

**ОХРАНА  
ХИМИЧЕСКИХ  
ПРЕДПРИЯТИЙ  
ОТ ПОЖАРОВ  
И ВЗРЫВОВ**

**НИИТЭХИМ**

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СОВЕТА МИНИСТРОВ СССР  
ПО ХИМИИ

НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ  
ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

П.1: 35  
0-92

# ОХРАНА ХИМИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ ОТ ПОЖАРОВ И ВЗРЫВОВ

Под общей редакцией кандидата технических наук И. В. Рябова



МОСКВА—1961

51998



Редактор *А. Л. Шестаков*  
Корректор *З. П. Бурова*

---

T05552 Подписано к печати 11/V 1961 г. Формат бумаги  $60 \times 92 \frac{1}{16} = 10,75$   
бум. л. = 21,5 печ. л. 29 уч.-изд. л. Тираж 3500 экз. Заказ 2975.  
Цена 60 коп.

---

## ВВЕДЕНИЕ

Постановлением майского Пленума ЦК КПСС (1958 г.) и решением XXI съезда партии предусмотрено ускоренное развитие химической промышленности и особенно производства синтетических материалов и изделий из них, а также широкое внедрение механизации и автоматизации производственных процессов.

В течение 1959—65 гг. должно быть введено в действие 120 новых химических предприятий, построено 37 и реконструировано 100 действующих предприятий.

Задачей проектировщиков, технологов, специалистов пожарной охраны и других работников химической промышленности является разработка и осуществление комплексных мер пожарной безопасности, необходимых для бесперебойной, высокопроизводительной работы всех агрегатов, цехов и предприятий.

В связи с появлением большого числа новых пожароопасных веществ и материалов и внедрением технологических процессов, протекающих при высоких температурах и давлениях, возрастает значение этих мер.

Пожаро- и взрывобезопасность любого технологического процесса в должной степени (и при наименьших затратах) обеспечивается только тогда, когда соответствующие мероприятия предусматриваются в проекте и в полном объеме осуществляются при строительстве. После пуска объекта в эксплуатацию проведение новых мероприятий по повышению пожарной безопасности, сопряжено с большими трудностями. Однако это не исключает необходимости в постоянном совершенствовании технологических процессов, внедрении новых более производительных и безопасных агрегатов и приемов работы, повышении пожаро- и взрывобезопасности производства. В этом отношении большое значение имеют пожарно-технические комиссии, которые на многих предприятиях проводят большую работу в области пожарной профилактики. Главные инженеры предприятий должны направлять деятельность пожарно-технических комиссий и создавать им необходимые условия для успешной работы.

Целью настоящего сборника является ознакомление инженерно-технических работников предприятий и проектных институтов, а

также специалистов пожарной охраны с последними достижениями в области пожарной безопасности, современными средствами и способами тушения пожаров, а также с опытом разработки и внедрения пожарно-профилактических мероприятий на отдельных производствах.

Сборник открывается обобщенными таблицами, содержащими сведения об основных физико-химических свойствах и показателях пожаро- и взрывоопасности наиболее распространенных химических веществ и материалов. Показатели пожаро- и взрывоопасности экспериментально определены авторами таблиц Годжелло М. Г., Коршак З. В. (ЦНИИПО), Толчинским С. С. и Светловой Л. М. (МХТИ им. Менделеева). Знание этих характеристик необходимо при выборе безопасного технологического режима и организации системы контроля за ходом процесса. В таблицы не включены те вещества, характеристики которых ранее были опубликованы в справочнике «Легковоспламеняющиеся и горючие жидкости» (изд. МҚХ РСФСР, 1956 г.).

Чрезвычайно актуальная проблема применения искробезопасного электрооборудования во взрывоопасных производствах освещена в статье Фетисова П. А. «Воспламеняющая способность электрического искрения в различных газо-паро-воздушных взрывчатых смесях». Установленные искробезопасные параметры ацетилена, водорода, этилена, окиси этилена, пропилена, окиси пропилена, пропана, гептана, эфира, ацетона и др. способствуют внедрению в химическую промышленность современных автоматических устройств (приборов автоматики, сигнализации, связи и т. п.) в искробезопасном исполнении. До последнего времени использование электричества во взрывоопасных производствах осложнялось применением тяжелых бронированных оболочек или вообще считалось недопустимым.

В противопожарных нормах строительного проектирования Н 102-54 для промышленных зданий категории А принята норма ослабленных защитных проемов (0,05 кв. м на 1 куб. м), общая для всех взрывоопасных паро-газо-воздушных смесей. Однако имевшие место аварии показывают, что эта норма не всегда обеспечивает действенную защиту помещений. Экспериментальные работы подтвердили недостаточность принятой нормы и необходимость дифференциации ее для различных взрывоопасных сред. Предложенная Годжелло М. Г. в статье «О нормировании ослабленных проемов для зданий и сооружений» примерная классификация сред по степени взрывоопасности имеет большое значение для выбора надежной защиты промышленных зданий от разрушений при взрыве.

В текущем семилетии особенно большое развитие должно получить производство ацетилена. В связи с этим необходимо разработать средства противовзрывной защиты ацетиленопроводов и других агрегатов. Этому вопросу посвящена в сборнике статья

Стрижевского И. И., Бородулина А. А. и Кеннер Б. Л. «Защита ацетиленовых трубопроводов от разрушения».

К пожарно-профилактическим мероприятиям, которые позволяют решить проблему пожаро-взрывобезопасности ряда технологических процессов, относится использование инертных газов. Исследованиями установлено, что инертные дымовые и выхлопные газы обеспечивают надежную защиту емкости с легковоспламеняющимися и горючими жидкостями как при эксплуатационном хранении, так и при ремонтных работах с применением огня. При этом в условиях хранения содержание кислорода для большинства газовых смесей допускается не более 10%; для некоторых из них оно должно быть понижено до 3% (например, для воздушно-водородной смеси). При электросварочных ремонтных работах (без удаления остатков горючих жидкостей) содержание кислорода не должно превышать 5%. В настоящее время инертные газы подобного состава успешно применяются во многих отраслях народного хозяйства (например, при перевозке и хранении нефтепродуктов, при ремонтах без зачистки от остатков нефтепродуктов металлических резервуаров, танков, бочек и др.). Вопросы практического использования инертных газов освещены в статье Годжелло М. Г. «Применение негорючих газов и паров для предупреждения взрывов и пожаров».

Наряду с инертными дымовыми и выхлопными газами, в химической промышленности с пожарно-профилактическими целями применяются также углекислота и азот главным образом в тех производствах, где они являются побочными продуктами. Азот широко используется для перекачивания легковоспламеняющихся и горючих жидкостей из емкостей. Об условиях применения азота для этих целей сообщается в статье Розловского А. И., Ройзена И. С. и Сущева П. Г. «Применение азото-воздушных смесей для перекачивания горючих жидкостей, в частности изопропилового спирта».

Современный уровень производства синтетических материалов и пластических масс позволяет по-новому решить многие вопросы пожаро-взрывобезопасности в химической промышленности. В статье Ройзена И. С. «Роль пластмасс и синтетических материалов в снижении пожаро- и взрывобезопасности химических производств» на многих примерах показано их огромное значение в совершенствовании аппаратуры, улучшении техники безопасности и условий труда и раскрыта широкая перспектива использования в пожарной профилактике.

