mu C_{ctx} T_0}; \quad (1)$$

$$r_0 = 0,78\sqrt[3]{V_{TBC}}, \quad (2)$$

где χ — доля массы керосина, переходящего в облако топливовоздушной смеси; χ = 0,05 [1];

M_t — масса исходного керосина;

T — температура окружающей среды, T = 308 K;

T₀ — стандартная температура, T₀ = 273 K;

C_{ctx} — стехиометрическая концентрация керосина;

μ — молекулярная масса керосина.

Для нахождения массы разлитого керосина РТ M_t экспериментально определяли плотность керосина марки РТ при температуре 35 °C, которая

составила 769 кг/м³. Отметим, что плотность нефтепродуктов при различных температурах с приемлемой точностью можно также рассчитать по уравнению [3]:

$$\rho^t = \rho^{20} - \alpha(t - 20) \cdot 10^3, \quad (3)$$

где α — поправочный коэффициент;
для $\rho^{20} = 779$ кг/м³ $\alpha = 0,00080$ [3].

Рассчитанная по (3) плотность $\rho^t = 767$ кг/м³. Тогда масса исходного авиационного керосина M_t составит 19225 кг.

В руководстве [1] не приводятся данные по молекулярным массам и стехиометрическим концентрациям керосинов. Известно, что формула Воинова (4) с высокой точностью (порядка ±(2÷3)%) позволяет находить средние молекулярные массы различных нефтепродуктов [3]:

$$\mu = (40,28K - 411,6) + (2,0977 - 0,2038K)T_m + (0,0003K - 0,00245)T_m^2, \quad (4)$$

где K — характеристический фактор, учитывающий природу нефтепродукта;

T_m — среднемолекулярная температура кипения керосина, К.

Неизвестная нам среднемолекулярная температура кипения керосина РТ определена по алгоритму, изложенному в справочнике [3], через среднюю объемную температуру кипения t_v с учетом данных паспорта качества на керосин РТ [2]:

$$T_m = 273 + (t_v - \alpha_1) = 454 \text{ К}, \quad (5)$$

где $t_v = 184$ °C; рассчитана по методике [3];

α_1 — поправочный коэффициент;
для $t_v = 184$ °C $\alpha_1 = -3$ °C [3].

Характеристический фактор K найден по уравнению (6) [3].

$$K = \frac{1,216 \sqrt[3]{T_m}}{\rho_{15,6}^{15,6}} = 12,04, \quad (6)$$

где $\rho_{15,6}^{15,6}$ — плотность керосина при 15,6 °C;

$$\rho_{15,6}^{15,6} = \frac{\rho^{20} - 4,4\alpha}{\rho_{H_2O}^{15,6}} = 0,7763 \text{ г/мл};$$

α — поправочный коэффициент (см. выше);

$\rho_{H_2O}^{15,6}$ — плотность воды при 15,6 °C;

$\rho_{H_2O}^{15,6} = 0,99898$ г/мл (найдена методом линейной интерполяции литературных данных [5]).

Таким образом, средняя молекулярная масса μ керосина РТ по формуле Воинова (4) составит 151,2 кг/кмоль. Анализ справочных данных по керосинам марок КО-20, КО-22, КО-25, JP-5, JP-7, JP-8 (Jet A/A1), RP-1 [4, 6] показывает, что они с удовлетворительной точностью могут быть описаны

общей брутто-формулой C_nH_{2n} (где $n \approx 8,5 \div 16,0$). Введем допущение, что авиационный керосин марки РТ также описывается брутто-формулой C_nH_{2n} . Если учесть, что атомная масса углерода равна 12, а водорода — 1, то из составленного уравнения (7) вытекает, что $n = 10,8$:

$$12n + 2n = 151,2. \quad (7)$$

Следовательно, керосин марки РТ можно ориентировочно описать общей формулой $C_{10,8}H_{21,6}$.

Более точно брутто-формулу керосина РТ можно определить через его нижний концентрационный предел воспламенения (НКПВ). В ГОСТ 10227–86 [7] дан ряд характеристик пожарной опасности топлив для реактивных двигателей, включая и НКПВ (табл. 1). Анализ литературных данных по показателям пожаровзрывоопасности алканов и алкенов [8] показывает, что с увеличением числа атомов в молекуле НКПВ уменьшается, а значение 1,5 % может соответствовать углеводородам с числом атомов углерода 4 или 5 (рис. 1). Таким образом, нормируемое значение 1,5 % для НКПВ керосина РТ вызывает большие сомнения. Более того, в паспорте на авиатопливо РТ нет данных по его пределам воспламенения [2]. Для нахождения НКПВ керосина РТ сведем в табл. 1 литературные данные по керосинам, полученные из отечественных источников [2, 4, 7–9] и карточек безопасности (Material Safety Data Sheet (MSDS)*) на керосин разных марок и различных производителей. Анализ данных табл. 1 показывает, что по физико-химическим свойствам и показателям пожарной опасности к отечественному керосину РТ наиболее близко авиатопливо марки Jet A/A1 (№ 11 в табл. 1). Отметим также, что при решении обратной задачи в исследовательской лаборатории BBC США пришли к аналогичному выводу [6]. НКПВ керосина № 11 составляет 0,7 % (об.) (см. табл. 1). Следовательно, можно допустить, что НКПВ керосина РТ также будет равен 0,7 % (об.). Отметим также, что расчетная молекулярная масса керосина Jet A/A1 (153,3 кг/кмоль) очень близка к значению 151,2 кг/кмоль, полученному по формуле Воинова (4) для керосина РТ. Для углеводородов существует приближенная формула (8), которая связывает НКПВ с молекулярной массой вещества [10]. Прогноз НКПВ керосина РТ по этому уравнению также совпадает с нашим допущением:

$$C_n \approx 107/\mu = 0,7 \%. \quad (8)$$

Уравнение (9) [8] в интервале керосиновой фракции ($C_{8,5} \text{-- } C_{16,0}$) дает возможность определять

* На Западе на каждый материал производителем или продавцом составляется MSDS. MSDS керосинов найдены с помощью тематического поиска в Интернете.

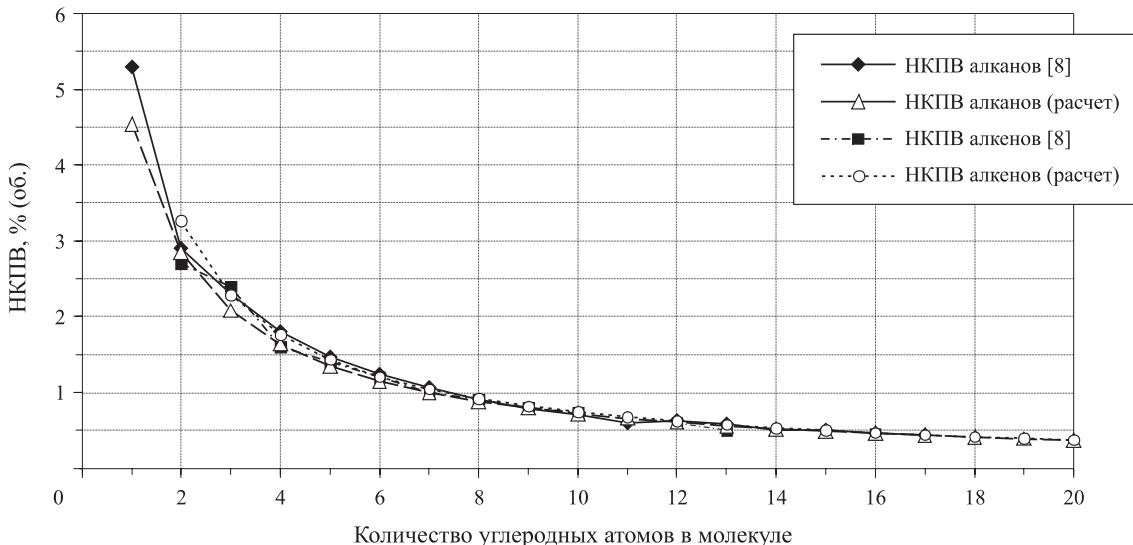


Рис. 1. Зависимость НКПВ алканов и алкенов от длины углеродной цепи

НКПВ для алканов и алкенов (см. рис. 1) с точностью менее 0,1 %, что позволяет использовать его для вывода брутто-формулы керосина РТ.

Из формулы (9) находим, что коэффициент β в реакции горения керосина РТ равен 15,91:

$$C_{\text{н}} = \frac{100}{a\beta + b}, \quad (9)$$

где $C_{\text{н}}$ — НКПВ; $C_{\text{н}} = 0,7\%$;
 a и b — константы; $a = 8,684$, $b = 4,679$ [8].

То обстоятельство, что коэффициент β определяется либо из уравнения реакции горения, либо по формуле (10) [11], позволяет составить простую систему уравнений с двумя неизвестными (11). Решение ее дает уточненную брутто-формулу $C_{10,95}H_{19,80}$ для керосина марки РТ, которая очень близка к американской формуле для керосина Jet A/A1 — $C_{11}H_{21}$ [6].

$$\beta = n_C + n_S + n_{\text{Si}} + 2,5n_P + 0,25(n_H - n_{\text{гал}}) - 0,5n_O, \quad (10)$$

где n_i — количество i -атомов (C, S, Si, P, H и галогены Cl, Br, I, F) в молекуле;

$$\begin{cases} 15,91 = n_C + 0,25n_P \\ 151,2 = 12n_C + 1n_H \end{cases}. \quad (11)$$

Анализ данных по стехиометрическим концентрациям индивидуальных горючих веществ, приведенных в руководстве [1], показывает, что они определены для реакции горения с сухим воздухом. Таким образом, стехиометрическая концентрация керосина РТ определяется по формуле

$$C_{\text{стх}} = \frac{100}{1 + 4,76\beta} = 1,30\% \text{ (об.)}, \quad (12)$$

где β — коэффициент в реакции горения перед кислородом; $\beta = 15,9$.

По уравнениям (1) и (2) находим объем $V_{\text{ТВС}}$ и радиус полусферы r_0 керосиновоздушного облака, которые будут равны соответственно $12356,3 \text{ м}^3$ и $18,0 \text{ м}$.

Для определения давления на фронте детонационной волны в области полусферы керосиновоздушной смеси воспользуемся эмпирическим уравнением [1]:

$$\Delta P_{\text{дет}} = 2,586(\gamma - 1) q_m - P_0, \quad (13)$$

где γ — безразмерный показатель адиабаты горючей смеси;

q_m — удельная массовая энергия взрыва, кДж/кг;
 P_0 — атмосферное давление; $P_0 = 101 \text{ кПа}$.

В руководстве [1] отсутствуют данные, характеризующие γ и q_m для керосина. Анализ приведенных в [1] значений этих характеристик для углеводородов показывает, что значения γ лежат в пределах от 1,25 до 1,27, поэтому не будет большой ошибкой принять показатель адиабаты горючей смеси γ для керосина равным 1,26. Безусловно, удельная энергия взрыва стехиометрической газо- или паровоздушной смеси связана с теплотой сгорания горючего вещества. В табл. 2 представлены справочные данные по удельным энергиям взрыва стехиометрических смесей углеводородов и бензина с воздухом [1] и высшим мольным теплотам сгорания [6]. Обнаружено, что мольная энергия взрыва q может быть рассчитана по эмпирическому уравнению

$$q = 0,0671H_{\text{ср}} - 13, \quad (14)$$

где q — мольная энергия взрыва; $q = (q_m \mu)/1000$;
 $H_{\text{ср}}$ — высшая мольная теплота сгорания углеводорода.

Ошибка расчета q не превышает 10 %, за исключением ацетилена (см. табл. 2). По уравнению (14)

Таблица 1. Свойства керосинов

№ п/п	Торговая марка	μ , кг/кмоль (брutto-формула)	Плотность, г/мл	Кинематическая вязкость, мм ² /с	$T_{кин}$, °C	$T_{весн}$, °C	$T_{свс}$, °C	% (об.)	КПВ, Производитель (продавец) или литературный источник
1	TC-1 (топливо для реактивных двигателей / Jet Fuel) высший сорт	—	$\geq 0,780^{20}$	$\geq 1,30^{20};$ $\leq 8^{-20}$	$150\text{--}250$	≥ 28	—	1,5-8,0	[7]
2	TC-1, 1-й сорт	—	$\geq 0,775^{20}$	$\geq 1,25^{20};$ $\leq 8^{-20}$	$150\text{--}250$	≥ 28	—	1,5-8,0	[7]
3	T-1C (топливо для реактивных двигателей / Jet Fuel), высший сорт	—	$\geq 0,810^{20}$	$\geq 1,50^{20}$	$150\text{--}280$	≥ 30	—	1,8-8,0	[7]
4	T-1 (топливо для реактивных двигателей / Jet Fuel), 1-й сорт	—	$\geq 0,800^{20}$	$\geq 1,50^{20}$	$150\text{--}280$	≥ 30	—	1,8-8,0	[7]
5	T-2 (топливо для реактивных двигателей / Jet Fuel), 1-й сорт	—	$\geq 0,755^{20}$	$\geq 1,05^{20}$	$60\text{--}280$	—	—	1,0-6,8	[7]
6	РТ (топливо для реактивных двигателей / Jet Fuel), 1-й сорт	—	$\geq 0,755^{20}$	$\geq 1,25^{20};$ $\leq 8^{-20}$	$135\text{--}280$	≥ 28	—	1,5-8,0	[7]
7	Керосин авиационный РТ (C _{10,95} H _{19,80})	151,2 0,779 ²⁰ 0,779 ²⁰	1,31 ²⁰	146-205 52 (о.г.)	43; 37; 265	—	—	—	[2]
8	Jet Fuel (Jet Fuel A)	—	0,8	1,6 ⁴⁰	160-300	38	210	0,7-4,0	Tesoro Refining & Marketing Co.
9	Shell Jet A-1 with Aia	—	0,775-0,840 ¹⁵	$< 8^{-20}$	$145\text{--}300$	> 43	210	0,7-5,0	Shell Canada Ltd
10	Shell Jet A-1	—	0,775-0,840 ¹⁵	$< 8^{-20}$	$145\text{--}300$	> 43	210	0,7-5,0	Shell Canada Ltd
11	Jet Fuel A/A1	—	0,75-0,80	—	$140\text{--}300$	38	210	0,7-5,0	Hess Co.
12	Jet A	—	0,80 ¹⁵	—	177-288	38-72	210	0,7-5,0	An Axel Johnson, Inc. Co.
13	Jet Fuels (Jet Fuel 1A)	—	0,79-0,84 ^{15,6}	—	160-304,4	$> 37,8$	204	0,7-7,0	Valero Marketing & Supply Co and Affiliates
14	Jet A 1	—	0,775-0,840 ¹⁵	1-2 ⁴⁰	$150\text{--}300$	—	> 220	1-6	Shell New Zealand Ltd
15	Jet A1	—	0,78-0,82 ¹⁵	1-2 ⁴⁰	$140\text{--}300$	≥ 38	~ 240	1-6	Total UK Ltd
16	Jet A with PFA 56 MB	—	0,775-0,840 ²⁰	1,5-2,5 ²⁰	$149\text{--}300$	$38\text{--}66$	210	0,6-4,7	ConocoPhillips Ltd
17	Jet A 1	—	0,755-0,840 ¹⁵	8^{-20}	До 300	≥ 38	—	0,7-5,0	Pertamina Aviation
18	JP-8 (Jet A/ Jet A-1)	153,3 (C ₁₁ H ₂₁)	0,81 ^{15,6}	—	166-267	53	—	—	[6]
19	JP-8 Aviation Turbine Fuel	—	0,80 ^{15,6}	—	—	> 46	—	0,7-5,0	ConocoPhillips Ltd
20	JP-8	—	0,755-0,84 ¹⁵	8^{-20}	$160\text{--}300$	≥ 38	210	0,7-5,0	Western Refining