Современное химическое производство характеризуется высокой степенью автоматизации технологических процессов. Это, в свою очередь, выдвигает новые, повышенные требования к противопожарному оборудованию. В настоящее время промышленность уже не может удовлетворяться прежними, в основном визуальными способами обнаружения пожаров и ручными средствами их тушения. Автоматизированному производству должны соответствовать

совершенные автоматические противопожарные средства. При проектировании и строительстве, а также реконструкции химических предприятий необходимо учитывать, что каждый пожаро-взрывоопасный агрегат, участок, цех должен быть оснащен соответствующими автоматически действующими установками обнаружения и тушения пожаров. В этом отношении следует более широко использовать в качестве датчиков противопожарных установок технологическую контрольно-сигнальную аппаратуру. Большую роль должны сыграть специальные пожарные извещатели. В СССР разработано несколько типов таких извещателей, реагирующих на появление дыма, света и тепла. Конструкция, принцип действия и условия применения этих извещателей описаны в статье Жданова С. М. и Макарова В. М. «Автоматические пожарные извещатели».

Для тушения возникших пожаров в настоящее время имеются эффективные огнегасительные средства и методы. Особенно следует отметить жидкостные и газовые огнегасительные составы на основе бромированных углеводородов (составы «3,5», «СЖ-Б» и др.), тонкораспыленную воду (в том числе с добавками смачивателей) и метод тушения перемешиванием. Автоматические противопожарные установки с составами «3,5», «7» и «СЖ-Б» уже получили широкое применение в ряде отраслей народного хозяйства (авиации, транспорте, морском и речном флоте и т. д.). По эффективности действия и простоте устройства они во много раз превосходят углекислотные установки и обеспечивают надежное тушение самых сложных пожаров. Вопросам газового тушения посвящена статья Мантурова Н. И. и Овсейчик Т. Г. «Огнегасительные составы на основе бромистого этила».

После разрешения проблемы получения воды в тонкораспыленном состоянии это наиболее доступное средство тушения пожаров получило еще более широкое распространение. Исследовательскими работами установлено, что тонкораспыленной водой можно тушить пожары практически всех легковоспламеняющихся и горючих жидкостей в резервуарах. Разработанная аппаратура и приемы тушения пожаров тонкораспыленной водой описаны в статье Соловьева А. А., Петрова И. И., Крайнова А. П., Усатенко В. И. «Борьба с пожарами на предприятиях искусственного волокна».

Не менее практически ценным для предприятий химической промышленности является метод тушения перемешиванием. В статье Петрова И. И. и Реутта В. Ч. «Тушение пожаров горючих жидкостей в резервуарах методом перемешивания» приводятся рекомендации по условиям тушения этим методом.

В сборнике дается также характеристика ряда других средств и аппаратов для тушения пожаров, что поможет проектировщикам и производственникам обоснованно выбрать необходимые для каждого отдельного предприятия противопожарные средства.

В конце сборника приводятся некоторые данные из иностранной литературы о характере пожарной опасности на зарубежных химических предприятиях, о случаях пожаров на них и применяемых средствах обнаружения и тушения пожаров.

Ознакомление с опубликованными в сборнике материалами позволит работникам химической промышленности и пожарной охраны использовать их в практической работе и тем самым повысить пожарную безопасность химических предприятий.

*Рябов И. В.*

---



# ОСНОВНЫЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ВЗРЫВО- И ПОЖАРООПАСНОСТИ

Годжелло М. Г., Коршак З. В.,

## Физико-химические свойства и параметры опасности синтетических волокон

### 1. Основные физико-химические свойства и показатели пожарной опасности и серо

№№ п/п	Наименование, № ГОСТа	Применение в производстве	Физико-химические свойства					
			состояние при 0° и 760 мм рт. ст.	молекулярный вес	удельный вес (плотность), г/см <sup>3</sup>	плотность (по воздуху для га- зов и паров)	температу- ра, °С	
							плавления	кипения
Производство вискозных волокон и целлофана								
1	Сероуглерод, ГОСТ 1511—42	Для получения ксантогената цел- люлозы	Жид- кость	76,14	1,263	2,62	-108,6	46,3
2	Олеиновая кис- лота, ГОСТ 7580— 55	При отделке во- локна	Жид- кость	282,45	0,89	9,8	14	268 (при 100 мм рт.ст.)
3	Перекись водо- рода (пергидроль), ГОСТ 177—54	Для отбелики во- локна	Жид- кость	34,016	1,438	—	—	—
4	Уайт-спирт, ГОСТ 3134—52	Для замаслива- ющих препаратов	Жид- кость	—	0,794	—	—	140— 200
5	Глицерин, ГОСТ 6824—54	Для эластично- сти целлофана	Жид- кость	92,09	1,26	3,2	18,6	290
6	Сероводород	Выделяется при отделке волокна	Газ	34,09	1,54	1,18	-85,6	-60,7

\* Составители: Годжелло М. Г. и Коршак З. В.

# СВОЙСТВА И ПОКАЗАТЕЛИ НЕКОТОРЫХ ВЕЩЕСТВ

Толчинский С. С., Светлова Л. М.

некоторых веществ, применяемых в промышленности,  
и каучука \*

веществ, применяемых в производстве искусственных и синтетических волокон  
углерода

Показатели пожарной опасности						Примечание	Рекомендации по тушению
температура са- мовоспламене- ния, °С	температура вспышки паров, °С	пределы взрываемости в воздухе					
		темпера- турные (для паров жид- кости), °С		концен- трационные, % по объему			
		нижн.	верхн.	нижн.	верхн.		
105	—50	—50	26	1	50		Вода распыленная; во- да поверх продукта; во- дяной пар
362	189	Данных нет					Углекислота; водяной пар; бромэтиловые соста- вы
Для водных растворов перекиси водорода данных нет						Для паров перекиси во- дорода ниж- ний предел взрываемо- сти 26% по объему	Вода (разбавление)
270	35	35	68	1,4	6,0		Вода распыленная; пе- на
393	176,5	Данных нет					Вода распыленная; во- дяной пар. Перемешива- ние воздухом
290	—	—	—	4,3	45,5		Углекислота; азот (при горении факелом)

№№ п/п	Наименование, № ГОСТа	Применение в производстве	Физико-химические свойства					
			состояние при 0° и 760 мм рт. ст.	молекулярный вес	удельный вес (плотность), г/см <sup>3</sup>	плотность (по воздуху для га- зов и паров)	температу- ра, °С	
							плавления	кипения
Производство ацетатного волокна								
7	Ацетон, ГОСТ 2603—51	При растворе- нии ацетилцеллю- лозы	Жид- кость	58,08	0,792	2,0	—95	56
8	Спирт этиловый, ГОСТ 5962—51	То же	Жид- кость	46,07	0,789	1,6	—117	78,4
Производство капронового и анидного волокон								
9	Уксусная кисло- та, ГОСТ 7077—54	Стабилизатор при полимериза- ции капролактама	Жид- кость	60,05	1,052	2,1	16,6	118
10	Теплоноситель «ВОТ» («даутерм» или «динил»), ди- фенил и дифенило- ксид, ТУ МХП 4280—54	Теплоноситель	Твер- дый ср.	166	1,06	5,7	—	—
11	Водород, ГОСТ 3022—45	Для восстано- вления окиси меди	Газ	2,016	—	0,09	—259,4	—252,7
12	Спирт бутило- вый-н, ГОСТ 5980—51	Для разбавления замасливающих препаратов	Жид- кость	74,12	0,81	2,55	—	113— 120
13	Аммиачная во- да, техническая 25%-ная, ГОСТ 9—40	Для пригото- вления замасливаю- щих препаратов	Жид- кость	—	0,91	—	—	—