Продолжение табл. 1

№ п/п	Торговая марка	µ, кг/кмоль (брutto-формула)	Плотность, г/мл	Кинематическая вязкость, мм ² /с	T _{кин} , °C	T _{всп} , °C	T _{свс} , °C	KTB, % (об.)	Производитель (продавец) или литературный источник
21	JP-8 Aviation Turbine Fuel	—	—	1,98 ²⁰	—	—	46	—	0,7-5,0 Chevron Phillips Chemical Co. Ltd
22	Jet Fuel JP8	—	0,75-0,80	—	140-300	38	210	0,7-5,0 Hess Co.	
23	Irving Jet Fuel JP8	—	0,78-0,84 ¹⁵	—	157-261	38-72	210	0,7-5,0 Irving Oil Ltd	
24	Aviation Gasoline 100LL	—	0,71 ¹⁵	0,6 ²⁰	70-170	-42	439	1,4-7,6 Imperial Oil	
25	JP4	119,2 (C _{8,5} H ₁₇)	0,76 ^{15,6}	—	60-238	-23	—	— [6]	
26	Jet Fuel JP4	—	0,75-0,80	—	57-270	-23 ... -1	240	1,3-8,0 Hess Co.	
27	Aviation Gasoline	—	0,65-0,75 ¹⁵	< 1 ^{37,8}	60-170	-46	440	1,2-7,0 Chevron Global Aviation	
28	Aviation Gasoline	—	0,65-0,75 ¹⁵	< 1 ^{37,8}	60-170	-46	440	1,2-7,0 Western Refining	
29	Marathon Aviation Turbine Fuel Jet A 3000 ppm Sulfur Max	180	0,812	1,3-2,1 ⁵⁰	182-288	49-88	254	0,7-5,0 Marathon Petroleum Co.	
30	Marathon Aviation Turbine Fuel Jet A 500 ppm Sulfur Max	180	0,810	1,3-2,1 ⁵⁰	182-288	49-88	254	0,7-5,0 Marathon Petroleum Co.	
31	Marathon Aviation Turbine Fuel Jet A W/Deicer 3000 ppm Sulfur Max	180	0,810	1,3-2,1 ⁵⁰	182-288	49-88	254	0,7-5,0 Marathon Petroleum Co.	
32	Jet Fuel JP-5	—	0,80	—	—	> 60	246	0,7-5,0 Hess Co.	
33	Kerosene –Type Aviation Turbine Fuel	—	0,82-0,85	—	160-300	> 38	240	0,8-7,0 Ultramar Ltd	
34	Aviation Turbine Fuel	—	0,75-0,84 ¹⁵	8 ⁻²⁰	160-300	38	210	0,7-5,0 Chevron Global Aviation	
35	Aviation Kerosene	—	0,775-0,820 ¹⁵	2 ²⁰	150-300	> 38	250	0,5-6,0 ConocoPhillips Ltd	
36	Aviation Turbine Fuel	—	0,75-0,84 ¹⁵	8 ⁻²⁰	160-300	> 38	210	0,7-5,0 Western Refining	
37	Jet Fuel JP-5	—	0,80	—	—	> 60	246	0,7-5,0 Hovensa LLC	
38	Kerosene — Dual Purpose (K1, Aviation Fuel)	—	0,810	1,6 ⁴⁰	160-300	38-41	210	0,6-8,6 Tesoro Petroleum Co.	
39	Regular Kerosene (Lamp oil, Jet-A-1)	—	0,775-0,820 ¹⁵	1-2 ²⁰	150-290	≥ 38	250	0,5-6,0 Irish Refining Ltd	
40	Fuel Oil № 1 (Kerosene, Jet A-1) 168	—	0,835-0,850	—	—	38-72	0,7-5,0 Petro Star Inc.		
41	S-8 Synthetic Jet Fuel	—	0,76	1,2-1,9 ⁴⁰	127-288	38-52	210	— Syntroleum Co.	
42	S-5 Synthetic Jet Fuel	—	0,76	1,2-1,9 ⁴⁰	127-288	> 60	210	— Syntroleum Co.	
43	Kerosene Deodorized	—	0,78	—	171-274	77	232	0,7-6,0 Science Stuff, Inc.	
44	Commercial Kerosene	—	—	< 300	> 38	229	0,7-5,0 Shell Canada Ltd		

Продолжение табл. 1

№ п/п	Торговая марка	µ, кг/кмоль (брutto-формула)	Плотность, г/мл	Кинематическая вязкость, мм ² /с	T _{кип.} , °C	T _{всп.} , °C	T _{снс.} , °C	KTB, % (об.)	Производитель (продавец) или литературный источник
45	Shell* 1-K Kerosene	—	0,775–0,840 ¹⁵	1–2 ⁴⁰	< 300	> 38	229	0,7–5,0	Shell Canada Ltd
46	Shell* Kerosene Marked	—	0,775–0,840 ¹⁵	1–2 ⁴⁰	< 300	> 38	229	0,7–5,0	Shell Canada Ltd
47	SSA K-1 Kerosene	180	0,81	—	182–288	49–88	254	0,7–5,0	Superamerica LLC
48	Marathon K-1 Kerosene 500 ppm Sulfur Max	180	0,81	1,3–2,1 ⁵⁰	182–288	49–88	254	0,7–5,0	Marathon Petroleum Co.
49	Marathon K-1 Kerosene 400 ppm Sulfur Max	180	0,81	1,3–2,1 ⁵⁰	182–288	49–88	254	0,7–5,0	Marathon Petroleum Co.
50	K-1 and K-2 Kerosene	—	0,79–0,85	—	149–304	> 38	210	0,7–5,0	Hess Co.
51	Kerosene (1K Kerosene)	—	0,775–0,840	1,0–2,4 ⁴⁰	149–300	38–66	210	0,7–7,0	ConocoPhillips Ltd
52	Kerosene (1K Kerosene)	—	0,8	—	> 149	52	—	0,7–5,0	Farmland Industries Inc.
53	Kerosene (petroleum)	—	0,78 ¹⁵	2,0 ⁴⁰	150–300	≥ 38	190	0,6–6,0	Consols Oils
54	LS Dyd Kerosene K-1	—	0,816	1,2 ^{37,7}	≤ 268	52	193	0,5–4,4	Motiva Enterprises LLC
55	Fuel Oil № 1 (Kerosene)	—	0,8	1,3 ⁴⁰	151–301	> 49	210	0,7–5,0	Western Refining
56	Fuel Oil № 1 (Kerosene)	—	0,8	—	> 151	85	210	0,7–5,0	Spectrum Chemical MFG Co.
57	Coleman® Kerosene	—	0,85 ^{15,6}	1,2 ^{37,7}	163–274	55	249	0,5–4,4	HOC Industries Inc.
58	Kerosene	—	0,785–0,800	1,2 ⁴⁰	145–300	38–44	350	0,58–4,45	Atlantic Lubricants Pty Ltd
59	Kerosene (K-1 Kerosene, K-2 Kerosene)	—	0,7–0,9 ^{15,6}	—	104–304	10–104	204	0,7–6,0	Valero Marketing & Supply Co and Affiliates
60	Gulf Premium Grade Kerosene	—	< 805	—	150–280	> 46	—	0,6–6,5	Gulf Petroleum
61	Gulf Standard Grade Kerosene	—	< 820	—	150–300	> 38	—	0,6–6,5	Gulf Petroleum
62	Phillips Kerosene	—	0,775–0,840	1,0–2,4 ⁴⁰	149–300	38–66	210	0,7–7,0	ConocoPhillips Ltd
63	Shell Blue Pennant Kerosene	—	0,80 ¹⁵	—	160–280	≥ 38	230	1,0–6,0	Shell New Zealand Ltd
64	Low Sulfur Diesel-S15 (Hydodesulfurized kerosene)	—	≤ 0,881	—	160–370	—	257	0,7–5,0	Nova Chemicals
65	Kerosene (Fuel Oil № 1)	—	0,80–0,81	1,0 – 1,9 ⁴⁰	151–301	> 37,8	210	0,7–5,0	VEE GEE Scientific Inc
66	Kerosene (Low Odor)	~ 170	0,80	—	175–325	38	210	0,7–5,0	Mallinckrodt Baker Inc.
67	Kerosene	—	0,81	—	177–300	≥ 51,7	—	0,7	Sunnyside Co.

Окончание табл. 1

№ п/п	Торговая марка	μ , кг/кмоль (брutto-формула)	Плотность, г/мл	Кинематическая вязкость, мм ² /с	$T_{кип}$, °C	$T_{всп}$, °C	$T_{спс}$, °C	$T_{спс}$, °C	КПВ, % (об.)	Производитель (продавец) или литературный источник
68	Kerosene Heater Fuel	179,8	0,80–0,82 ¹⁶	1,46 ⁴⁰	188–243	61	250	0,7–5,4	Lamplight	
69	Kerosene (K1)	—	0,8	—	160–300	38–41	210	0,7–4	Tesoro Refining & Marketing Co.	
70	Kerosene	—	0,775–0,840	—	149–325	38	210	0,7–5(7)	Scicelab.com Inc.	
71	Керосин осветительный KO-20	191,7 ($C_{13,595}H_{26,860}$)	—	—	—	≥ 40	227	0,55	[4, 9]	
72	KO-20	—	0,792	—	236	55; 68 (о.т.)	227	0,6	[8]	
73	Керосин осветительный KO-22	153,1 ($C_{10,914}H_{21,832}$)	—	—	—	≥ 40	245	0,64	[4, 9]	
74	KO-22	—	—	—	184	46; 50 (о.т.)	245	0,7	[8]	
75	Керосин осветительный KO-25	154,7 ($C_{11,054}H_{21,752}$)	—	—	—	≥ 40	236	0,66	[4, 9]	
76	KO-25	—	—	—	189	46; 50 (о.т.)	236	0,9	[8]	
77	ABTM	—	0,781	—	—	30; 53 (о.т.)	420	—	[8]	
78	Осветительный марки А	—	0,792	—	—	57 (о.т.)	238	—	[8]	
79	Сульфированный	—	0,810	—	—	51	235	—	[8]	
80	Тракторный	—	0,809–0,823	—	—	4–28	250–290	1,0	[8]	

При меч ани я:

1. В степени указана температура в градусах Цельсия, при которой определен показатель. Если степень отсутствует, то неизвестно, при какой температуре определен показатель. Наиболее вероятно, что эти показатели были определены при температуре 60 F (15,6 °C), которая за рубежом часто выступает в качестве реперной точки.
2. Сравнение отечественных и зарубежных данных по температуре самовоспламенения различных веществ (алканы, спирты, галогеналканы и др.) показывает, что результаты, полученные по ГОСТ 12.1.044–89, характеризуются “затянутыми” значениями.
3. Курсивом выделены показатели, определенные авторами.

Таблица 2. Энергетические характеристики углеводородов

Углеводород	q_m , кДж/ кг	μ , кг/ кмоль	H_{cr} , кДж/ моль [12]	q , кДж/моль	Ошибка, %
				$q_m \mu$ 1000	
Метан	2763	16	882	44	46,2
Этан	2797	30	1541	84	90,4
Пропан	2801	44	2202	123	134,8
Бутан	2776	58	2657	161	165,3
Ацетилен	3387	26	1305	88	74,6
Этилен	3010	28	1395	84	80,6
Пропилен	2922	42	2051	123	124,6
Бутилен	2892	56	2717	162	169,3
Бензол	2937	78	3273	229	206,6
Толуол	2843	92	3909	262	249,3
Циклогексан	2797	84	3924	235	250,3
Бензин	2973	98,2	4573 ^{1,2)}	292	293,8
Керосин РТ	2990 ²⁾	152,1 ²⁾	6932 ³⁾	—	452,1

¹⁾ Высшая мольная теплота сгорания бензина рассчитана через низшую удельную теплоту сгорания бензина АИ-93 [4] по формуле Менделеева [13] с последующим переходом от удельной к мольной теплоте сгорания.

²⁾ Рассчитано авторами.

³⁾ Расчет низшей теплоты сгорания керосина РТ по рекомендованной в ГОСТ 10227-86* методике [14] дает значение, равное 42,1 МДж/кг, а по формуле Менделеева [13] — 42,9 МДж/кг. Последний результат близок к нормативному значению низшей удельной теплоты сгорания для керосина РТ (43,1 МДж/кг [7]), поэтому расчеты высших теплот сгорания бензина и керосина РТ выполнены по методу Менделеева [13].

расчетное значение мольной энергии взрыва q для керосина марки РТ составит 452,1 кДж/моль, следовательно, его удельная энергия взрыва q_m будет равна 2990 кДж/кг.

Полученные данные позволяют по формуле (13) определить избыточное давление на фронте детонационной волны в области полусферы керосиновоздушной смеси ΔP_{det} , которое составляет 1910 кПа.

В результате детонации керосиновоздушного облака возникает воздушная ударная волна (ВУВ), которая характеризуется амплитудой избыточного давления во фронте волны ΔP_ϕ и длительностью фазы сжатия ВУВ τ_+ . Параметры ΔP_ϕ и τ_+ являются функциями энергии взрыва E_{yb} и расстояния R . Для расчета E_{yb} руководство предлагает формулу (15), где доля полной энергии взрыва, перешедшей в ВУВ, η рассчитывается по формуле (16) [1]. В нашем случае доля полной энергии взрыва η составляет 0,38.

$$E_{yb} = 2\eta q_v V_{TBC}, \quad (15)$$

где q_v — удельная объемная энергия взрыва стехиометрической смеси керосина с воздухом;

$$\eta = 1 - (2P/P_{det})^{(\gamma-1)/\gamma}; \quad (16)$$

P_{det} — давление на фронте детонационной волны; $P_{det} = 2,586(\gamma-1)q_m = 2011$ кПа [1].

Для расчета удельной объемной энергии взрыва q_v необходимо знать плотность стехиометрической смеси паров керосина РТ при атмосферном давлении 101 кПа и температуре 35 °С. Для этого по формуле (17) [3] определяем плотности паров керосина и воздуха:

$$\rho_g = \frac{273\mu P}{22,4 \cdot 98T}. \quad (17)$$

При температуре t и давлении π (Па) плотность газа ($\text{кг}/\text{м}^3$) может быть найдена по формуле

$$\rho_g = \frac{M}{22,4} \frac{273}{t+273} \frac{\pi}{0,98 \cdot 10^5}$$

или

$$\rho_g = \frac{273}{22,4} \frac{M\pi}{T \cdot 0,98 \cdot 10^5}.$$

Затем с учетом стехиометрической концентрации керосина (см. уравнение (12)) находим плотность паров стехиометрической смеси паров керосина при заданных условиях: $\rho_g^{ctx} = 1,278 \text{ кг}/\text{м}^3$. Найденная плотность ρ_g^{ctx} позволяет перейти от q_m керосина к его удельной объемной энергии взрыва стехиометрической смеси q_v ($q_v = 3821 \text{ кДж}/\text{м}^3$).

Таким образом, энергия взрыва, перешедшая в ВУВ, E_{yb} по уравнению (15) составит 3,57·10⁴ МДж.

В результате детонации керосиновоздушного облака за его пределами распространяется ВУВ, которая характеризуется амплитудой избыточного давления на фронте ВУВ ΔP_ϕ и длительностью фазы ее сжатия τ_+ . Параметры ΔP_ϕ и τ_+ определены по уравнениям (19) – (23) в зависимости от приведенных расстояний R_{np} (м/кДж), которые вычисляются по формуле (18) [1]. Результаты расчетов приведены в табл. 3.

$$R_{np} = R(E_{yb})^{-1/3}, \quad (18)$$

где R — расстояние от керосиновоздушного облака, м.