Показатели пожарной опасности						Примечание	Рекомендации по тушению
температура са- мовоспламене- ния, °C	температура вспышки паров, °C	пределы взрываемости в воздухе					
		темпера- турные (для паров жид- кости), °C		концен- трационные, % по объему			
		нижн.	верхн.	нижн.	верхн.		
610	-20	-20	6	2,6	12,8		Вода тонкораспылен- ная; химическая специ- альная пена (ПГП-С); бромэтиловые составы; вода (разбавление) Вода тонкораспылен- ная; химическая специ- альная пена (ПГП-С); вода (разбавление)
465	13	11	40	3,3	18,95		
500	38	32	60	3,1	12,0		Химическая специаль- ная пена (ПГП-С); вода тонкораспыленная; пере- мешивание воздухом (до +27°) Вода распыленная; пена химическая (ПГП); водяной пар
695	115	115	130	1,35	2,5		
510	—	—	—	4,0	74,2		Азот (при горении факелом); вода тонко- распыленная; химическая специальная пена (ПГП-С) Перемешивание возду- хом (до +26°); водя- ной пар; углекислота
410	34	31	60	1,52	10,2		
До 750° не воспл.	-2	-2	10	—	—		Вода (разбавление)

№№ п/п	Наименование, № ГОСТа	Применение в производстве	Физико-химические свойства					
			состояние при 0° и 760 мм рт. ст.	молекулярный вес	удельный вес (плотность), г/см <sup>3</sup>	плотность (по воздуху для га- зов и паров)	температу- ра, °С	
							плавления	кипения
14	Аммиак, ГОСТ НКТП-2299	Выделяется из аммиачной воды	Газ	17,03	0,77	0,597	-77,7	33,5
15	Соль «АГ» (C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> CONH) <sub>2</sub> , ВТУ 24—56	Исходный про- дукт для получе- ния анидного во- локна	Тверд. крист. вещ.	226	—	7,85	192,5	
16	Адипиновая кис- лота COOH(CH <sub>2</sub> ) <sub>4</sub> COOH, ВТУ МХП 3370—53	Стабилизатор при полимериза- ции капролактама	То же	146,14	1,37	5,05	151	265 (100) мм
Производство штапельного волокна								
17	Полиакрилонит- рил (C <sub>3</sub> H <sub>3</sub> N) <sub>n</sub>	Основное сырье для получения во- локна «нитрон»	Твер- дый мелк.- зерн. поро- шок	Высо- комо- лекул. вещ. 40000- 60000	1,14—			
18	Диметилформ- амид (CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> CONH, ВТУ Е-9-111—55	Растворитель полиакрилонит- рила	Жид- кость	73	0,95	2,5	55—61	153— 155
Производство полиэфирного волокна «лавсан»								
19	Диметилтере- фталат CH <sub>3</sub> COO—C <sub>6</sub> H <sub>4</sub> — COOCH <sub>3</sub>	Основное сырье для получения во- локна «лавсан»	Твер- дый кри- стал- лич. пор. (бел.)	194,18	—	На- сып- ной вес 450 г/л	140,5 —141	—
20	Этиленгликоль, ВТУ МХП 2789а— 51	Растворитель диметилтерефта- лата	Жид- кость	62,07	1,11	2,16	-12,3	197,8

Показатели пожарной опасности						Примечание	Рекомендации по тушению
температура самовоспламенения, °С	температура вспышки паров, °С	пределы взрываемости в воздухе					
		температурные (для паров жидкости), °С		концентрационные, % по объему			
		нижн.	верхн.	нижн.	верхн.		
1050	—	—	—	15,5	27,0		Азот (при горении факелом)
Данных нет	196	Данных нет					
		Данных нет					
420	59	50	85	4,93	13,6		Вода распыленная; углекислота; бромэтиловые составы
+465 для аэровзвеси 852	+104 для аэровзвеси 618	—		Для аэровзвеси г/м³ 37,8			
380	120	112	124	3,8	6,35		Вода распыленная; водяной пар; химическая пена (ПГП); перемешивание воздухом



№№ п/п	Наименование, № ГОСТа	Применение в производстве	Физико-химические свойства					
			состояние при 0° и 760 мм рт. ст.	молекулярный вес	удельный вес (плотность), г/см <sup>3</sup>	плотность (по воздуху для га- зов и паров)	температу- ра, °С	
							плавления	кипения
21	Спирт метило- вый, ГОСТ 2222—43	Выделяется в процессе перете- рификации	Жид- кость	32,04	0,791	1,1	—97,8	64,7
22	Смола «лавсан»	Промежуточ- ный продукт	Твер- дое кри- стал. веще- ство	Высо- комо- лек. вещ. ок. 20000	1,38	—	255— 260	
Производство сероуглерода								
23	Сера, ГОСТ 127—51	Сырье для про- изводства сероуг- лерода	Твер- дое куск.	32,06	1,96+ 2,07		114+ 120	448
24	Древесный уголь, ГОСТ 7657—55	Сырье для про- изводства сероуг- лерода	Твер- дое пори- стое веще- ство	—	0,4	—	—	—
25	Сероуглерод, ГОСТ 1541—42	Конечный про- дукт	Жид- кость	76,14	1,263	2,62	—108,6	46,3

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Легковоспламеняющиеся и горючие жидкости, «Справочник», изд. МКХ
2. Краткий справочник химика, сост. В. М. Перельман, 3-е изд. Госхимиздат,
3. В. Иост. Взрывы и горение в газах, перевод с нем., Изд-во иностранной

Показатели пожарной опасности						Примечание	Рекомендации по тушению
температура са- мовоспламене- ния, °C	температура вспышки паров, °C	пределы взрываемости в воздухе					
		температур- ные (для паров жид- кости), °C		концен- трационные, % по объему			
		нижн.	верхн.	нижн.	верхн.		
500	8	7	39	6,0	36,5	Данных о взрывоопас- ности пыли смолы нет	Вода тонкораспылен- ная; химическая специ- альная пена (ПГП-С); вода (разбавление)
Данных нет							
Для аэровз. 575	267	—	—	Для аэро- взвеси г/м³ 2,3		Для осаж- денной пы- ли 205°	Вода распыленная
340	—	—	—	—		При хране- нии в кучах склонен к самовозго- ранию при обычных температурах	Вода распыленная (со смачивателем); бром- этиловые составы
105	—50	—50	26	1	50		Вода распыленная, во- дяной пар; вода поверх продукта

## II. Основные физико-химические применяемых в производстве

№№ п/п	Наименование (и формула), № ГОСТа	Физико-химические			
		Состояние при 0° и 760 мм рт. ст.	Температура, °С		Молеку- лярный вес
			плав- ления	кипения	
1	Изопропилбензол C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CH (CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	Жидкость	—96,9	152	120,2
2	Изопрен CH <sub>2</sub> =CHC(CH <sub>3</sub> )= CH <sub>2</sub> ВТУ ЛУ 16—52	Жидкость	—146	32,6	68,12
3	Нитрил акриловой кислоты CH <sub>2</sub> =CH CN	Жидкость	—82,0	78	53,06
4	Метилстирол-α C <sub>9</sub> H <sub>10</sub> , ТУ ЛУ 6 — 47	Жидкость	—	161	118
5	Уксусная кислота лед: CH <sub>3</sub> COOH, ГОСТ 61—51	Твердое	16,6	118,1	60,05
6	Формалин технический 40%- ный, ГОСТ 1625—54	Жидкость	—	—	—
7	Хлорбензол C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> , ГОСТ 646— 41	Жидкость	<—45	132	112,56
8	Этилбензол C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub> , ВТУ 3925—54	Жидкость	—94	136,2	106,17
9	Хлористый этил CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> Cl	Жидкость	—138,7	12,5	64,52
10	Окись этилена (CH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> O, ГОСТ 7568—55	Жидкость	—111,3	10,7	44,05

\* Температурные пределы исчислены из концентрационных (по литературным

свойства и показатели веществ,  
синтетических каучуков

свойства		Показатели пожарной опасности					
Плотность		Темпера- тура само- воспламене- ния паров в воздухе, установлен- ная методом „капли“, °C	Темпера- тура вспышки по ГОСТ 1421—53, °C	Пределы взрываемости			
$d_4^{20}$ , г/см <sup>3</sup>	паров по воздуху			температурные на- сыщенных паров в воздухе, °C		концентрационные (исчисленные в % по объему)	
				нижний	верхний	нижний	верхний
0,864	4,14	500	34	27	60	0,68	4,2
0,6806	2,35	360	—72	—72	—30	0,4	6,2
0,811	1,88	370	—5	—5	25	1,85	15,1
0,913	4,07	540	38	38	67	0,85	3,4
1,0492	2,07	500	38	32	60	3,1	12,0
1,098 <sup>150</sup>	—	435	67	62	80	—	—
1,1066	3,88	660	26	25	58	1,6	7,83
0,8669	3,66	420	20	18	45	0,9	3,9
0,921	2,2	517	—	—53,2*	—30,3*	3,6	14,8
0,887 <sup>70</sup>	1,52	429	—	—55,2*	4,1*	3,0	80,0

данным).



## Основные параметры взрыво- и пожароопасности продуктов анилино-красочной промышленности \*

## I. Прямые красители

№ п/п	Наименование вещества	Зольность в %	Влажность в %	Чувствительность к открытому пламени	Возможность взрыва или воспламенения вещества			Характерные признаки
					при ударе	при трении	при нагреве	
1	Диазожелтый 3 . . .	25,5	0,36	Не горит	Не взрывается			Порошкообразное вещество; пыль не взрывается
2	Диазожелтый О . . .	34,97	0,21	То же	То же			То же
3	Диазожелтый светопро- чный . . . . .	4,6	0,50	»	Не взрывается	»	До 360° вспышки не произошло	»
4	Желтый ЖХ . . .	19,5	0,21	»		»	То же	»
5	Желтый светопрочный О	—	0,31	»	То же	»	То же	»
6	Диазооранжевый . .	18,7	0,16	»	»	»	»	»
7	Оранжевый 5К . . .	—	0,48	»	»	»	До 360° вспышки не произошло	»
8	Оранжевый светопро- чный 2Ж . . . . .	—	—	»	Не взрывается			»

\* Авторы: Толчинский С. С. и Светлова Л. М.

№ п/п	Наименование вещества	Зольность в %	Влажность в %	Чувствительность к открытому пламени	Возможность взрыва или воспламенения вещества			Характерные признаки
					при ударе	при трении	при нагреве	
9	Оранжевый светопрозрачный 2К . . . . .	36,8	0,54	Не горит	Не взрывается	Разложение вещества	Порошкообразное вещество; пыль не взрывается	
10	Оранжевый светопрозрачный 4КМ . . . . .	—	0,63	То же	То же	До 360° вспышки не произошло	То же	
11	Ярко-оранжевый . . . . .	61,8	0,29	»	Не взрывается	Не взрывается	»	
12	Ярко-оранжевый 2К . . . . .	38,0	0,56	»	Не взрывается	При 310° разложение вещества с выделением дыма	»	
13	Алый . . . . .	53,2	0,35	»	То же	До 360° вспышки не произошло	»	
14	Алый С . . . . .	58,2	0,18	»	Не взрывается	Не взрывается	»	
15	Алый светопрозрачный 2Х . . . . .	—	0,58	Сгорает при 200°	Не взрывается	При 340° бурное разложение	Порошкообразное вещество, пожароопасное в условиях сушки; пыль не взрывчата	



№ п/п	Наименование вещества	Зольность В %	Влажность В %	Чувствительность к открытому пламени	Возможность взрыва или воспламенения вещества			Характерные признаки
					при ударе	при трении	при нагреве	
16	Диазоалый . . .	18,66	10,30	Не горит	Не взрывается	До 360° вспышки не произошло	Порошкообразное вещество; пыль не взрывается	
17	Диазоалый 4Ж . . .	29,0	0,39	То же	То же	То же	То же	
18	Диазокрасный Ж . . .	60,0	0,02	»	Не взрывается	До 360° вспышки не произошло	»	
19	Красный . . .	49,2	0,19	»	Не взрывается	До 360° вспышки не произошло	»	
20	Красный ЖХ . . .	14,0	0,40	»	То же	То же	»	
21	Красный 2С . . .	66,8	4,57	»	»	»	»	
22	Красный светопрозрачный 2С . . .	43,2	0,22	При 180° беспламен. разложение вещества	Не взрывается	Не взрывается	Порошкообразное вещество, пожароопасное в условиях сушки; пыль не взрывается	
23	Розовый 2С . . .	55,7	0,10	Не горит	Не взрывается	До 360° вспышки не произошло	Порошкообразное вещество; пыль не взрывается	
24	Диазобрубиновый С . . .	47,44	3,14	То же	То же	То же	То же	
25	Рубиновый . . .	3,0	0,55	»	»	»	»	

№ п/п	Наименование вещества	Зольность в %	Влажность в %	Чувствительность к открытому пламени	Возможность взрыва или воспламенения вещества			Характерные признаки
					при ударе	при трении	при нагреве	
26	Бордо . . . . .	48,5	0,52	Не горит	Не взрывается	Не взрывается	Порошкообразное вещество; пыль не взрывается	
27	Бордо светопрочный 4Ж	61,3	0,31	То же	То же	То же	То же	
28	Бордо светопрочный С	25,5	0,15	»	Не взрывается	При 340° разложение	»	
29	Диазобордо . . . . .	60,8	0,57	»	Не взрывается	Не взрывается	»	
30	Диазобордо I . . . . .	60,8	0,26	»	То же	То же	»	
31	Диазобордо светопрочный С . . . . .	38,0	0,56	»	»	»	»	
32	Диазобордо светопрочный 4С . . . . .	14,5	0,48	»	Не взрывается	До 360° вспышки не произошло	»	
33	Диазофиолетовый . . . . .	20,0	0,32	»	То же	То же	»	
34	Диазотемно-фиолетовый	16,3	0,39	»	Не взрывается	Не взрывается	»	
35	Фиолетовый . . . . .	66,5	4,82	»	То же	То же	»	