При $0,05 < R_{np} \leq 0,068$:

$$\Delta P_\phi = (1,227 \cdot 10^{-6})/R_{np}^{4,68} + 0,49. \quad (19)$$

При $0,068 < R_{np} \leq 0,31$:

$$\Delta P_\phi = 4,156/R_{np}^{1,7}. \quad (20)$$

При $R_{np} > 0,31$:

$$\Delta P_\phi = 4,96/R_{np} + 0,974/R_{np}^2 + 0,146/R_{np}^3. \quad (21)$$

При $0,052 \leq R_{np} < 0,434$:

$$\tau_+ = 0,323(R_{np})^{0,5}(E_{yb})^{1/3}. \quad (22)$$

При $R_{np} > 0,434$:

$$\tau_+ = 0,0209(R_{np})^{0,5}(E_{yb})^{1/3}(6,634 - R_{np})^{1,5}. \quad (23)$$

Из табл. 3 видно, что уравнения (19) – (23) начинают работать с расстояния 17 м от керосиновоздушного облака. Таким образом, рассматриваемая методика [1] не позволяет ответить на вопрос, какие значения ΔP_{ϕ} и τ_+ ВУВ будут достигаться в 16-метровой зоне, прилегающей к полусферическому облаку керосиновоздушной смеси. Выявлено, что уравнение (19) работает в интервале расстояний R от 17 до 22 м и при этом дает аномальные значения ΔP_{ϕ} , что, вероятно, связано с внутренней ошибкой уравнения (19). Для нашего случая ΔP_{ϕ} и τ_+ могут быть описаны эмпирическими уравнениями:

$$\Delta P_{\phi} = 1024,1R^{-0,6876} \quad (r^2 = 0,9952); \quad (24)$$

$$\begin{aligned} \tau_+ = -8 \cdot 10^{-10} R^4 + 2 \cdot 10^{-6} R^3 - \\ - 0,0013 R^2 + 0,482 R + 14,993 \quad (r^2 = 0,9992). \end{aligned} \quad (25)$$

Уравнение (25) действует только на отрезке от 21 до 650 м. Отметим, что характер изменения τ_+ с расстояния R 650 и 700 м начинает заметно менять свой вид от плавного повышения к плавному снижению значения длительности фазы сжатия ВУВ τ_+ (см. табл. 3), что, вероятно, связано с неизвестными ограничениями уравнения (25).

Напрямую руководство [1] не позволяет провести оценку последствий взрыва топливовоздушных смесей в режиме детонации, поэтому с учетом приложения 3 документа [1] составим табл. 4, в которой отразим последствия взрыва от избыточного давления на фронте ВУВ ΔP_{ϕ} тринитротолуола. При взрыве в режиме детонации основным параметром действия ВУВ является ΔP_{ϕ} , следовательно, данные табл. 4 красноречиво иллюстрируют последствия детонационного взрыва керосиновоздушной смеси в результате разлива 25 м³ керосина на площади 100 м².

Под действием ветра керосиновоздушное облако переносится от центра его образования на расстояние ΔL (м), которое определяется по уравнению

$$\Delta L = 0,44r_o/\alpha^{1/k}, \quad (26)$$

где r_o — радиус полусферы керосиновоздушного облака;

α и k — коэффициенты, учитывающие состояние атмосферы в зависимости от класса устойчивости атмосферы по Пасквиллу. Для наших условий задачи наиболее подходят классы устойчивости атмосферы А (очень сильно развитая конвекция, солнечно и жарко, скорость ветра 1 м/с) и В (неустойчивое состояние, умеренная конвекция, солнечно и тепло, скорость ветра 2 м/с); тогда $\alpha = 0,43$ и $k = 0,89$ для класса А и $\alpha = 0,26$ и $k = 0,92$ для класса В [1].

По формуле (26) для класса А $\Delta L = 20,4$ м, для класса В $\Delta L = 34,2$ м.

Таблица 3. Значения амплитуды избыточного давления ΔP_{ϕ} и длительности фазы сжатия ВУВ τ_+ в зависимости от расстояния R и приведенного расстояния $R_{\text{пр}}$

R , м	$R_{\text{пр}}$, м/кДж	ΔP_{ϕ} , кПа	τ_+ , м·с
16	0,049	—	—
17	0,052	1,8	21,46
20	0,061	1,1	23,28
23	0,070	383,3	24,96
30	0,091	244,0	28,51
40	0,121	149,6	32,92
50	0,152	102,4	36,80
60	0,182	75,1	40,32
70	0,213	57,8	43,55
80	0,243	46,0	46,55
90	0,273	37,7	49,38
100	0,304	31,5	52,05
103	0,313	30,6	52,82
120	0,364	24,0	57,02
144	0,437	18,2	62,34
150	0,456	17,1	63,35
200	0,607	11,5	70,47
250	0,759	8,6	75,82
300	0,911	6,8	79,86
350	1,063	5,6	82,85
400	1,215	4,8	84,97
450	1,367	4,2	86,37
500	1,519	3,7	87,13
550	1,670	3,3	87,34
600	1,822	3,0	87,07
650	1,974	2,8	86,37
700	2,126	2,6	85,29
750	2,278	2,4	83,86
800	2,430	2,2	82,12

П р и м е ч а н и е . Полужирным выделены аномальные значения ΔP_{ϕ} , получаемые при использовании уравнения (19).

При оценке последствий взрыва топливовоздушной смеси с учетом атмосферных условий следует делать поправку на расстояние ΔL согласно системе уравнений

$$r = \begin{cases} R - \Delta L & \text{если } R \geq \Delta L; \\ 0 & \text{если } R < \Delta L. \end{cases} \quad (27)$$

В отличие от детонационного взрыва паровоздушной смеси дефлаграционный взрыв генерирует ВУВ, существенно меньшую по амплитуде, но большую по длительности. Поскольку нагрузки от ВУВ дефлаграционного взрыва воспринимаются строительными конструкциями как квазистатические,

Таблица 4. Классификация разрушений и повреждений при взрыве топливовоздушной смеси в зависимости от ΔP_{ϕ}

R , м	P_{ϕ} , кПа	Характер разрушений и повреждений [1]
45	100	Разрыв легких человека
50	70	Разрушение стен из армированного бетона, серьезное повреждение машин в производственных зданиях
65	50	Переворачивание железнодорожных вагонов
75	40	Полное разрушение жилых зданий
90	30	Разрушение опор
120	20	Разрушение легких построек с металлическим каркасом; разрыв легких стальных рам
140	16	Разрушение на 50 % жилых домов; нижний предел серьезных разрушений конструкций
154	14	Частичное обрушение стен и черепичной кровли
197	10	Повреждение и разрушение стекол
260	7	Частичное повреждение жилых домов; полное разрушение стекол
420	4	Разрушение стекол на 75 %, разрушение оконных рам
540	3	Очень легкие повреждения конструкций
630	2,5	Разрушение стекол на 50 %; предел мелких разрушений
800	2	Разрушение стекол на 25 %

основным параметром оценки будет зависимость максимального давления от расстояния за пределами топливовоздушного облака.

Зависимость $\Delta P_m(R)$ для наземного дефлаграционного взрыва полусферического облака горючей смеси рассчитывается по формуле

$$\Delta P_m(R) = \frac{\Delta P_{\max}}{1 + G(R/R_{nr} - 1)^H} \text{ при } R \geq R_{nr}, \quad (28)$$

где ΔP_{\max} — максимальное избыточное давление ВВВ в пределах облака; $\Delta P_{\max} = 46,2$ кПа;

$$\Delta P_{\max} = 2,1P_0 \frac{(w/a_0)^2}{1 + w/a_0};$$

w — скорость фронта пламени; $w = 200$ м/с; a_0 — скорость звука в воздухе при нормальных условиях; $a_0 = 340$ м/с;

G, H — константы; $G = 0,467$; $H = 1,14$ [1];

$$R_{nr} = 0,78 \sqrt[3]{\left(4 + \frac{4C_h}{C_{ctx}}\right) \frac{2240 \chi M_t T}{\mu C_h T_0}};$$

$R_{nr} = 40,6$ м;

C_h — НКПВ; $C_h = 0,7$ %.

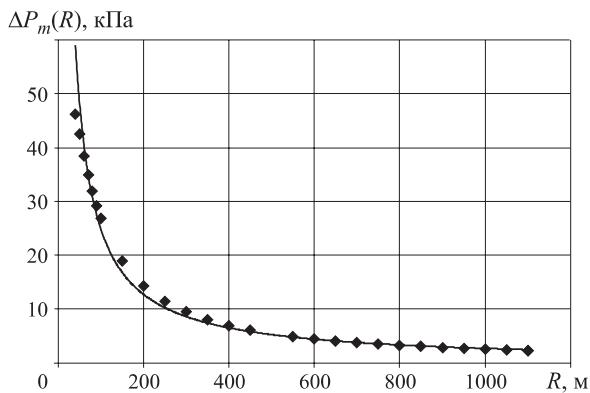


Рис. 2. Зависимость избыточного давления при дефлаграционном взрыве керосиновоздушной смеси в зависимости от расстояния

Результаты расчета представлены на рис. 2. Зависимость $\Delta P_m(R)$ для нашего случая может быть описана уравнением

$$\Delta P_m = \frac{2092,5}{R^{0,9632}} \text{ при } R \geq 40,6 \text{ м } (r^2 = 0,99336). \quad (29)$$

Сравнение рис. 2 с данными табл. 4 дает полное представление о возможной картине разрушений и повреждений в результате дефлаграционного взрыва керосиновоздушной смеси для заданных условий задачи.

В заключение отметим, что РБ Г-05-039-96 [1] дает возможность проводить оценку последствий взрыва топливовоздушных смесей для двух режимов (детонации и дефлаграментации), что, безусловно, является достоинством данной методики. Однако информация о характеристиках, необходимых для расчетов, охватывает небольшой круг индивидуальных веществ (всего 19 соединений) и бензин, что резко ограничивает сферу применения данного руководства. Кроме того, в документе имеется ряд неточностей: например, стехиометрические концентрации, молекулярные массы ряда веществ указаны неверно; некоторые НКПВ соединений отличаются от справочных данных [8]; на диаграммах не приводятся единицы измерения. Для топливовоздушных смесей нет примеров полного расчета по предлагаемой методике. Алгоритм оценки полученных результатов расчетов также отсутствует. Наконец, за рамками данной методики осталось тепловое воздействие объемного взрыва топливовоздушных смесей. Все это препятствует широкому применению данного руководства.

Работа выполняется по целевой программе научных исследований УрО РАН по проекту "Природные и техногенные катаклизмы". Регистрационный номер проекта 09-С-2-1014.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **РБ Г-05-039-96.** Руководство по анализу опасности аварийных взрывов и определению параметров их механического воздействия. — М. : НТЦ ЯРБ Госатомнадзора России, 2000.
2. Паспорт на авиатопливо РТ № 157 от 30.04.2009 / Лаборатория ГСМ (г. Пермь, аэропорт Б. Савино-1).
3. **Стекольщиков М. Н.** Углеводородные растворители. Свойства, производство, применение : справочное изд. — М. : Химия, 1986.
4. Пособие по применению НПБ 105-95 “Определение категорий помещений и зданий по взрывоопасной и пожарной опасности” при рассмотрении проектно-сметной документации // Сборник НСИС ПБ. — 2007. — № 3 (31) [электронный ресурс].
5. Краткий справочник физико-химических величин / Под ред. К. П. Мищенко, А. А. Равделя. — Л. : Химия, 1972.
6. **Edwards T.** “Kerosene” Fuels Aerospase Propulsion — Composition and Properties // Proc. the 38th AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conf. (7–10 July 2002). — Indianapolis (USA) : American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2002. — Р. 1–11.
7. **ГОСТ 10227–86***. Топлива для реактивных двигателей. Технические условия. — Введ. 1987–01–01. — М. : Стандартинформ, 2005.
8. **Баратов А. Н., Корольченко А. Я., Кравчук Г. Н.** и др. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения : справоч. изд. : в 2 кн. / Под ред. А. Н. Баратова и А. Я. Корольченко. — М. : Химия, 1990. — Кн. 1 и 2.
9. **ВНТП 05–97.** Определение категорий помещений и зданий предприятий и объектов железнодорожного транспорта по взрывоопасной и пожарной опасности : принятые указанием МПС России от 19 марта 1997 г. № Г-348 у : ввод. в действие с 1 августа 1997 г. [электронный ресурс]. URL : <http://www.exd.ru/gosts/normativi/vntp%20%2005-97.pdf> (дата обращения 01.12.2009).
10. **Zabetakis M. G.** Flammability Characteristics of Combustible Gases and Vapors. — Washington : U. S. Dept. of the Interior, Bureau of Mines, 1965.
11. **Шебеко Ю. Н., Навцена В. Ю., Копылов С. Н.** и др. Расчет основных показателей пожаро-взрывоопасности веществ и материалов : руководство. — М. : ВНИИПО, 2002.
12. **Рабинович В. А., Хавин З. Я.** Краткий химический справочник. — Изд. 2-е, испр. и доп. — Л. : Химия, 1978.
13. Справочник химика / Под. ред. Б. И. Никольского, О. Н. Григорова, М. Е. Позина и др. — Л. : Химия, 1967. — Т. 6.
14. **ГОСТ 11065–90 (СТ СЭВ 6753–89).** Топливо для реактивных двигателей. Расчетный метод определения низшей удельной теплоты сгорания. — Введ. 1991–07–01 [электронный ресурс]. URL : <http://www.complexdoc.ru> (дата обращения 01.12.2009).

*Материал поступил в редакцию 9 апреля 2010 г.
Электронные адреса авторов: Alexshome@mail.ru,
NMBarbin@yandex.ru, TimashevS@wekt.ru, sec@wekt.ru.*



Р. Ш. Еналеев
канд. техн. наук, доцент
Казанского технологического университета,
г. Казань, Республика Татарстан



Э. Ш. Теляков
д-р техн. наук, профессор
Казанского технологического университета,
г. Казань, Республика Татарстан



О. А. Тучкова
аспирант Казанского технологического университета,
г. Казань, Республика Татарстан



О. Ю. Харитонова
аспирант Казанского технологического университета,
г. Казань, Республика Татарстан



В. А. Качалкин
канд. техн. наук, заведующий кафедрой Казанского института Российского государственного торгово-экономического университета, г. Казань, Республика Татарстан

УДК 614.841

ОГНЕСТОЙКОСТЬ ЭЛЕМЕНТОВ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ ВЫСОКОИНТЕНСИВНОМ НАГРЕВЕ

Разработана математическая модель для расчета температурного поля элементов конструкций при различных комбинированных граничных условиях. В качестве критерия разрушения железобетонных конструкций предлагается критическая температура 600 °С на глубине 2 мм от нагреваемой поверхности при различных скоростях нагрева.

Ключевые слова: элемент конструкции, стандартный пожар, специальный нагрев, модель нагрева.

Предельные состояния элементов строительных конструкций характерны для аварийных ситуаций при крупномасштабном горении энергоемких веществ и материалов в области аэрокосмической техники, атомной энергетики, нефтехимической технологии. Количественная оценка огнестойкости материалов конструкций при высокointенсивном нагреве необходима при разработке средств защиты и проектировании пожароопасных объектов.

Оценка материалов на огнестойкость проводится по методике международного стандарта ISO 834, в котором стандартный пожар аппроксимируется с помощью формулы подъема температуры окружающей среды до 1200 °С и плотности теплового потока до 40 кВт/м².

Однако в условиях реальных пожаров, например при горении розливов жидкых углеводородных топлив или в случае огненных шаров, интенсивность тепловых потоков и время горения могут существенно отличаться от показателей стандартного пожара [1].

Таким образом, совершенствование методов оценки пределов огнестойкости пожароопасных материалов при высокointенсивном нагреве имеет важное теоретическое и прикладное значение. В настоящее время актуальность и перспективность данного направления исследований повышается, что

обусловлено разработкой по инициативе Правительства РФ мегапроекта по крупномасштабной добыче и транспортированию нефти и газа на полуострове Ямал. Строительство терминалов для хранения продуктов объемом более 300 тыс. м³ [2] и высокая концентрация технологического оборудования выдвигают новые подходы к обеспечению пожарной безопасности таких объектов [3].

В соответствии с [3, 4] при воздействии опасных факторов стандартного пожара на элементы строительной конструкции за предел огнестойкости принимается время наступления одного или нескольких нормируемых для данной конструкции признаков предельных состояний. В качестве критериев предела огнестойкости для негорючих материалов принято критическое значение температуры материала конструкции в интервале 500–700 °С, для горючих — время задержки воспламенения [5].

Проведение стандартных испытаний требует больших материальных затрат, поэтому специалистами разрабатываются адекватные математические модели для расчета предельных состояний. Расчетная оценка огнестойкости элементов строительных конструкций включает два последовательных этапа: теплотехнический расчет и расчет пределов огнестойкости. В данной работе основное внимание уделяется первому этапу. В качестве объекта иссле-

© Еналеев Р. Ш., Теляков Э. Ш., Тучкова О. А., Харитонова О. Ю., Качалкин В. А., 2010

дования выбраны железобетонные конструкции, для которых разработаны стандартные методы оценки пределов огнестойкости при стандартном пожаре.

Нагрев элементов конструкций при стандартном пожаре

При построении математических моделей и обосновании критерия разрушения элемента конструкции в условиях пожара используется комплекс методов, схематично показанных на рис. 1.

В математической постановке задачи при стандартном пожаре для капиллярно-пористых строительных материалов (бетон, древесина, полимеры) учитывается объемное испарение влаги. При низком влагосодержании относительные затраты энергии на испарение влаги незначительны. Однако согласно [6, 7] при высоконинтенсивном нагреве происходит взрывоопасное вскипание влаги и возрастание давления пара, что способствует поверхностному разрушению бетона. Испарение влаги описывается формально-кинетическим уравнением [8]:

$$\frac{d\eta}{d\tau} = \kappa(1-\eta)^n \exp\left(-\frac{L_0}{RT_s}\right), \quad (1)$$

где η — глубина (степень) фазового превращения влаги при объемном испарении;

κ — предэкспонента;

n — эффективный порядок реакции;

L_0 — эффективная энергия активации испарения; $L_0 = L\mu$;

L — теплота испарения влаги со свободной поверхности;

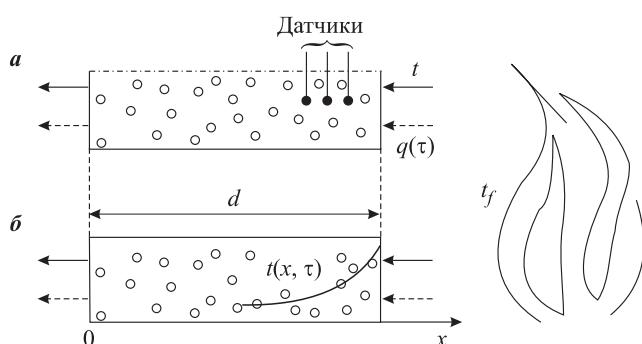
μ — молярная масса воды;

R — универсальная газовая постоянная;

T_s — температура материала.

С учетом стока тепла и зависимости теплофизических свойств от температуры для одномерного одностороннего нагрева элемента конструкции удельная энергия описывается уравнением

$$c(T)\rho \frac{\partial T(x, \tau)}{\partial \tau} = \lambda(T) \frac{\partial^2 T(x, \tau)}{\partial x^2} - L\rho w_0 \frac{d\eta}{d\tau}, \quad (2)$$



где $c(T)$, ρ , $\lambda(T)$ — теплоемкость, плотность, коэффициент теплопроводности материала конструкции соответственно;

w_0 — начальное влагосодержание.

Начальные условия:

$$T(x, 0) = T_0. \quad (3)$$

Границные условия на фронтальной поверхности для стандартного пожара:

$$-\lambda(T) \frac{\partial T(0, \tau)}{\partial x} - \alpha_f (T_f - T(0, \tau)) - \varepsilon_{\text{пр}} \sigma \left[\left(\frac{T_f}{100} \right)^4 - \left(\frac{T(0, \tau)}{100} \right)^4 \right] = 0, \quad (4)$$

где τ — время горения;

α_f — коэффициент теплоотдачи от пламени к поверхности материала;

T_f — температура пламени;

$\varepsilon_{\text{пр}}$ — приведенный коэффициент поглощения излучения;

$$\varepsilon_{\text{пр}} = \frac{1}{1/\varepsilon_f + 1/\varepsilon_{\mu} - 1};$$

$\varepsilon_f, \varepsilon_{\mu}$ — степень черноты соответственно пламени и материала;

σ — коэффициент излучения.

Для стандартного пожара t_f определяется по уравнению

$$t_f = 345 \lg \left(\frac{8}{60} \frac{\tau}{t_0} + 1 \right) + t_0. \quad (5)$$

Для пожара розливов и для огненных шаров значение t_f можно рассчитать по поверхностной плотности излучения [7] и степени черноты пламени.

Границные условия на тыльной поверхности элемента конструкции для рассматриваемых типов пожаров описываются равенством

$$-\lambda(T) \frac{\partial T(d, \tau)}{\partial \tau} - \alpha(T(d, \tau) - T_0) - \varepsilon \sigma \left[\left(\frac{T(d, \tau)}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_0}{100} \right)^4 \right] = 0, \quad (6)$$

где α — коэффициент теплоотдачи от тыльной поверхности материала.

Рис. 1. Схемы методов оценки огнестойкости:
а — эксперимент; б — теплотехнический расчет;
в — метод предельных состояний

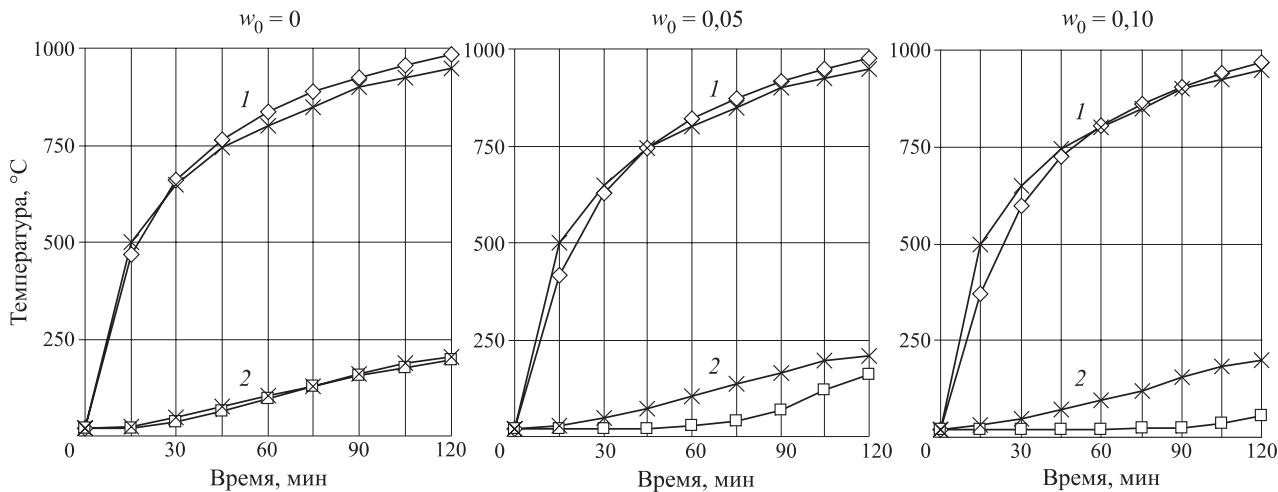


Рис. 2. Динамика прогрева тяжелого бетона на силикатном заполнителе с высотой сечения 100 мм при различной начальной влажности w_0 : 1 — фронтальная поверхность; 2 — тыльная поверхность; —□— модель; —×— стандартный пожар

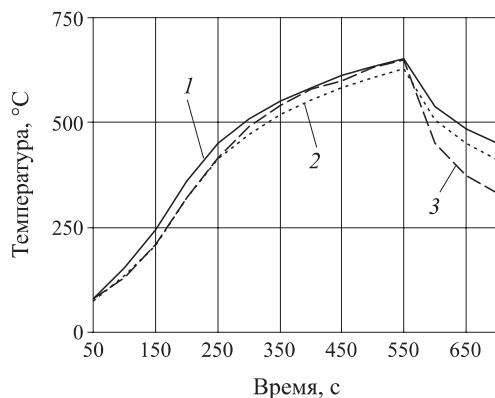


Рис. 3. Сравнение расчетных данных по предлагаемой модели (1, 2) и результатов зарубежных исследователей [7] (3): 1 — $w = 0$; 2 — $w = 0,03$; 3 — Consolazio

Для прогнозирования предельного состояния элементов конструкций при высоконицентивном нагреве разработанная модель (1)–(6) проверялась на адекватность по известным расчетно-экспериментальным данным. Оценка проводилась путем сравнения результатов вычислительного эксперимента с данными по температуре прогрева тяжелого бетона на силикатном заполнителе в плитах и стенах с высотой сечения 60, 100 и 140 мм при одностороннем огневом воздействии стандартного пожара. Как видно из рис. 2, температурные поля на фронтальной поверхности элемента, рассчитанные по предлагаемой модели и по данным [4], практически совпадают. Разница температур на тыльной поверхности объясняется испарением влаги.

Дополнительно расчеты по модели сравнивались с экспериментальными данными по нагреву бетона тепловым излучением с параметрами, близкими к пожарам розливов [7].

Представленные на рис. 3 данные подтверждают адекватность расчетной модели эксперименту и

позволяют оценивать роль объемного испарения на температурное поле в образцах бетона при воздействии излучения от пожаров розлива.

Построение упрощенной модели высоконицентивного нагрева

Разработка расчетных методов определения пределов огнестойкости элементов конструкций основывается на результатах испытаний этих элементов в лабораторных условиях, имитирующих тепловое воздействие реальных пожаров. В испытательных стенах контролируется и реализуется среднеобъемная температура теплоносителя до 1200 °C или интенсивность теплового потока до 50 кВт/м². Однако для огненных шаров максимальная плотность потока достигает 450 кВт/м² [1]. Реализация таких потоков в лабораторных условиях на относительно большой, равномерно облучаемой поверхности является сложной технической задачей.

В связи с этим для проверки адекватности математических моделей условиям стандартного пожара авторами предлагается специальный метод высоконицентивного нагрева элементов конструкций за счет выделения химической энергии пиротехническими составами (ПС), при горении которых плотность тепловых потоков с приемлемым приближением имитирует реальные потоки теплового излучения от огненных шаров и пожаров розлива.

Для расчета поля температур в бетоне строится математическая модель теплообмена в системе ПС–бетон, схематично представленная на рис. 4. Для продуктов горения ПС принимается однотемпературная модель с равномерным распределением температуры по сечению ПС, обусловленным интенсивным турбулентным теплообменом между газообразными продуктами горения и пористой структурой твердой фазы шлаков.

В связи с интенсивным теплоотводом между элементами системы образуется контактный слой толщиной 1–2 мм из недогоревшего ПС и воздушного зазора, через который осуществляется теплопередача с помощью различных механизмов теплообмена. Расчет контактного теплового сопротивления является трудноразрешимой задачей, поэтому интенсивность теплообмена между элементами системы ПС – бетон рассчитывается по разности температур между ядром ПС и поверхностью бетона по формуле

$$q_s = \alpha_s (T_{\text{ш}} - T_6), \quad (7)$$

где α_s — коэффициент теплопередачи в месте контакта ПС и бетона, определяемый экспериментально с помощью сканирующего калориметра; $T_{\text{ш}}$, T_6 — температура соответственно шлаков и бетона.

При допущении незначительного перепада температур по оси бетона уравнение энергии для бетона записывается в виде уравнений:

$$c_b \rho_b \frac{\partial T_6}{\partial \tau} = \lambda_b \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} r \frac{\partial T_6}{\partial \tau} - L \rho w_0 \frac{\partial \eta}{\partial \tau}; \quad (8)$$

$$\tau = 0; \quad w = w_0; \quad T(0, \tau) = T_0; \quad (9)$$

$$r = R_0; \quad q = q_s; \quad r = R_h; \quad (10)$$

$$q = \alpha [T_6(R_h, \tau) - T_0],$$

где c_b , ρ_b , α_b — теплоемкость, плотность, коэффициент теплопроводности бетона;

T_0 — температура окружающей среды;

α — коэффициент теплоотдачи свободной конвекцией;

R_h , w — наружный радиус и влагосодержание бетона.

Уравнение теплопереноса в ПС записывается в виде:

$$c_{\text{ш}} \rho_{\text{ш}} \frac{\partial T_{\text{ш}}}{\partial \tau} = \lambda_{\text{ш}} \nabla^2 T_{\text{ш}} + c_g \rho_g U_g \nabla T_{\text{ш}} + c_{\text{ш}} \rho_{\text{ш}} U \nabla T_{\text{ш}} - \alpha_v (T_{\text{ш}} - T_6), \quad (11)$$

где индекс “ш” относится к шлаку, “g” — к газообразным продуктам горения.

Первый член правой части уравнения (11) учитывает перенос энергии с помощью теплопроводности, второй — молярным движением газа, третий — через контактное тепловое сопротивление. Учитывая низкий коэффициент теплопроводности продуктов горения ПС (1–2 Вт/(м·К)), первым членом можно пренебречь.

Для определения нестационарного температурного поля в шлаке уравнение (11) должно быть дополнено уравнениями переноса массы и импульса для шлака и газа с учетом уравнения состояния газа, зависимостями коэффициентов переноса от температуры. Из-за отсутствия полной информации о

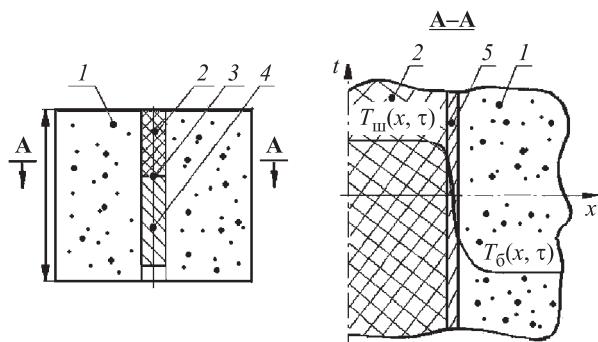


Рис. 4. Схема горения ПС в контакте с бетоном: 1 — бетон; 2 — продукты горения ПС (шлаки); 3 — фронт горения; 4 — исходный ПС; 5 — недогоревший подслой на поверхности контакта

термо- и газодинамических характеристиках данной двухфазной системы решение уравнения (11) сопряжено с непреодолимыми математическими трудностями. Поэтому для численного решения предлагается использовать принцип расщепления по физическим процессам. Тогда для каждого временного слоя последовательно решаются уравнения:

$$\left(\frac{\partial T_{\text{ш}}}{\partial \tau} \right)_0 = - \frac{\alpha_v}{c_{\text{ш}} \rho_{\text{ш}}} (T_{\text{ш}} - T_6); \quad (12)$$

$$\left(\frac{\partial T_{\text{ш}}}{\partial \tau} \right)_1 = U \frac{\partial T_{\text{ш}}}{\partial x}; \quad (13)$$

$$\left(\frac{\partial T_{\text{ш}}}{\partial \tau} \right)_2 = \lambda_v \frac{\partial^2 T_{\text{ш}}}{\partial x^2}; \quad (14)$$

$$\left(\frac{\partial T_{\text{ш}}}{\partial \tau} \right)_3 = \frac{c_g \rho_g}{c_{\text{ш}} \rho_{\text{ш}}} U_g \frac{\partial T_g}{\partial x}. \quad (15)$$

Алгоритм вычислительного процесса можно представить в виде последовательности дробных временных шагов. На первом, нулевом, шаге по уравнению (12) рассчитывается уменьшение температуры шлака за счет поперечного оттока тепла к поверхности бетона.