№ п/п	Наименование вещества	Зольность в %	Влажность в %	Чувствительность к открытому пламени	Возможность взрыва или воспламенения вещества			Характерные признаки
					при ударе	при трении	при нагреве	
36	Фиолетовый С . . .	57,8	1,54	Не горит	Не взрывается	Не взрывается	До 360° вспышки не произошло	Порошкообразное вещество; пыль не взрывается
37	Фиолетовый прочный СМ	52,0	0,13	То же	То же	То же	То же	То же
38	Фиолетовый светопро- чный 2 КМ . . .	10,0	0,33	»	»	»	»	»
39	Фиолетовый светопро- чный КМ . . .	—	0,18	»	»	»	При 340° разложение	»
40	Диазосиний . . .	44,3	5,93	»	»	»	До 360° вспышки не произошло	»
41	Диазосиний 3 . . .	47,2	0,18	»	»	»	То же	»
42	Диазосиний К . . .	54,6	0,18	»	»	»	»	»
43	Диазосиний К . . .	16,0	0,32	Горит при 200°	»	»	»	Порошкообразное вещество, пожароопасное в условиях сушки; пыль не взрывается
44	Диазосиний С . . .	71,06	0,66	Не горит	Не взрывается	Не взрывается	Не взрывается	Порошкообразное вещество; пыль не взрывается

№ п/п	Наименование вещества	Зольность в %	Влажность в %	Чувстви- тельность к откры- тому пламени	Возможность взрыва или воспламенения вещества			Характерные признаки	
					при ударе	при трении	при нагреве		
45	Диазосиний КК . . . . .	—	0,11	Сгорает при 200°	Не взрывается			Порошкообразное веще- ство, пожароопасное в условиях сушки; пыль не взрывчата	
46	Диазосиний 3 для аце- татного шелка . . . . .	—	0,24	Не горит	Не взрывается			Порошкообразное веще- ство; пыль взрыв- чата ( <i>t</i> воспламенения 890°, нижний предел взрывчатости пыли — 26,0 г/м³)	
47	Синий . . . . .	43,0	5,76	То же	То же	До 360° вспышки не произошло			Порошкообразное веще- ство; пыль не взрыв- чата
48	Синий 3М . . . . .	66,5	2,42	»	Не взрывается			То же	
49	Синий КМ . . . . .	52,9	5,75	»	Не взрывается			»	
50	Синий 4КМ . . . . .	35,2	0,07	»	То же	До 360° вспышки не произошло			Порошкообразное веще- ство; пыль взрыв- чата ( <i>t</i> воспламенения 990°, нижний предел взрывчатости пыли — 72,8 г/м³)

№ п/п	Наименование вещества	Сольность %	Влажность %	Чувстви- тельность к откры- тому пламени	Возможность взрыва или воспламенения вещества			Характерные признаки
					при ударе	при трении	при нагреве	
51	Синий М . . . . .	66,5	2,42	Не горит	Не взрывается	До 360° вспышки не произошло	Порошкообразное веще- ство; пыль не взрыва- та	
52	Синий светопрочный . . . . .	53,6	3,32	То же	То же	То же	То же	
53	Синий светопрочный 23 . . . . .	46,6	0,43	»	»	»	»	
54	Синий светопрочный К . . . . .	43,2	7,8	»	»	»	»	
55	Темно-синий 3 . . . . .	35,0	0,28	»	»	»	»	
56	Голубой . . . . .	46,1	0,48	»	»	»	»	
57	Голубой 3 . . . . .	62,4	0,12	»	»	До 360° вспышки не произошло	»	
58	Голубой К . . . . .	62,3	2,55	»	»	То же	»	
59	Голубой светопрочный . . . . .	41,0	0,56	»	»	»	»	
60	Голубой светопрочный К . . . . .	75,1	0,38	»	»	»	»	
61	Диазоголубой свето- прочный . . . . .	55,7	0,64	»	»	»	»	
62	Диазочисто-голубой . . . . .	22,9	0,16	»	»	»	»	

№ п/п	Наименование вещества	Зольность в %	Влажность в %	Чувствительность к открытому пламени	Возможность взрыва или воспламенения вещества			Характерные признаки
					при ударе	при трении	при нагреве	
63	Чисто-голубой	62,36	3,39	Не горит	Не взрывается	До 360° вспышки не произошло	Порошкообразное вещество; пыль не взрывается	
64	Чисто-голубой ГК	63,0	0,45	То же	То же	То же	То же	
65	Ярко-голубой	—	0,28	Не определяется	Не определяется	Не определяется	»	
66	Диазозеленый Ж	34,4	0,13	Не горит	Не взрывается	Не взрывается	»	
67	Диазозеленый 4Ж	61,4	0,35	Разложение вещества при 200°	То же	То же	Порошкообразное вещество, пожароопасное в условиях сушки; пыль не взрывается	
68	Диазотемно-зеленый 2Ж	37,0	0,36	Тлеет при 200°	»	»	То же	
69	Зеленый	54,3	0,72	Не горит	Не взрывается	До 360° вспышки не произошло	Порошкообразное вещество; пыль не взрывается	
70	Зеленый ЖХ	38,7	3,7	То же	То же	То же	То же	
71	Темно-зеленый	51,72	5,84	»	»	»	»	



№ п/п	Наименование вещества	Сольность в %	Влажность в %	Чувствительность к открытому пламени	Возможность взрыва или воспламенения вещества			Характерные признаки
					при ударе	при трении	при нагреве	
72	Оливковый . . . . .	40,7	5,41	Не горит	Не взрывается	Не взрывается	До 360° вспышки не произошло	Порошкообразное вещество; пыль не взрывается
73	Диазокоричневый КХ . . . . .	64,5	0,7	То же	То же	То же	То же	То же
74	Коричневый ЖХ . . . . .	27,9	1,55	»	»	»	При 310° бурное разложение	»
75	Коричневый 2ЖК . . . . .	63,74	4,25	»	Не взрывается	Не взрывается	»	»
76	Коричневый 3СХ . . . . .	49,9	0,27	»	То же	То же	»	»
77	Коричневый Х образец 1 . . . . .	39,64	0,21	Горит без пламени	»	»	»	Порошкообразное, пожароопасное вещество, пыль не взрывается
	образец 2 . . . . .	32,6	0,73	Не горит	»	»	»	Порошкообразное вещество; пыль не взрывается
	образец 3 . . . . .	20,32	0,30	То же	Не взрывается	Не взрывается	При 340° медленное разложение	То же

№ п/п	Наименование вещества	Сольность в %	Влажность в %	Чувствительность к открытому пламени	Возможность взрыва или воспламенения вещества			Характерные признаки
					при ударе	при трении	при нагреве	
	образец 4 . . . . .	34,97	0,21	Медленно тлеет при 200°	Не взрывается	Не взрывается	При 340° медленное разложение	Порошкообразное вещество, пожароопасное в условиях сушки; пыль не взрывчата
78	Коричневый 2Ж для шубной овчины . . . . .	49,8	0,44	Тлеет при 150°	Не взрывается	То же	То же	То же
79	Коричневый светопрозрачный . . . . .	40,0	0,12	Не горит	То же	То же	То же	Порошкообразное вещество; пыль не взрывчата
80	Коричневый светопрозрачный ЖХ . . . . .	41,6	0,41	То же	То же	То же	То же	То же
81	Коричневый светопрозрачный 2КМ . . . . .	65,8	0,72	Горит при 100—120°	Не взрывается	Не взрывается	При 360° быстрое разложение	Порошкообразное вещество, пожароопасное в условиях сушки; пыль не взрывчата
82	Коричневый светопрозрачный 2КХ . . . . .	16,0	0,39	Не горит	То же	То же	При 320° разложение	Порошкообразное вещество; пыль не взрывчата
83	Красновато-коричневый Х . . . . .	52,3	0,20	То же	Не взрывается	Не взрывается	То же	То же