Значение α_v определяется из автоматизированного эксперимента с медным сканирующим калориметром с равномерным распределением температуры [9, 10].

В связи с низким значением коэффициента теплопроводности шлаков переносом энергии за счет молекулярного переноса можно пренебречь и учитывать только конвективный перенос газообразными продуктами горения. Кроме того, при интенсивном теплообмене между газообразными и конденсированными продуктами горения за счет турбулентного движения газов через пористый слой шлаков адекватной является однотемпературная модель, в которой $T_g \approx T_{\text{ш}}$.

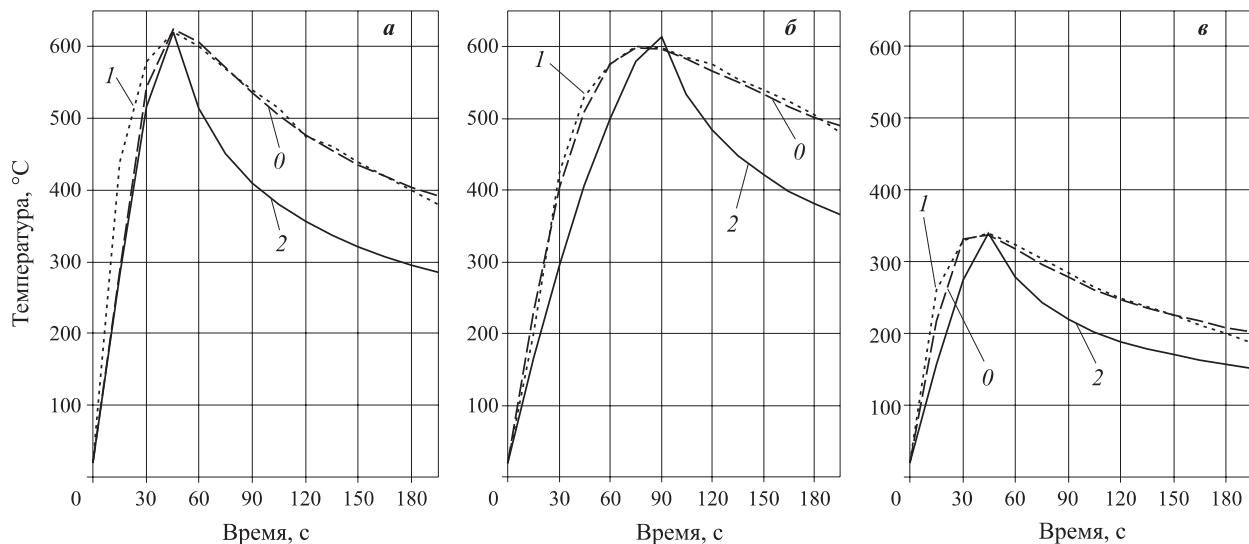


Рис. 5. Результаты моделирования высокоинтенсивного нагрева бетона трех составов: *а* — АТ; *б* — базового; *в* — КБ; 0 — эксперимент; 1 — модель нагрева пиросоставом; 2 — огненный шар

Тогда вместо уравнений (13)–(15) можно записать одно уравнение:

$$\left(\frac{\partial T_{\text{ш}}}{\partial \tau} \right)_1 = k \left(\frac{\partial T_{\text{ш}}}{\partial \tau} \right)_0, \quad (16)$$

где $k = \frac{c_g \rho_g U_g}{c_{\text{ш}} \rho_{\text{ш}} U}$.

Для выбранных пиротехнических составов очное значение коэффициента k лежит в пределах 0,5–3,0.

Значение коэффициента k определяется одним из методов оптимизации и приравнивается нулю, если фронт горения достигает дна бетонного образца и процесс горения прекращается.

В качестве базового ПС использовали термитный состав ТИ-5 [11] и его модификации, содержащие в качестве окислителя железную окалину Fe_3O_4 , а в качестве горючего — магний.

Чтобы получить различные значения скорости горения и интенсивности подвода энергии к поверхности бетона, применяли два других ПС, имеющие отличные от базового энергетические и кинетические характеристики. Результаты опытных данных и вычислительного эксперимента для трех составов

(базового, алюминиевого АТ и карбонатного КБ) по определению температуры бетона на глубине 2 мм от поверхности представлены на рис. 5. Дополнительно на рис. 5 показано изменение температуры бетона под воздействием теплового излучения огненного шара [12].

Выводы

1. Разработана математическая модель нагрева элементов строительных конструкций с учетом объемного испарения влаги и зависимости теплофизических свойств от температуры.

2. Установлена адекватность расчетной модели условиям стандартного пожара по экспериментальным данным отечественных и зарубежных исследований при нагреве от пламени пожаров.

3. Предложена техника специального высокоинтенсивного нагрева для прогнозирования условий разрушения образцов бетона при пожарах разливов и для случая огненных шаров.

4. Установлен температурный критерий разрушения элементов железобетонных конструкций в широком диапазоне изменений температуры пламени пожаров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- ГОСТ Р 12.3.047–98. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля. — Введ. 2000–01–01. — М. : Госстандарт России, 1998. — 84 с.
- Шебеко Ю. Н., Молчанов В. П., Дешевых Ю. И. и др. Оценка пожарного риска для крупномасштабного терминала отгрузки нефти // Пожарная безопасность. — 2005. — № 1. — С. 40–49.
- Шебеко Ю. Н., Болодъян И. А., Молчанов В. П. и др. Оценка пожарного риска для буровой площадки с комплексом первичной подготовки нефти и газа // Пожарная безопасность. — 2005. — № 3. — С. 14–21.

4. **СТО 36554501-006-2006.** Правила по обеспечению огнестойкости и огнесохранности железобетонных конструкций. — Введ. 2006-11-01. — М. : ФГУП “НИЦ “Строительство”, 2006. — 78 с.
5. Руководство по оценке пожарного риска для промышленных предприятий. — М. : ФГУ ВНИИПО, 2006. — 36 с.
6. **Жуков В. В., Гуляева В. Ф., Сорокин А. Н.** Взрывообразное разрушение бетона // Огнестойкость строительных конструкций. — М. : ВНИИПО МВД СССР, 1976. — Вып. 4. — С. 42–57.
7. **Consolazio G. R., McVay M. C., Rish J. W.** Measurement and Prediction of Pore Pressure in Cement Mortar Subjected to Elevated Temperature // International Workshop on Fire Performance of High-Strength Concrete, NIST, Gaithersburg, MD. — 1997. — February 13–14. — Р. 125.
8. **Исаков Г. Н.** Некоторые вопросы методологии кинетического эксперимента при термическом анализе полимерных материалов и композитов на их основе // ТГУ. — 1980. Деп. ВИНТИ. — № 4207.
9. **Маршалл В.** Основные опасности химических производств: пер. с англ. — М. : Мир, 1989. — 672 с.
10. **Еналеев Р. Ш., Абдуллин Н. А., Динмухаметов Р. Р., Качалкин В. А.** Моделирование энергопереноса при горении малогазовых тепловых составов в системе с интенсивным теплоотводом // Тепломассообмен — ММФ–2004. IV Минский международный форум. — 2004.
11. **Еналеев Р. Ш., Гортышов Ю. Ф., Качалкин В. А., Осипов А. М.** Измерение мощных радиационных потоков пластичными калориметрами // Тепло- и массообмен в двигателях летательных аппаратов : межвузовский сборник. — Казань: КАИ, 1982. — С. 148.
12. **Сериков С. В., Мадякин Ф. П., Идиатуллин Р. Ш.** и др. Разработка пиротехнических составов для термообработки сварных соединений // Физика горения и взрыва. — 1991. — Т. 27, № 4. — С. 73–78.
13. **Еналеев Р. Ш., Теляков Э. Ш., Хайруллин И. Р.** и др. Моделирование крупномасштабного горения углеводородных газов // Известия вузов. Проблемы энергетики. — 2008. — № 11–12.

*Материал поступил в редакцию 9 апреля 2010 г.
Электронные адреса авторов: firepredict@yandex.ru,
touchkova-o-a@mail.ru, haritonova@mail.ru.*

**С. Ф. Катышев**

д-р хим. наук, профессор, заведующий кафедрой Уральского государственного технического университета им. Первого Президента России Б. Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

**В. Н. Десятник**

д-р техн. наук, профессор, профессор Уральского государственного технического университета им. Первого Президента России Б. Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

**Л. М. Теслюк**

канд. хим. наук, доцент, доцент Уральского государственного технического университета им. Первого Президента России Б. Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

УДК 662.221.4

ВЛИЯНИЕ ДОБАВОК НА ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ АММИАЧНОЙ СЕЛИТРЫ С СУЛЬФИДНОЙ РУДОЙ

Представлены данные по изучению взаимодействия аммиачной селитры с добавками и сульфидной руды. В качестве добавок были использованы нитрат натрия и уротропин. На основании полученных результатов установлены зависимости степени превращения пирита от времени, а также констант скоростей реакций от температуры; определено влияние кислотности увлажняющей среды на процесс взаимодействия плава $\text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{NaNO}_3$ с пиритом; найдена оптимальная концентрация добавки уротропина для стабилизации взрывчатых веществ на основе аммиачной селитры.

Ключевые слова: аммиачная селитра, сульфидная руда, взрывчатые вещества, анализ, взаимодействие.

Введение

Для проведения открытых и подземных горных работ применяются взрывчатые вещества (ВВ) на основе аммиачной селитры (АС), в которых в качестве сенсибилизаторов используются тротил или горючие добавки. Безопасность применения ВВ на основе АС при ведении взрывчатых работ определяется стабильностью их неизменных физических и химических свойств. Нарушение стабильности аммиачной селитры при контакте с рудообразующими минералами обусловлено высокой окислительной активностью нитрата аммония по отношению к сульфидам. В связи с этим применение взрывчатых веществ данного типа на сульфидных месторождениях ограничивается такими факторами, как кислотность среды, температура и время их контакта со взрываемым материалом.

Методика постановки эксперимента

Для проведения исследований в диапазоне температур от 25 до 200 °C применяли микрокалориметрический анализ с использованием дифференциального автоматического микрокалориметра ДАК I-IIA, который позволяет поддерживать изотер-

мический температурный режим неограниченное время. Измеряемой величиной являлось количество выделившегося тепла, не зависящее от теплоемкости веществ. Погрешность измерения энергии тепловыделения не превышала 2 %. Методики проведения эксперимента и расчетов достаточно подробно описаны в работах [1, 2].

Результаты и обсуждение эксперимента

Исследование влияния температуры и кислотности (рН) увлажняющей среды на процесс взаимодействия плава аммиачной селитры и нитрата натрия с сульфидной рудой проводилось в интервале температур от 30 до 130 °C при рН увлажняющей среды 0,78 и 1,21. В качестве сульфидной руды использовался пирит (FeS_2), с которым аммиачная селитра проявляет максимальную окислительную активность. Для всех изученных температур установлена линейная зависимость степени превращения α пирита от времени (рис. 1). Из рис. 1 видно, что с ростом температуры степень превращения α достигает наиболее высоких значений за меньший промежуток времени, т. е. увеличивается скорость химической реакции.

© Катышев С. Ф., Десятник В. Н., Теслюк Л. М., 2010

Константу скорости химической реакции k рассчитывали через время полупревращения, за которое степень превращения α достигала значения, равного 0,5. Зависимость $\ln k$ от $1/T$ получилась линейная (рис. 2), поэтому можно считать, что скорость взаимодействия пирита с плавом аммиачной селитры и нитрата натрия подчиняется закону первого порядка и может быть описана уравнением

$$\alpha = 1 - e^{-k\tau}, \quad (1)$$

где α — степень превращения руды;

k — константа скорости, с^{-1} ;

τ — время, с.

Такой характер изменения скорости во времени (1) можно связать с тем, что в наших условиях аммиачная селитра взята с большим избытком и ее концентрация практически постоянна, а величина концентрации пирита зависит от изменения его реакционной поверхности. На основании температурной зависимости константы скорости рассчитано значение энергии активации процесса и установлено общее уравнение реакции. Зависимость константы скорости от температуры определяется уравнением Аррениуса:

$$k = k_0 e^{-E_a / RT}, \quad (2)$$

где k_0 — константа, не зависящая от температуры, с^{-1} ;

E_a — энергия активации, кДж/моль;

R — универсальная газовая постоянная;

T — температура, К.

Найденные значения энергии активации E_a равны 32,8 и 54,83 Дж/моль при pH увлажняющей среды соответственно 0,78 и 1,21. Отсюда получаем уравнения зависимости констант скорости реакции от температуры:

$$k_1 = 5,99e^{-3,28 \cdot 10^4 / 8,314T} \quad \text{при pH} = 0,78 \quad (r = 0,91); \quad (3)$$

$$k_2 = 10,097e^{-5,48 \cdot 10^4 / 8,314T} \quad \text{при pH} = 1,21 \quad (r = 0,98), \quad (4)$$

где r — коэффициент корреляции.

Сравнивая энергию активации для системы с чистой аммиачной селитрой ($E_a = 48,9$ кДж/моль) и смеси аммиачной селитры с нитратом натрия, можно сделать вывод, что с ростом кислотности увлажняющей среды энергия активации процесса уменьшается и, следовательно, повышается активность плава.

На основании результатов определения суммарного энерговыделения в процессах взаимодействия при различных температурах и химического анализа рассчитаны удельные энергии процесса в расчете на количество руды, вступившей в реакцию. Значения удельной энергии процесса в зависимости от температуры приведены на рис. 3.