происхождении

№ п/п	Наименование вещества	Сольность в %	Влажность в %	Чувстви- тельность к откры- тому пламени	Возможность взрыва или воспламенения вещества			Характерные признаки
					при ударе	при трении	при нагреве	
84	Паракоричневый . . .	39,72	3,37	Не горит	Не взрывается			Порошкообразное веще- ство; пыль не взрыв- чата
85	Диазотемно-серый X . . .	63,8	0,33	»	То же			То же
86	Серый С . . .	55,5	0,94	»	»			»
87	Серый светопрочный . . .	54,5	0,11	»	»			»
88	Серый светопрочный С . . .	61,7	0,33	»	»			»
89	Диазочерный С . . .	53,0	1,03	»	»			»
90	Диазочерный З . . .	32,8	0,83	Тление при 200°	Не взрывается	До 360° вспышки не произошло		Порошкообразное веще- ство, пожароопасное в условиях сушки; пыль не взрывчата
91	Диазочерный светопроч- ный . . .	10,34	0,41	Разложение при 150°	Не взрывается			То же
92	Черный З . . .	47,75	2,54	Не горит	Не взрывается	До 360° вспышки не произошло		Порошкообразное веще- ство; пыль не взрывчата

№ п/п	Наименование вещества	Сольность в %	Влажность в %	Чувствительность к открытому пламени	Возможность взрыва или воспламенения вещества			Характерные признаки
					при ударе	при трении	при нагреве	
93	Черный 33	59,6	9,15	Не горит	Не взрывается			Порошкообразное вещество, пыль не взрывается
94	Черный 3С	36,7	4,01	»	Не взрывается			То же
95	Черный К	27,0	0,49	»	То же			»
96	Черный светопроочный 23М	78,3	0,46	Разложение при 170°	»			Порошкообразное вещество, пожароопасное в условиях сушки, пыль не взрывается
97	Черный светопроочный ФМ	24,88	0,28	Разложение при 200°	»			То же
98	Черный для шубной овчины	42,3	0,18	Не горит	»			Порошкообразное вещество; пыль не взрывается
99	Черный для хромовой кожи	41,88	7,75	»	Не взрывается			То же

## II. Сернистые красители

№ п/п	Наименование вещества	Влажность %	Чувствительность к открытому пламени	Возможность взрыва или воспламенения вещества			Характерные признаки
				при ударе	при трении	при нагреве	
1	Бордо водорастворимый	0,44	Не определялась	Не определялась			Порошкообразное вещество; пыль не взрывается
2	Тиозоль синий БС (сернистый синий водорастворимый) влажный	3,0	Тлеет	Не взрывается			Порошкообразные пожароопасные вещества; пыль взрывчата ( <i>t</i> воспламенения 1010°, нижний предел взрывчатости пыли — 208 г/м³)
	высушенный	0,11	Тлеет	»			
3	Тиозоль синий К	0,29	Не определялась	Не определялась			Порошкообразное вещество, пыль не взрывается
4	Синий 3	0,31	»	То же			То же
5	Темно-синий	0,21	»	»			»
6	Чисто-голубой К	0,11	»	»			»
7	Синий тиогликол	0,25	»	»			»
8	Тиозоль зеленый	0,30	»	»			»

### III. Кубовые красители

№ п/п	Наименование вещества	Влажность %	Чувствительность к открытому пламени	Возможность взрыва или воспламенения вещества			Характерные признаки
				при ударе	при трении	при нагреве	
1	Тиониндиги оранжевый КХ . . . . .	Следы	Горит при 200°	Не взрывается		При 310° разложение	Порошкообразное вещество, пожароопасное в условиях сушки, пыль взрывчата ( $t$ воспламенения 870°, нижний предел взрывчатости пыли — 10,4 г/м <sup>3</sup> )
2	Бордо С . . . . .	»	Тлеет при 200°	»		Не определялась	Порошкообразное вещество, пожароопасное в условиях сушки, пыль не взрывчата
3	Голубой К . . . . .	0,11	Не определялась	Не определялась			Порошкообразное вещество; пыль не взрывчата
4	Голубой для крашения вискозы . . . . .	0,35	»	То же			То же
5	Ярко-зеленый Ж . . . . .	Следы	Не горит	»	»		»
6	Ярко-зеленый С . . . . .	»	»	»	»		»
7	Тиониндиги красно-коричневый Ж . . . . .	»	»	Не взрывается			При 320° разложение



## IV. Протравные красители для хлопка

№ п/п	Наименование вещества	Зольность в %	Влажность в %	Чувствительность к открытому пламени	Возможность взрыва или воспламенения вещества			Характерные признаки
					при ударе	при трении	при нагреве	
1	Чисто-желтый образец 1 . . . . .	43,52	10,38	Не горит	Не взрывается			Порошкообразное вещество; пыль не взрывается
	образец 2 . . . . .	26,1	0,63	Тлеет				Порошкообразное пожароопасное вещество; пыль не взрывается
2	Желтый . . . . .	2,0	0,6	Горит				Порошкообразное пожароопасное вещество, пыль взрывается ( $t$ воспламенения $825^{\circ}$ , нижний предел взрывчатости пыли — $10,4 \text{ г/м}^3$ )
3	Зеленый БС . . . . .	34,8	1,85	Не горит				Порошкообразное вещество; пыль не взрывается
4	Коричневый 2К . . . . .	55,7	0,10	"	»			То же

V. Диазоли

№ п/п	Наименование вещества	Концентрация в %	Влажность в %	Чувствительность к открытому пламени	Взрывчатость пыли		Возможность взрыва или воспламенения			Характерные признаки
					температуры воспламенения в °C	нижний предел в г/м³	при ударе	при трении	при нагреве	
1	Диазоль желтый О (образец 3)	—	—	Горит в контакте с пламенем	Не взрывает	Не взрывается	Не взрывается	При 145° мгновенное разложение с сильным пламенем	Порошкообразное вещество, пожароопасное в условиях сушки	
2	Диазоль желтый О с 1:5 дисульфокислотой нафталина	18,0	6,21	То же	»	»	»	При 155° разложение с выделением белого дыма	То же	
	с хлористым цинком	18,0	0,40	»	»	»	»	При 190° слабое выделение дыма. При 240° сильное потрескивание	»	
3	Диазоль оранжевый О без наполнителя	42,2	12,0	Легко загорается и горит с большой скоростью	Не пылит	В 6 опытах из 10 разложение	Осмоление	При 140° вспышка с сильным звуком	Пожароопасное вещество, чувствительное к трению и удару	
	То же	39,5	16,7	Беспламенное разложение	»	Осмоление	Частичное осмоление	При 160° вспышка с глухим звуком	То же	

№ п/п	Наименование вещества	Концентрация в %	Влажность в %	Чувствительность к открытому пламени	Взрывчатость пыли		Возможность взрыва или воспламенения		Характерные признаки				
					температура воспламенения в °C	нижний предел в г/м³	при ударе	при трении		при нагреве			
	Диазоль оранжевый О без наполнителя	38,2	20,5	Беспламенное разложение	Не пылит	»	Осмоление	Частичное осмоление	При 170° вспышка	Пожароопасное вещество; чувствительное к удару и трению			
	То же	21,0	3,5	Горит в контакте с пламенем					При 145° вспышка с глухим звуком		Пожароопасное в условиях сушки		
	»	20,1	2,3	То же					При 180° медленное разложение			Порошкообразное, пожароопасное в условиях сушки	
	смешанный с сульфатом алюминия	22,8	13,5	Беспламенное разложение распространяется на все вещество	Не взрывается		Не взрывается		При 160° быстрое разложение	Порошкообразное, пожароопасное вещество			
	высушенный с сульфатом алюминия . . . .	20,0	2,3	Горит в контакте с пламенем	Не взрывается				При 180° разложение		Порошкообразное, пожароопасное в условиях сушки		
	смешанный с сульфатом натрия	22,82	5,8	Не загорается	Не пылит				При 135° разложение			Порошкообразное вещество	