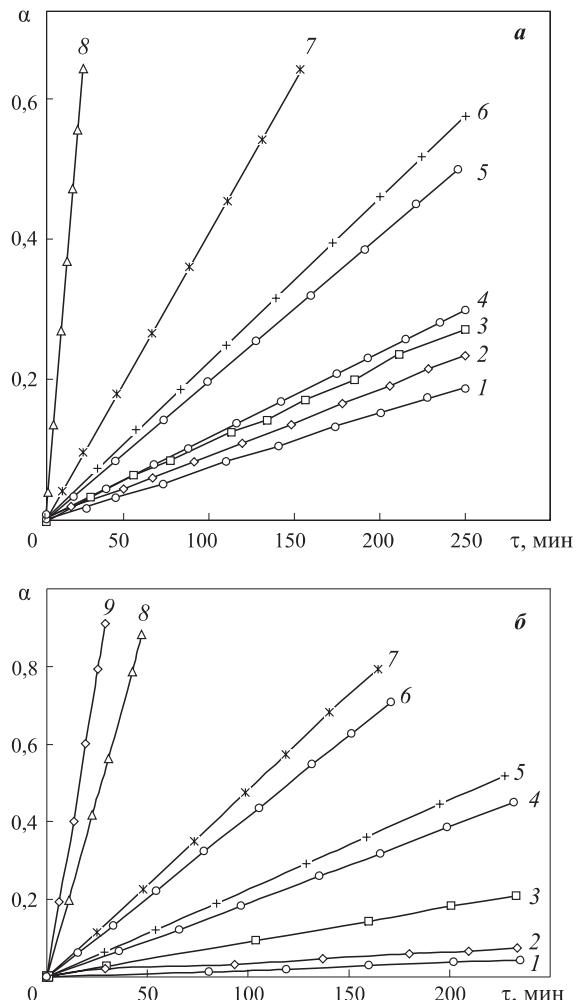


Рис. 1. Зависимость степени превращения пирита α при взаимодействии с плавом аммиачной селитры и нитрата натрия от времени при pH увлажняющей среды 0,78 (а) и 1,21 (б) и различных температурах: 1 — 30 °C; 2 — 40 °C; 3 — 50 °C; 4 — 60 °C; 5 — 70 °C; 6 — 80 °C; 7 — 90 °C; 8 — 110 °C; 9 — 130 °C

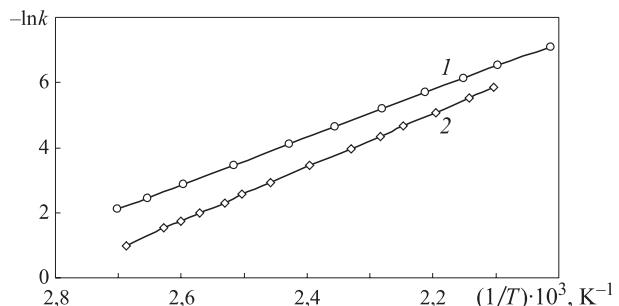


Рис. 2. Зависимость констант скоростей реакции взаимодействия плава $\text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{NaNO}_3$ с пиритом от температуры при pH 0,78 (1) и 1,21 (2)

Из рис. 3 видно, что с ростом температуры удельная энергия увеличивается до определенного момента, а затем при дальнейшем ее повышении происходит снижение теплового эффекта реакции. Максимальные значения удельной энергии 1145 и

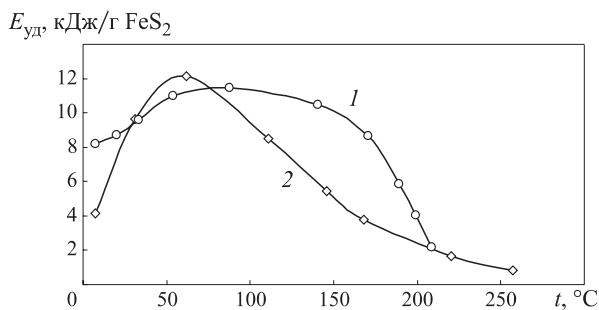


Рис. 3. Зависимость удельной энергии процесса взаимодействия плава $\text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{NaNO}_3$ с сульфидной рудой от температуры при pH увлажняющей среды 0,78 (1) и 1,21 (2)

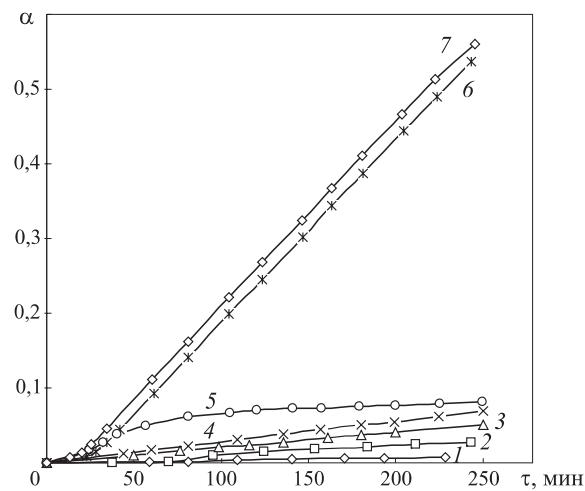


Рис. 4. Зависимость степени превращения пирита α от времени при взаимодействии с плавом АС и уротропина при его различной концентрации, %: 1 — 5,0; 2 — 3,0; 3 — 2,0; 4 — 1,5; 5 — 1,0; 6 — 0,5; 7 — 0,1

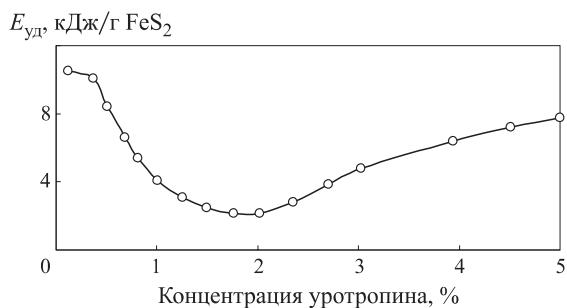


Рис. 5. Зависимость удельной энергии взаимодействия пирита с плавом NH_4NO_3 и уротропина от концентрации последнего

1210 Дж/г FeS₂ соответствуют pH увлажняющей среды 0,78 и 1,21 и температурам 87 и 60 °C. Подобный характер изменения удельной энергии в зависимости от температуры наблюдался и при взаимодействии АС с сульфидными рудами [1].

Наряду с веществами, ускоряющими процесс терморазложения АС, известны вещества, ингиби-

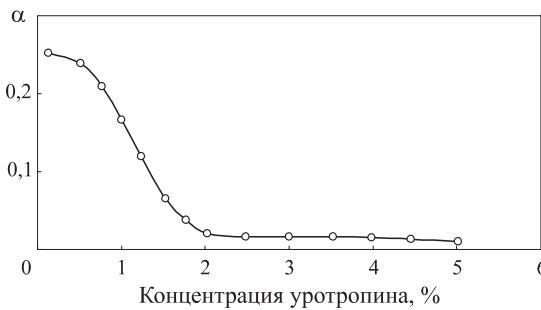


Рис. 6. Зависимость степени превращения пирита от содержания уротропина в плаве с АС при длительности процесса 120 мин

рующие его. Их применение позволяет при введении в состав аммиачной селитры повысить температуру начала, снизить скорость протекания и исключить возможность развития самоускоряющихся процессов терморазложения.

В ранее проведенных исследованиях [1] было показано, что небольшие количества уротропина (гексаметилентетрамина — $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{N}_4$) оказывают стабилизирующее действие на аммиачную селитру, так как замедление распада селитры при добавлении уротропина происходит за счет того, что уротропин, гидролизуясь в кислой среде, отщепляет аммиак, нейтрализующий азотную кислоту. Кроме того, уротропин может устранять диоксид азота. На этом основании возникла необходимость исследовать влияние добавки уротропина различных концентраций (от 0,1 до 5 %) на химическое взаимодействие аммиачной селитры с пиритом. Была проведена серия опытов при постоянной температуре 60 °C и кислотности увлажняющей среды 0,78.

В результате обработки данных по энерговыделению получены зависимости степени превращения химических реакций от времени при различных добавках уротропина (рис. 4).

Установлено, что при малых концентрациях уротропина (0,1–0,5 %) степень превращения пирита достигает высоких значений, а при добавке 2 % она в течение 50 мин увеличивается незначительно и далее практически не изменяется. При концентрации уротропина в плаве от 1,5 до 5 % графики представляют собой прямые линии.

Зависимость удельной энергии химического взаимодействия пирита с плавом аммиачной селитры и уротропина от содержания в нем последнего носит экстремальный характер (рис. 5). При небольших концентрациях уротропина удельная энергия изменяется незначительно, но при его содержании от 0,5 до 2,0 % происходит ее резкое снижение. Минимальное значение (2,13 кДж/г FeS₂) она принимает при 2,0 %-ной концентрации уротропина. При дальнейшем увеличении его концентрации в смеси удельная энергия взаимодействия вновь возрастает.

Степень превращения пирита зависит также от концентрации уротропина в смеси с аммиачной селитрой (рис. 6). При малых концентрациях добавок она изменяется слабо, но с их увеличением от 0,5 до 2,0 % резко уменьшается и выходит, практически, на прямую, параллельную оси абсцисс. Таким образом, наиболее оптимальной концентрацией уротропина в системе аммиачная селитра – уротропин является 2,0 %.

Выводы

1. Изучено влияние температуры на скорость реакции при взаимодействии плава аммиачной селитры и нитрата натрия с пиритом. Установлено, что скорость реакции возрастает с повышением температуры. По зависимости константы скорости реакции от температуры процесса взаимодействия АС и нитрата натрия с пиритом была рассчитана энергия активации процесса. Установлено, что ак-

тивность плава по отношению к пириту ниже, чем чистой аммиачной селитры.

2. Изучено влияние кислотности увлажняющей среды на процесс взаимодействия плава АС и нитрата натрия с пиритом. Установлено, что с ростом кислотности энергия активации процесса уменьшается, а следовательно, активность плава по отношению к сульфидной руде повышается.

3. Определена зависимость удельной энергии процесса взаимодействия FeS_2 с плавом NH_4NO_3 и NaNO_3 в зависимости от температуры. Максимальное значение удельной энергии соответствует 60–87 °C. Дальнейшее повышение температуры приводит к ее снижению.

4. Изучено влияние содержания добавок уротропина различных концентраций. Установлено, что с ростом концентраций добавки скорость реакции резко уменьшается. Оптимальная концентрация уротропина в плаве составляет 2 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Катышев С. Ф., Дубинин Б. В., Десятник В. Н. и др. Термохимическая стабильность аммиачной селитры // Вестник УГТУ-УПИ. Серия хим. — Екатеринбург : УГТУ-УПИ, 2005. — С. 65–67.
2. Катышев С. Ф., Десятник В. Н., Теслюк Л. М. Определение условий безопасного применения аммиачно-селитровых взрывчатых веществ на сульфидных месторождениях // Пожаровзрывобезопасность. — 2009. — Т. 2, № 2. — С. 24–28.

*Материал поступил в редакцию 9 апреля 2010 г.
Электронный адрес авторов: sfkatyshev@mail.ru.*



В. В. Семиноженко
старший преподаватель
Уральского института ГПС МЧС России,
г. Екатеринбург, Россия



М. А. Савин
канд. техн. наук, доцент,
начальник кафедры Уральского института
ГПС МЧС России, г. Екатеринбург, Россия

УДК 614.846:536

СПОСОБ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УРОВНЯ АДАПТИВНОСТИ ПОЖАРНЫХ НАСОСНО-РУКАВНЫХ СИСТЕМ К НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫМ УСЛОВИЯМ

Расчетно-теоретическими исследованиями показана техническая возможность повышения температуры воды в пожарной насосно-рукавной системе посредством подачи отработавших газов в специальную рубашку подогрева корпуса насоса.

Ключевые слова: пожарный насос, вода, подогрев, отработавшие газы.

Как известно, свыше 90 % отказов агрегатов и систем пожарных автомобилей (ПА) в условиях низких температур приходится на насосную установку (замерзание воды в насосе, замерзание водопенных коммуникаций и т. д.) [1]. С ухудшением надежности работы насосного агрегата снижается работоспособность насосно-рукавной системы в целом. При этом до 38 % отказов этой системы происходит из-за замерзания напорных рукавных линий, поэтому в регионах с низкими температурами порядка 35 % напорных пожарных рукавов списывается ранее установленного срока [2]. Таким образом, современные отечественные пожарные насосы (ПН) и рукава плохо приспособлены к работе в условиях низких температур, поэтому вопросы обеспечения надежности работы их в зимний период являются актуальными.

Один из вариантов решения указанных проблем — подогрев воды, например, непосредственно в пожарном насосе. Группой авторов был получен патент на способ подогрева ПН в условиях низких температур [3]. Согласно [3] дополнительный подогрев ПН и огнетушащей жидкости в нем предполагается производить не только посредством теплоты, выделяющейся при работе ПН, но и путем подачи непосредственно в специальную подогревательную полость-рубашку корпуса ПН отработавших газов (ОГ), к примеру, двигателя (ДВС) базового шасси ПА (см. рисунок). Исследованиями установлено, что повышение температуры воды на каждые

0,1 °C позволяет увеличить длину магистральной напорной рукавной линии без перемерзания на 50 м [2].

Таким образом, рубашка подогрева корпуса ПН имеет патрубки для подвода и отвода ОГ. Для эффективной передачи теплоты огнетушащей жидкости, находящейся в полости ПН, патрубок для подвода ОГ размещен на диффузоре насоса, а для отвода — на противоположной стороне корпуса, что позволяет в полной мере использовать принцип противотока для нагрева воды, циркулирующей в насосе. Кроме того, рубашка подогрева для увеличения поверхности теплообмена состоит из ряда

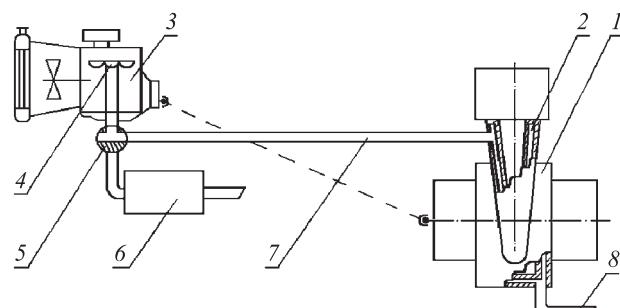


Схема пожарного насоса с полостью-рубашкой подогрева теплотой отработавших газов согласно [3]: 1 — пожарный насос; 2 — рубашка подогрева корпуса насоса; 3 — ДВС базового шасси ПА; 4 — выпускной коллектор ДВС; 5 — переключающее устройство глушитель — насос; 6 — глушитель; 7 — патрубок для подвода ОГ в рубашку подогрева корпуса пожарного насоса; 8 — патрубок для отвода ОГ

© Семиноженко В. В., Савин М. А., 2010

параллельных каналов круглой, прямоугольной или иной формы.

Для ориентировочного определения мощности подогрева воды в ПН посредством теплоты ОГ двигателя ПА, на которую можно рассчитывать, приведем следующую выкладку.

Тепловая мощность ОГ бензинового ДВС $Q_{\text{ог}}$ может быть определена из выражения [4]:

$$Q_{\text{ог}} = \{[0,44 + \alpha(3,5 + 3,6t_{\text{ог}}/10000)] \times \\ \times t_{\text{ог}} - 3,58\alpha t_{\text{rc}}\} G_{\text{т}}, \quad (1)$$

где α — коэффициент избытка воздуха;

$t_{\text{ог}}$ — температура ОГ в выпускном коллекторе, °C;
 t_{rc} — температура горючей смеси около впускного клапана, °C;

$G_{\text{т}}$ — расход топлива, кг/ч.

Следовательно, зная температуру горючей смеси около впускных клапанов и температуру ОГ в выпускном коллекторе, с учетом состава горючей смеси, а также скоростного и нагрузочного режима работы ДВС с достаточной для практических целей точностью по расходу топлива в час можно определить количество теплоты, уносимой ОГ. Этую теплоту можно использовать для подогрева спецагрегата ПА в низкотемпературных условиях.

В первом приближении температура горючей смеси около впускных клапанов с учетом подогрева свежего заряда нагретыми деталями и остаточными газами в бензиновом ДВС в зависимости от степени сжатия варьируется от 350 до 400 °C, а в дизельном двигателе редко превышает 350 °C. Температура ОГ в выпускном коллекторе бензинового ДВС в зависимости от режима его работы изменяется от 600 до 800 °C, причем меньшие значения температуры ОГ характерны для ДВС с более высокой степенью сжатия. Поскольку максимальная температура сгорания топлива в дизельных двигателях ниже, чем в бензиновых ДВС, и колеблется в интервале 1527–1827 °C, температура ОГ в выпускном коллекторе дизеля может быть принята равной 227–327 °C [4].

При увеличении частоты вращения коленчатого вала бензинового ДВС теплота его ОГ возрастает, что объясняется уменьшением количества теплоты, передаваемой через стенки в систему охлаждения (CO), поэтому при открытых выпускных клапанах ОГ имеют более высокую температуру.

При дросселировании бензинового ДВС на постоянном скоростном режиме работы абсолютные значения теплоты его ОГ уменьшаются по сравнению с теплотой при полностью открытой дроссельной заслонке.

В зависимости от состава горючей смеси в бензиновом ДВС изменяются теплота и скорость сгорания топлива, что отражается на его тепловом балансе. Так, в случае богатых горючих смесей растут

тепловые потери из-за химической неполноты сгорания топлива и, как следствие, теплота ОГ уменьшается, однако по мере обеднения горючей смеси она вновь увеличивается.

Тепловой баланс дизеля отличается от теплового баланса бензинового ДВС более высоким теплоиспользованием. В его балансе доля теплоты, затрачиваемой на эффективную работу, составляет около 35 %, что на 30 % выше по сравнению с бензиновым ДВС. Увеличение доли полезной теплоты в дизеле связано с отсутствием тепловых потерь из-за химической неполноты сгорания топлива и уменьшением теплоты, уносимой ОГ в окружающую среду. Кроме того, в отличие от бензинового ДВС в дизеле с увеличением частоты вращения коленчатого вала теплота ОГ снижается.