№ п/п	Наименование вещества	Концентрация в %	Влажность в %	Чувствительность к открытому пламени	Взрывчатость пыли		Возможность взрыва или воспламенения			Характерные признаки
					температура воспламенения в °C	нижний предел в г/м <sup>3</sup>	при ударе	при трении	при нагреве	
	смешанный с сульфатом натрия	22,8	4,6	Беспламенное разложение	Не взрывается		В 3 опытах из 10 разложение	Слабое осмоление	При 160° вспышка с сильным звуком	Порошкообразное пожароопасное вещество, чувствительное к удару и трению
	хлорид диазоля оранжевого О	24,0	0,062	Не определялась	975	41,6		Не определялась		Порошкообразное вещество
	То же	21,6	0,06	Легко загорается и быстро сгорает	1000	83,3	Не взрывается	При 135° вспышка без пламени		Порошкообразное, пожароопасное вещество
	»	17,0	0,13	Не определялась	1025	104,0	Не определялась	Не определялась		Порошкообразное вещество
	»	16,8	0,25	То же	975	104,0	То же	То же		То же
	сульфат диазоля оранжевого О	35,3		Сгорает мгновенно	1000	42,0	Не взрывается	При 140° вспышка без пламени со слабым звуком		Порошкообразное, пожароопасное вещество

№ п/п	Наименование вещества	Концентрация в %	Влажность в %	Чувствительность к открытому пламени	Взрывчатость пыли		Возможность взрыва или воспламенения			Характерные признаки
					температура воспламенения в °C	нижний предел в г/м³	при ударе	при трении	при нагреве	
4	сульфат диазоля оранжевого О	31,3	0,2	Не определялась	925	20,8	Не определялась			Порошкообразное вещество
	То же	28,0	0,13	То же	975	41,6	То же			То же
	»	25,0	0,30	»	975	41,6	»			»
	»	21,9	0,34	»	975	104,0	»			»
4	Диазоль ярко-оранжевый К	19,2		Горит в контакте с пламенем	Не взрывается		—			Порошкообразное, пожароопасное в условиях сушки вещество
5	Диазоль алый 2Ж без наполнителя	55,8	0,7	Быстро сгорает с выделением большого количества белого дыма	То же		Из 6 опытов 2 неполных взрыва и 4 отказа	Не взрывается		Порошкообразное, пожароопасное вещество, чувствительное к удару
								При 135° вспышка с громким звуком и слабым пламенем		
	То же	54,5	1,3	Энергично горит в контакте с пламенем	»		Разлагается		При 180° вспышка с глухим звуком	Порошкообразное, пожароопасное в условиях сушки вещество, чувствительное к удару

№ п/п	Наименование вещества	Концентрация в %	Влажность в %	Чувствительность к открытому пламени	Взрывчатость пыли			Возможность взрыва или воспламенения			Характерные признаки
					температура воспла- менения в °С	нижний предел в г/м³	при ударе	при трении	при нагреве		
	без наполнителя	51,3	0,5	Не горит	Не взрывается			При 160° вспышка со слабым звуком			Порошкообразное вещество
	То же	47,4	10,2	Энергично горит в контакте с пламенем	Не пылит			Не определялась			Пожароопасное в условиях суш- ки вещество
	»	38,9	19,0	То же	То же			То же			То же
	с наполнителем (сульфат нат- рия) . . . . .	36,7	4,6	»	»			»			»
	То же	32,0	5,1	Не горит	»			Не взрывается			Порошкообраз- ное вещество
	»	21,7	2,2	Горит энер- гично в контакте с пламенем	Не взрывается			Не определялась			Порошкообразное, пожароопасное в условиях сушки вещество



№ п/п	Наименование вещества	Концентрация в %	Влажность в %	Чувствительность к открытому пламени	Взрывчатость пыли		Возможность взрыва или воспламенения			Характерные признаки
					температура воспламенения в °C	нижний предел в г/м³	при ударе	при трении	при нагреве	
6	Дизоль алый Ж	23,9	—	Горит в контакте с пламенем	900	73	Не взрывается	При 140—145° начинается медленное разложение	Порошкообразное, пожароопасное в условиях сушки вещества	
7	Дизоль алый К без наполнителя	54,6	0,92	Мгновенно загорается и горит с большой скоростью	950	42	Взрывается	При 150—190° вспышка с сильным звуком	Порошкообразное пожароопасное вещество, чувствительное к удару и трению	
	То же	43,5	11,5	Быстрое беспламенное разложение	Не пылит		—	Слабое осмоление	При 180° вспышка с сильным звуком	Пожароопасное вещество, чувствительное к трению
	»	39,9	16,8	Горит в контакте с пламенем	То же		Не взрывается	При 180° вспышка с глухим звуком	Пожароопасное в условиях сушки вещества	
	»	38,3	21,3	То же	»	»	То же	При 185° вспышка с глухим звуком	То же	
	»	32,6	33,0	Горит в контакте с пламенем	»	»	»	То же	»	

№ п/п	Наименование вещества	Концентрация в %	Влажность в %	Чувствительность к открытому пламени	Взрывчатость пыли		Возможность взрыва или воспламенения			Характерные признаки
					температура воспламенения в °С	нижний предел в г/м <sup>3</sup>	при ударе	при трении	при нагреве	
8	с наполнителем	37,0	0,79	Загорается, но горение быстро прекращается	Не пылит		Не взрывается	При 150° быстрое разложение	Порошкообразное, пожароопасное в условиях сушки вещество	
	высушенный с сульфатом алюминия	26,2	13,9	Горит в контакте с пламенем	1025	31,2	То же	При 200° разложение	То же	
	То же	20,3	1,0	Не горит	Не взрывается		»	При 180° обугливание	Порошкообразное вещество	
	высушенный с сульфатом натрия	22,7	0,3	Горит в контакте с пламенем	Взрывоопасность очень небольшая		»	При 175° быстрое разложение	Порошкообразное, пожароопасное в условиях сушки вещество	
	Диазоль ярко-алый Ж	18,0	—	То же	Не взрывается		»	При 205° разложение с выделением белого дыма	То же	

№№ п/п	Характерные вещества	Концентрация в %	Влажность в %	Чувствительность к открытому пламени	Взрывчатость пыли		Возможность взрыва или воспламенения			Характерные признаки
					температуры воспламенения в °С	нижний предел в г/м³	при ударе	при трении	при нагреве	
9	Диазоль красный А (с 1:5 дисульфокислотой нафталина)	20,31	0,32	Не горит, наблюдается обугливание	Не взрывается	Не взрывается	При 150° медленное разложение	Порошкообразное вещество		
10	Диазоль красный О	45	—	Не горит, наблюдается вспучивание	850	94	Не взрывается	То же		
	То же	67,2	0,06	Горит	790	41,6	То же	Порошкообразное, пожароопасное вещество		
11	Диазоль красный С	22,0	1,5	Не горит	950	42,0	*	Порошкообразное, пожароопасное в условиях сушки вещество		
12	Диазоль красный ЗС	60,86	0,16	Горит	850	10,4	*	Порошкообразное, пожароопасное вещество		