Расход топлива ДВС в час определяется по их скоростным характеристикам в зависимости от нагрузочного и скоростного режима работы либо экспериментально.

Согласно нормам [5] расход топлива при работе на привод спецагрегата составляет для дизеля ЯМЗ-236 и бензинового двигателя ЗИЛ-130 соответственно 12,7 кг/ч (0,250 л/мин) и 14,9 кг/ч (0,330 л/мин).

Приняв коэффициент избытка воздуха равным 1 и средние значения температуры ОГ и горючей смеси, по указанной формуле можно ориентировочно определить средние значения теплоты ОГ, которую можно использовать для подогрева агрегатов ПА.

Тепловые мощности ОГ бензинового двигателя ЗИЛ-130 $Q_{\text{огк}}$ в период его работы на привод ПН и дизеля ЯМЗ-236 $Q_{\text{огд}}$ в период его работы на привод спецагрегата в низкотемпературных условиях в первом приближении будут равны:

$$Q_{\text{огк}} = \{[0,44 + 1 \cdot (3,5 + 3,6 \cdot 700/10000)] \cdot 700 - \\ - 3,58 \cdot 1 \cdot 375\} \cdot 15,44 = 24578,94 \text{ ккал/ч};$$

$$Q_{\text{огд}} = \{[0,44 + 1 \cdot (3,5 + 3,6 \cdot 550/10000)] \cdot 550 - \\ - 3,58 \cdot 1 \cdot 350\} \cdot 13,05 = 13348,85 \text{ ккал/ч}.$$

Из расчетов следует, что у дизельного двигателя тепловой поток ОГ почти в два раза меньше, чем у бензинового ДВС. Отмеченная разница может быть компенсирована за счет использования теплоты ОГ предпускового жидкостного подогревателя, являющегося на многих дизельных ДВС штатным оборудованием, либо отопителя.

Отсюда можно определить приращение температуры воды Δt , нагнетаемой в магистральную пожарную напорную рукавную линию, по формуле

$$\Delta t = Nt / (C_p Q), \quad (2)$$

где N — тепловая мощность ОГ двигателя ПА на среднестатистическом пожаре в условиях низких температур, кВт;

τ — время, с;

C_p — удельная теплоемкость воды при температуре 0 °C; $C_p = 4,212 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{°C})$ [6];

Q — расход пресной воды на среднестатистическом пожаре в условиях низких температур; $Q = 20 \text{ л}/\text{с} = 20 \text{ кг}/\text{с}$ [7].

Таким образом, применение рубашки подогрева пожарного насоса позволяет обеспечить приращение температуры воды Δt , нагнетаемой в магистральную пожарную напорную рукавную линию, на среднестатистическом пожаре в условиях низких температур приблизительно на 0,18 °C в случае применения в качестве привода ПА дизельного двигателя и на 0,34 °C — бензинового. Это дает возможность дополнительно увеличить длину магистральной пожарной напорной рукавной линии без ее перемерзания примерно на 90 и 170 м соответственно (расчет произведен без учета рассеивания тепла наружными поверхностями пожарного насоса).

Выводы

- Проведенные расчеты показывают, что подогрев спецагрегатов ПА может быть осуществлен посредством теплоты ОГ. При этом температура по-

высится в случае применения бензинового ДВС на 0,18 °C и дизеля на 0,34 °C, что позволит дополнительно увеличить длину магистральной рукавной линии без ее перемерзания примерно на 90 и 170 м соответственно.

- Для повышения эффективности использования теплоты ОГ целесообразно ПН максимально приблизить к ДВС, например, посредством его размещения в салоне ПА.

- Для получения необходимого количества (теплоты) ОГ, например, когда базовое шасси ПА имеет дизельный силовой агрегат, может быть применен предпусковой жидкостный подогреватель либо специальный смонтированный отопитель.

- Применение подогрева насоса даст возможность уменьшить износ и увеличить долговечность пожарных напорных рукавов зимой, поскольку данные показатели во многом зависят от температуры потока огнетушащей жидкости в них. Все это в целом повышает надежность насосно-рукавных систем и эффективность тушения пожаров в условиях низких температур окружающего воздуха, т. е. позволит избежать большого числа жертв и значительных материальных потерь от пожаров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Пивоваров В. В.** Совершенствование парка пожарных автомобилей России. — М. : ВНИИПО, 2006.
- Алешков М. В.** Повышение работоспособности напорных рукавных линий при тушении пожаров в условиях низких температур : дис. ... канд. техн. наук. — М. : ВИПТШ МВД СССР, 1990.
- Пат. 23721123 РФ.** Способ подогрева насоса в условиях низких температур / М. А. Савин, Ю. А. Кошмаров, Х. И. Исхаков и др.
- Ленин И. М.** Теория автомобильных и тракторных двигателей : учебник для вузов. — М. : Машиностроение, 1969.
- Распоряжение Минтранса России от 14.03.2008 г. № АМ-23-р “О введении в действие методических рекомендаций “Нормы расхода топлив и смазочных материалов на автомобильном транспорте” // Документы и комментарии. — Апрель 2008. — № 8.
- Михеев М. А., Михеева И. М.** Основы теплопередачи. — М. : Энергия, 1973.
- Яковенко Ю. Ф.** Россия: пожарная охрана на рубеже веков. — Тверь : Сивер, 2004.

Материал поступил в редакцию 9 апреля 2010 г.
Электронные адреса авторов: seminogenko@yandex.ru, sawina@mail.ru.



ООО “Издательство “Пожнаука”
121352, г. Москва, ул. Давыдковская, д. 12, стр. 7
тел./факс: (495) 228-09-03, 445-42-34
e-mail: mail@firepress.ru, firepress@gmail.com
<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**

Апрель 2010 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.	978-5-91444-012-8	1500
	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 объектов: учебно-справочное пособие. — 2010. — 220 с.	Выходит в апреле 2010 г.	
Бондарь В. А.	Электрооборудование для взрывоопасных и пожароопасных зон производств различных отраслей промышленности. — 2009. — 126 с.	978-5-91444-004-3	220
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 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.	Выходит в апреле 2010 г.	
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.	Выходит в мае 2010 г.	
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			
Баранин В. Н.	Экономика чрезвычайных ситуаций и управление рисками. — 2004. — 332 с.	5-901-283-02-5	70
Корольченко А. Я., Корольченко О. Н.	Средства огнезащиты: справочник. — 2006. — 258 с.: ил.	5-903049-04-4	100
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 пожаротушения автоматические: справочник. — Изд. 4-е, с изм. — 2004. — 408 с.: ил.	5-98629-008-9	50
Теребнев В. В., Артемьев Н. С., Грачев В. А.	Транспорт: наземный, морской, речной, воздушный, метро: учебное пособие. — 2007. — 383 с.	5-903049-09-5	280
Теребнев В. В., Артемьев Н. С., Подгрушный А. В.	Леса, торфяники, лесосклады. — 2007. — 358 с.	5-903049-12-5	280

Авторы	Наименование	ISBN	Цена, руб./экз.
Теребнев В. В., Артемьев Н. С., Подгрушный А. В.	Объекты добычи, переработки и хранения горючих жидкостей и газов: учебное пособие. — 2007. — 325 с.	5-903049-11-7	280
Шароварников А. Ф., Шароварников С. А.	Пенообразователи и пены для тушения пожаров. Состав. Свойства. Применение. — 2005. — 335 с.	5-903049-02-X	120
Бабуров В. П., Бабурин В. В., Фомин В. И.	Автоматические установки пожаротушения: учебно-справочное пособие. — 2009. — 294 с.	978-5-91444-011-1	400
Брушинский Н. Н., Корольченко А. Я.	Моделирование пожаров и взрывов. — 2000. — 492 с.		540
Горшков В. И.	Тушение пламени горючих жидкостей. — 2007. — 268 с.	5-903049-08-7	250
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
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
Долговидов А. В., Теребнев В. В.	Автоматические установки порошкового пожаротушения. — 2008. — 322 с.	978-5-91444-005-X	310
Корольченко А. Я.	Процессы горения и взрыва: учебник. — 2007. — 266 с.: ил.	978-5-91444-001-2	450
Корольченко А. Я., Корольченко Д. А.	Основы пожарной безопасности предприятия. Полный курс пожарно-технического минимума: учебное пособие. — 2008. — 314 с.	5-903049-10-9	300
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
Подстаков В. В., Теребнев В. В.	Подготовка пожарных-спасателей. Противопожарная служба гражданской обороны. — 2007. — 288 с.: ил.	5-901520-06-8-006-2	345
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.	Краткий курс пожарно-технического минимума: учебное пособие. — Изд. 4-е, с изм. и доп. — 2010. — 320 с.: ил.	978-5-98629-016-4	180
Собурь С. В.	Огнетушители: учебно-справочное пособие. — Изд. 6-е, с изм. — 2009. — 80 с.	978-5-98629-020-1	70
Собурь С. В.	Пожарная безопасность общественных и жилых зданий: справочник. — Изд. 3-е, с изм. и доп. — 2007. — 192 с.: ил.	978-5-98629-014-0	125
Собурь С. В.	Пожарная безопасность предприятия. Курс пожарно-технического минимума: пособие. — Изд. 12-е, перераб. — 2008. — 496 с.: ил.	978-5-98629-023-2	250
Собурь С. В.	Пожарная безопасность промпредприятий: справочник. — Изд. 2-е, с изм. — 2007. — 176 с.	5-98629-013-5	110
Собурь С. В.	Пожарная безопасность: справочник. — Изд. 3-е, с изм. и доп. — 2007. — 272 с.	5-98629-012-7	145

Авторы	Наименование	ISBN	Цена, руб./экз.
Собурь С. В.	Установки пожарной сигнализации: учебно-справочное пособие. — Изд. 5-е, с изм. и доп. — 2006. — 280 с.	5-98629-003-8	150
Теребнев В. В.	Справочник руководителя тушения пожара. Тактические возможности пожарных подразделений: справочник. — 2007. — 256 с.: ил.	5-902604-06-0	330
Теребнев В. В., Артемьев Н. С., Грачев А. А.	Справочник спасателя-пожарного: справочник. — 2006. — 528 с.	5-91017-019-8	385
Теребнев В. В., Артемьев Н. С., Подгрушный А. В.	Здания повышенной этажности: учебное пособие. — 2006. — 240 с.	5-903049-06-0	300
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., Подгрушный А. В.	Пожарная тактика. Основы тушения пожаров. — 2008. — 512 с.	5-91017-019-8	595
Теребнев В. В., Теребнев А. В.	Управление силами и средствами на пожаре: учебное пособие. — 2006. — 264 с.	5-98135-009-1	330
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
Теребнев В. В., Теребнев А. В., Подгрушный 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., Ульянов Н. И., Грачев В. А.	Пожарная техника: учебное пособие: в 2 т. — 2007. — Т. 1: Пожарно-техническое вооружение. Устройство и применение. — 328 с.; Т. 2: Пожарные машины. Устройство и применение. — 328 с.: ил.	5-91017-016-4 5-91017-016-5	495
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 “Пожнauка” продолжает подписку на 2010 г. на комплект журналов “Пожаровзрывобезопасность” и “Пожарная безопасность в строительстве”.

	Стоймость, руб.
1-е (2-е) полугодие 2010 г.	
Комплект журналов “Пожаровзрывобезопасность” (6 номеров) и “Пожарная безопасность в строительстве” (3 номера)	3790
Журнал “Пожарная безопасность в строительстве” (3 номера)	1140

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 "ВСЯ ПРЕССА"	(495) 787-34-47, 787-36-31	127015, Москва, ул. Новодмитровская, д. 5А	—
Агентство "ИНТЕР-ПОЧТА"	(495) 500-00-60, 684-55-34	129090, г. Москва, пер. Васнецова, д. 4, стр. 2	—
Агентство "УРАЛ-ПРЕСС XXI"	(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	—

ПЕРЕЧЕНЬ ОРГАНИЗАЦИЙ, распространяющих литературу "Издательства "Пожнаука""

Название организации	Адрес	Телефон/факс
1. Альфа-библиос	109240, г. Москва, ул. Гончарная, д. 3, стр. 1, ком. 15	(495) 298-06-41, 933-81-08
2. Бизнес-пресса	191119, г. Санкт-Петербург, ул. Разъезжая, д. 39	(812) 764-56-01, 764-57-00
3. ДиА Медиа	127560, г. Москва, а/я 97	(495) 158-63-45, 500-62-28
4. Дом Техники на Ленинском проспекте	119334, г. Москва, Ленинский просп, д. 40	(495) 137-60-38
5. Ивкнига	153038, г. Иваново, ул. Кудряшова, д. 98	(4932) 56-15-76, 56-20-77, 56-15-01, 53-78-72
6. Издательский дом "ИНФРА-М"	127282, г. Москва, ул. Полярная, д. 31в	(495) 380-05-40, 363-42-60, 363-92-12
7. Книжный дом ЦУПЛ	111123, г. Москва, ш. Энтузиастов, д. 56	(495) 788-50-30
8. КНОРУС	129100, г. Москва, ул. Б. Переяславская, д. 46	(495) 680-72-54, 680-91-13
9. НИЦ "Норматив-информ"	109417, г. Москва, Рязанский просп., д. 82, кор. 5, а/я 37	(495) 382-08-39
10. НТЦ "ИРАМ"	162627, Вологодская обл., г. Череповец, ул. Металлургов, д. 12	(8202) 57-43-68
11. Оптимал-Тверь	170024, г. Тверь, просп. 50 лет Октября, д. 3Б, оф. 503	(422) 42-81-08, 42-81-37
12. Техническая книга	660049, г. Красноярск, ул. К. Маркса, д. 78, 2-й этаж	(3912) 40-77-83, 27-52-86
13. Т-Книга	460052, г. Оренбург, ул. Салмышская, д. 25, к. 4	(3532) 77-49-06
14. Урал ИнфоСервис	620138, г. Екатеринбург, а/я 23	(343) 349-04-55, 349-05-75, 349-04-50

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

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

- по почте: 121352, г. Москва, ул. Давыдовская, д. 12, стр. 7; • по тел./факсу: (495) 228-09-03, 445-42-34;
- по e-mail: mail@firepress.ru, firepress@gmail.com.



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 $\bar{\delta}$); 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 дпі, черно-белая штриховая графика — 600 дпі). Файлы векторной графики предоставляются 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.

Auto Regression Models of Forecasting for Activity of Russian Emercom Subdivisions

Mironov M. P., Dr. Ph. (Social Sciences), Rector-Commandant of Ural State Fire Service Institute of Emercom of Russia, Ekaterinburg, Russia

Kaibichev I. A., Dr. Sc. (Physics and Mathematics), Docent (Private Prof.), Professor of Department of Ural State Fire Service Institute of Emercom of Russia, Ekaterinburg, Russia

There is shown ability using auto regression models for prediction of the possible number fire for month onward on example statistical given on count fire, happened at different months 1993–2007 on territory of the Republic Bashkiriya. Auto regression models have allowed reducing the average absolute deflection and standard deflection in 2 times and more in contrast with result of the forecast, executed on methods, recommended by Emercom. Auto regression models 1st, 12, 60 and 120th orders are more perspective for practical application.

Keywords: mathematical forecasting, auto regression model.

The Seasonal Factor at Forecasting for Activity of Emercom Subdivisions

Kaibichev I. A., Dr. Sc. (Physics and Mathematics), Docent (Private Prof.), Professor of Department of Ural State Fire Service Institute of Emercom of Russia, Ekaterinburg, Russia

Alexeev K. S., Student of Chemical Industrial Faculty of Ural State Technical University named by the First President of Russia B. N. Eltsin, Ekaterinburg, Russia

It is shown that methods of the mathematical forecast applicable in Emercom, do not allow getting the long-term forecast of the number fire for year onward with breakdown on months of the year. This forecast is necessary for formation motivation graphics of the consumption material resource on months of the year, scheduling the plan of the repair of the technology and furlough personal composition graphics. The problem is solved by using the known method of the separation on base known data past of the year linear trend with provision for seasonal factor in multiplicative and additive models. Software is designed for mathematical forecast, which will do this method available subdivisions MCHS employee. As a result of comparisons of the forecast with fact possibility for multiplicative model practical application is shown, since it gave smaller importance of the average absolute deflection.

Keywords: mathematical forecasting, seasonal factor, multiplicative and additive models.

Relationships of Properties of n-Alkanes and α -Olefins

Agafonov I. A., Dr. Ph. (Chemistry), Docent (Private Prof.), Docent (Private Prof.) of Department of Samara State Technical University, Samara, Russia

Garkushin I. K., Dr. Sc. (Chemistry), Professor, a Head of Department of Samara State Technical University, Samara, Russia

Barbin N. M., Dr. Sc. (Enginuity), Senior Researcher, Head of Department of Ural State Fire Service Institute of Emercom of Russia, Ekaterinburg, Russia

Bakanov A. V., Post-Graduate of Samara State Technical University, Samara, Russia

The relationships of some fire properties of normally structured α -olefin's and n-alkanes were analyzed. Formulas which describe the dependences between the flammable properties of these hydrocarbons were deducted. Using the found equations the values of considered properties of high-molecular α -olefins

were determined. The results of calculations by suggested formulas are given in article.

Keywords: fire properties, alkanes, olefins.

Correlation of Fire Hazard Indexes with Chemical Structure. I. Alcohols

Alexeev S. G., Dr. Ph. (Chemistry), Head of Department of Ural State Fire Service Institute of Emercom of Russia, Ekaterinburg, Russia

Barbin N. M., Dr. Sc. (Enginuity), Senior Researcher, Head of Department of Ural State Fire Service Institute of Emercom of Russia, Ekaterinburg, Russia

Alexeev K. S., Student of Chemical Industrial Faculty of Ural State Technical University named by the First President of Russia B. N. Eltsin, Ekaterinburg, Russia

Orlov S. A., Dr. Ph. (Enginuity), a Vice-Commandant of Ural State Fire Service Institute of Emercom of Russia, Ekaterinburg, Russia

There are studied dependences of a flash point, an ignition point, a self-ignition point, temperature and concentration limits from length of a hydrocarbon chain on an example of aliphatic alcohols. Linear and exponential laws of indexes of a fire hazard from length of a hydrocarbon chain are found. The correlation between indexes of fire hazard of normal alcohols and olefines is shown. The rule of "hydrocarbon chain" for forecast of a flash point, an ignition point, a self-ignition point and temperature limits is offered for nonlinear and cyclic alcohols.

Keywords: alcohol, cyclic alcohol, flash point, ignition point, self-ignition point, dependence.

About Fire Hazard of Aqueous Alcoholic Solutions

Alexeev S. G., Dr. Ph. (Chemistry), Head of Department of Ural State Fire Service Institute of Emercom of Russia, Ekaterinburg, Russia

Pishchalnikov A. V., Head of Forensic Expert Establishment of Federal Fire Service — "Testing Fire Laboratory for the Perm Territory", Perm, Russia

Levkovetz I. A., Senior Engineer of Forensic Expert Establishment of Federal Fire Service — "Testing Fire Laboratory for the Perm Territory", Perm, Russia

Barbin N. M., Dr. Sc. (Enginuity), Senior Researcher, Head of Department of Ural State Fire Service Institute of Emercom of Russia, Ekaterinburg, Russia

A number of indexes of fire hazard of aqueous alcoholic solutions is experimentally defined. The empirical equations for calculation of concentration of alcohol, flash, ignition and self-ignition points are found for mixtures of water + ethanol.

Keywords: ethanol, solution, flash point, self-ignition point, LEL, UEL.

Indexes of Fire and Explosive Properties of the Main Semiproducts in Synthesis of the Antibacterial Drug Levofloxacin

Alexeev S. G., Dr. Ph. (Chemistry), Head of Department of Ural State Fire Service Institute of Emercom of Russia, Ekaterinburg, Russia

Levkovetz I. A., Senior Engineer of Forensic Expert Establishment of Federal Fire Service — "Testing Fire Laboratory for the Perm Territory", Perm, Russia

Rizhkov O. V., Researcher of I. Ya. Postovsky Institute of Organic Synthesis of Ural Branch Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia

ABSTRACTS

Artemjev G. A., Researcher of I. Ya. Postovsky Institute of Organic Synthesis of Ural Branch Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia

Barbin N. M., Dr. Sc. (Enginerry), Senior Researcher, Head of Department of Ural State Fire Service Institute of Emercom of Russia, Ekaterinburg, Russia

Pishchal'nikov A. V., Head of Forensic Expert Establishment of Federal Fire Service — “Testing Fire Laboratory for the Perm Territory”, Perm, Russia

Kotovskaya S. K., Dr. Ph. (Chemistry), Senior Researcher of I. Ya. Postovsky Institute of Organic Synthesis of Ural Branch Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia

(*R,S*)-7,8-difluoro-2,3-dihydro-3-methyl-4H-1,4-benzoxazine and (*3S*)-(-)-9,10-di-fluoro-3-methyl-7-oxo-2,3-dihydro-7*H*-pyrido[1,2,3-*d,e*][1,4]-benzoxazine-6-carboxylic acid are the main semiproducts in synthesis of an antibacterial drug of levofloxacin. A number of indexes of fire and explosive hazard for these compounds is determined by calculated and experimental methods.

Keywords: index of fire and explosive hazard, benzoxazine, levofloxacin.

Analysis Methods of Explosion Fire Hazard of Fuel and Air Mixtures on an Example for Jetfuel RT. I. RB G-05-039-96

Alexeev S. G., Dr. Ph. (Chemistry), Head of Department of Ural State Fire Service Institute of Emercom of Russia, Ekaterinburg, Russia

Avdeev A. S., Leader of Sector for Research and Testing in the Field of Fire Safety of Forensic Expert Establishment of Federal Fire Service — “Testing Fire Laboratory for the Perm Territory”, Perm, Russia

Barbin N. M., Dr. Sc. (Enginerry), Senior Researcher, Head of Department of Ural State Fire Service Institute of Emercom of Russia, Ekaterinburg, Russia

Timashev S. A., Dr. Sc. (Enginerry), Professor, Head of Science and Engineering Centre “Reliability and Safety of Large Systems” of Ural Branch of Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia

Guryev E. S., Dr. Ph. (Enginerry), Docent (private Prof.), the Scientific Secretary of Science and Engineering Centre “Reliability and Safety of Large Systems” of Ural Branch of Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia

On an example of kerosene RT (Jetfuel RT) explosion parameters of fuel-air mixture are calculated by RB G-05-039-96 in modes of detonation and deflagration. Possibilities and defects of method of RB G-05-039-96 are revealed.

Keywords: detonating, kerosene, fuel-air mixture, blast pressure.

Fire Resistance of Elements of Building Constructions at High-Intensity Heating

Enalejev R. Sh., Dr. Ph. (Enginerry), Associate Professor of Chemical Cybernetics Department of Food-Processing Industries Faculty of Kazan State Technological University, Kazan, Republic of Tatarstan

Telyakov E. Sh., Dr. Sc. (Enginerry), Professor of Chemical Industry Machines and Apparatus Department of Mechanical Faculty of Kazan State Technological University, Kazan, Republic of Tatarstan

Tuchkova O. A., Post-Graduate of Chemical Industry Machines and Apparatus Department, Mechanical Faculty of Kazan State Technological University, Kazan, Republic of Tatarstan

Haritonova O. Yu., Post-Graduate of Heterogeneous Systems’ Chemistry and Technology Department of Engineering Faculty of Kazan State Technological University, Kazan, Republic of Tatarstan

Kachalkin V. A., Dr. Ph. (Enginerry), Head of Computer Science and Higher Mathematics Department of Kazan Institute (Branch) of Russian State Trade and Economic University, Kazan, Republic of Tatarstan

Mathematical model is developed for calculating of temperature field of constructive parts under the various combined boundary conditions. Critical temperature 600 °C on depth of 2 mm from a heated surface at various rates of heating is offered as a criterion of destruction of concrete structures.

Keywords: constructive part, standard fire, special heating, model of heating.

The Effect of Additives on Reaction of Ammonium Nitrate with Sulfide Ore

Katyshev S. F., Dr. Sc. (Chemistry), Professor, Head of Department of Technology of Inorganic Substances Ural State Technical University named by the First President of Russia B. N. Eltsin, Ekaterinburg, Russia

Desyatnik V. N., Dr. Sc. (Enginerry), Professor, Professor of Department of Technology of Inorganic Substances of Ural State Technical University named by the First President of Russia B. N. Eltsin, Ekaterinburg, Russia

Teslyuk L. M., Dr. Ph. (Chemistry), Docent (Private Prof.), Docent (Private Prof.) of Department of Economy and Functioning of Chemical Industry of Ural State Technical University named by the First President of Russia B. N. Eltsin, Ekaterinburg, Russia

The results of studying reaction of ammonium nitrate containing additives with a sulfide ore are presented. Sodium nitrate and hexamethylenetetramine were tested as additives. Chemical and microcalorimetric analyses were employed in the study. The experimental results were used to determine the degree of pyrites transformation on time, the dependence of rate constants on temperature, the effect of pH of moistening medium on reaction of fused $\text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{NaNO}_3$ mixture with pyrites, and optimal concentration of hexamethylenetetramine additive for stabilizing ammonium nitrate based explosives.

Keywords: ammonium nitrate, sulphide ore, explosives, analysis, reaction.

The Raise of Efficiency of Fire Engine Pump Operation at the Northern Climatic Conditions

Seminozhenko V. V., Senior Lecturer of Department of Ural State Fire Service Institute of Emercom of Russia, Ekaterinburg, Russia

Savin M. A., Dr. Ph. (Enginerry), Head of Department of Ural State Fire Service Institute of Emercom of Russia, Ekaterinburg, Russia

Design-theoretical research is shown the technical ability to raise the temperature of water in the fire hose-pump systems by means of delivery discharge gases into specially designed heating pump casing.

Keywords: fire pump, water, heating, discharge gases.

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.

В учебно-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.

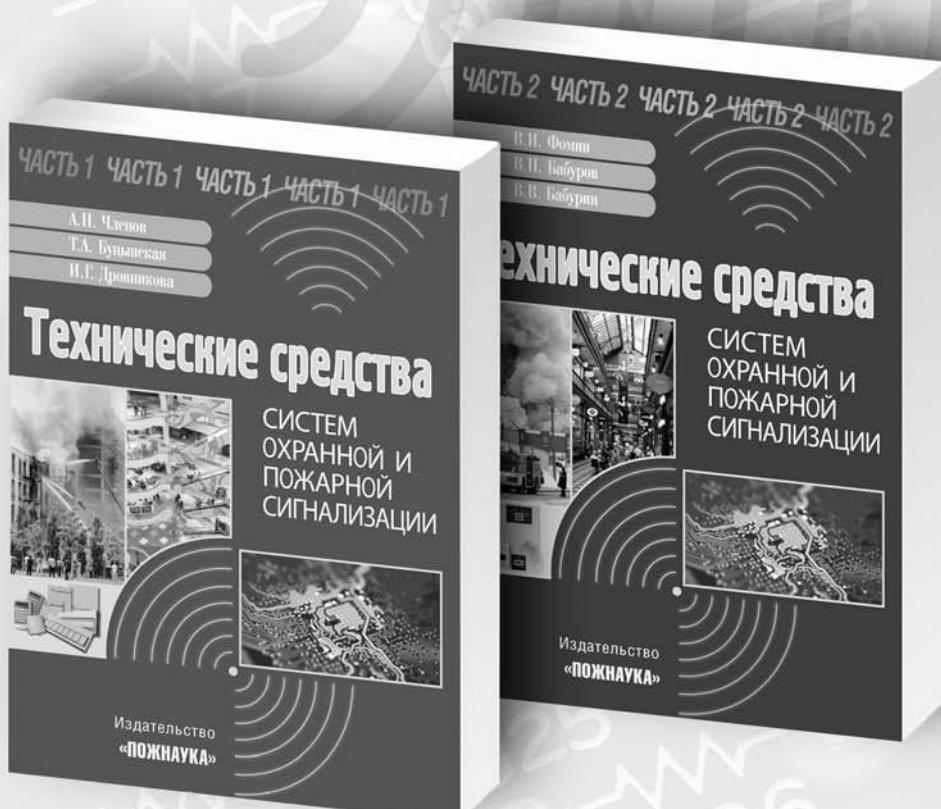
Большое внимание уделено вопросам проектирования систем охранной сигнализации, требованиям по их монтажу и технической эксплуатации. Рассмотрены особенности применения средств сигнализации в пожаро- и взрывоопасных зонах.

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;
izdat_pozhnauka@mail.ru

Телефон:
(495) 228-09-03,
тел./факс:
(495) 445-42-34



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. Холшевников

Редакция:

Главный редактор журнала

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

Шеф-редактор
Н. Н. Соколова

Редакторы:

Л. В. Крылова, Т. В. Сергунина

Отдел рекламы и распространения:
Е. В. Майорова

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

Editors:

L. V. Krylova, T. V. Sergunina

PR and Subscription Section:
E. V. Maiorova

Учредитель – ООО “Издательство “Пожнаука”

Тел./факс: (495) 228-09-03, 445-42-34

121352, г. Москва, ул. Давыдовская, д. 12, стр. 7

E-mail: mail@firepress.ru, firepress@gmail.com

<http://www.firepress.ru>

ISSN 0869-7493



Подписано в печать 05.05.10.

Формат 60×84 1/8. Тираж 5000 экз.

Бумага офсетная №1. Печать офсетная.

Отпечатано в типографии “ГранПри”, г. Рыбинск

9 770869 749006

Здравствуйте, наши дорогие читатели!

Издательство "Пожнаука" предлагает Вам оформить годовую или полугодовую подписку на журналы "Пожаровзрывобезопасность" и "Пожарная безопасность в строительстве" на 2010 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. (в том числе НДС — 18 %).

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. (в том числе НДС — 18 %).



ПЕРСОНАЛЬНАЯ ПОДПИСКА на журнал пожаровзрыво- БЕЗОПАСНОСТЬ КУПОН '2010

Издание	Цена подписки, руб., включая НДС	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) 445-42-34 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: 121352, г. Москва, ул. Давыдовская, д. 12, стр. 7
ИНН 7722589941 КПП 772201001
Р/с 40702810060120585901 в ОАО "ПРОМСВЯЗЬБАНК" г. Москва
БИК 0445583119
К/с 30101810600000000119
Генеральный директор — Корольченко Александр Яковлевич

*По вопросам подписки прошу обращаться по телефонам
(495) 228-09-03, 445-42-34*

ПОДПИСКА:

через редакцию журнала "Пожаровзрывобезопасность";
через агентство "РОСПЕЧАТЬ", индекс 83340;
через агентство "АПР", индекс 83647
(в любом почтовом отделении в каталоге "Газеты и журналы");
через подписные агентства:
ООО "Вся пресса", ООО "Интер-почтa", ООО "Урал-Пресс ХХI",
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. (в том числе НДС — 18 %). Стоимость годовой подписки (шесть номеров) составляет 2280 руб. (в том числе НДС — 18 %).

Расширяя тематику журнала, в 2010 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	

*НИОКР и серийное
производство*

Модули пожаротушения газовые

Вспомогательное
технологическое оборудование



НПО
ПОЖАРНАЯ
АВТОМАТИКА
СЕРВИС



тел. (499) 1798444

факс (499) 1796761

www.npo-pas.com

e-mail: npo-pas@npo-pas.com

ППКУОП «Гамма – 01»

Более 30 модификаций пожарных
извещателей