№ п/п	Наименование вещества	Концентрация в %	Влажность в %	Чувствительность к открытому пламени	Взрывчатость пыли		Возможность взрыва или воспламенения			Характерные признаки
					темпера- воспла- менения в °С	нижний предел в г/м <sup>3</sup>	при ударе	при трении	при нагреве	
13	Диазоль красный ЗС (борфторид)	33,91	0,30	Загорается, но видимое пламя быст- ро исчезает и наблю- дается бес- пламенное разложение	775	41,6	Не взрывается		При 125° бур- ное разложе- ние с выделе- нием большого количества бе- лого дыма	Порошкообразное, пожароопасное вещество
14	Диазоль розовый О . . . . .	24,4	—	Не загора- ется	900	104,2	То же		При 170—180° разложение	Порошкообразное вещество
	То же	50,28	0,33	Горит	890	15,6	»		При 195° быст- рое разложе- ние	Порошкообразное, пожароопасное вещество
	»	50,28	0,33	»	890	15,6	»		То же	То же

№ п/п	Наименование вещества	Концентрация в %	Влажность в %	Чувствительность к открытому пламени	Взрывчатость пыли		Возможность взрыва или воспламенения			Характерные признаки
					температура воспламенения в °С	нижний предел в г/м³	при ударе	при трении	при нагреве	
15	Диазоль прочно-красно-фиолетовый Р	30,0	2,5	Горит	900	10,4	Не взрывается	Легкое обугливание	При 175° бурное разложение с выделением большого количества паров	Порошкообразное, пожароопасное вещество, чувствительное к трению
16	Диазоль фиолетовый	46,38	0,16	Горит в контакте с пламенем	890	41,6	Не взрывается		При 190° разложение	Порошкообразное, пожароопасное в условиях сушки вещество
17	Диазоль фиолетовый без наполнителя	55,5	17,1	То же	975	31,3	То же	То же	При 220° разложение	Порошкообразное вещество
	То же	52,64	21,3	»	975	101	»	»	При 230° разложение	То же
	с наполнителем (сульфат натрия)	22,87	—	Горит в контакте с пламенем	975	104	»	»	При 280° медленное разложение с выделением небольшого количества дыма	»

№ п/п	Наименование вещества	Концентрация в %	Влажность в %	Чувствительность к открытому пламени	Взрывчатость пыли			Возможность взрыва или воспламенения			Характерные признаки
					темпера- воспла- менения в °С	нижний предел в г/м³	при ударе	при трении	при нагреве		
18	с наполнителем (сульфат натрия и цинка).	21,0	8,5	Не горит	975	101	Не взрывается	При 280° раз- ложение	Порошкообразное вещество	Порошкообразное, пожароопасное в условиях суш- ки вещества	
	То же	20,4	1,7	•	975	151	То же	При 290° раз- ложение	То же		
	Диазоль, фиолето- вый 2К с наполнителем (безводный суль- фат натрия)	18,6	0,15	Горит в контакте с пламенем	Не взрывается			При 150° мед- ленное разло- жение с выде- лением дыма			
	с наполнителем (борная кислота)	19,75	0,14	То же	То же			При 145° мед- ленное разло- жение с силь- ным увеличе- нием в объеме	То же		
	То же	19,1	0,11	»	»			То же	»		

Продолжение



№ п/п	Наименование вещества	Концентрация в %	Влажность в %	Чувствительность к открытому пламени	Взрывчатость пыли			Возможность взрыва или воспламенения			Характерные признаки
					температуры воспламенения в °C	нижний предел в г/м³	пыли	при ударе	при трении	при нагреве	
19	без наполнителя	48,9	0,13	Горит, через 2-3 сек. пламя исчезает; наблюдается разложение в течение 10 сек.	Не взрывается			В 3 опытах из 10 разложение	Не взрывается	При 145° медленное разложение с сильным увеличением в объеме	Порошкообразное, пожароопасное вещество, чувствительное к удару
	То же	48,68	0,12	Быстрое разложение	»			В 4 опытах из 5 отмечено осмоление	То же	При 140—143° вспышка с выбросом вещества	То же
	Диазоль темно-фиолетовый К	93,86	0,41	Мгновенно загорается и горит с большой скоростью	1050	20,8		Не взрывается	При 140° мгновенное разложение с выбросом продуктов распада		Порошкообразное, пожароопасное вещество
	То же	60,90	0,42	Горит в контакте с пламенем	975	41,6		—	—	—	Порошкообразное, пожароопасное в условиях сушки вещество

№ п/п	Наименование вещества	Концентрация в %	Влажность в %	Чувствительность к открытому пламени	Взрывчатость пыли		Возможность взрыва или воспламенения			Характерные признаки
					тем-ра воспламенения в °С	нижний предел в г/м³	при ударе	при трении	при нагреве	
	Дизоль темно-фиолетовый	К 51,2	22,0	Горит в контакте с пламенем		Не взрывается			При 140° осмоление	Порошкообразное, пожароопасное в условиях сушки вещество
	То же	48,0	32,6	Не горит		»			При 150° осмоление	Порошкообразное вещество
	»	45,07	0,44	Горит в контакте с пламенем		»			При 160° бурное разложение	Порошкообразное, пожароопасное в условиях сушки вещество
	»	41,4	0,3	Не горит	820	10,4	Не взрывается		При 170° разложение	Порошкообразное вещество
	»	31,09	0,49	—	1075	83,2	—	—	—	То же
	»	30,0	12,9	Не горит		Не взрывается			При 180° разложение	»

№ п/п	Наименование вещества	Концентрация в %	Влажность в %	Чувствительность к открытому пламени	Взрывчатость пыли		Возможность взрыва или воспламенения			Характерные признаки
					температура воспламенения в °C	нижний предел в г/м³	при ударе	при трении	при нагреве	
20	Диазоль из азотина прочного коринф-фау . . .	41,3	—	Легко загорается и быстро горит с образованием пористой массы большого объема	950	104,2	Не взрывается	При 150—155° быстрое разделение с желтого дыма без пламени	Порошкообразное, пожароопасное вещество	
21	Диазоль темно-фиолетовый 2К без наполнителя	61,3	—	Горит в контакте с пламенем	Не взрывается			При 170° быстрое разложение	Порошкообразное, пожароопасное в условиях сушки вещество	
	То же	24,26	4,62	Не горит	То же			При 170° разложение	Порошкообразное вещество	
	»	19,68	3,48	То же	»			То же	»	
	с наполнителем (сульфат алюминия) . . .	20,0		»	»			При 290° медленное разложение	»	

№ п/п	Наименование вещества	Концентрация в %	Влажность в %	Чувствительность к открытому пламени	Взрывчатость пыли		Возможность взрыва или воспламенения			Характерные признаки
					темпера- воспла- менения в °C	нижний предел в г/м³	при ударе	при трении	при нагреве	
22	Диазоль синий 2К без наполнителя	63,3	—	Горит в контакте с пламенем	Не взрывается		В 3 опы- тах из 10 отме- чено раз- ложение	—	При 140° раз- ложение	Порошкообразное, пожароопасное в условиях суш- ки вещество, чув- ствительное к удару
	без наполнителя	58,65	—	Горит в контакте с пламенем; при 60° быстрое беспламен- ное разло- жение с выделением большого количества дыма			В 6 опы- тах из 10 осмоле- ние	—	При 122° очень быстрое раз- ложение с вы- делением большого ко- личества бело- го дыма	Порошкообразное, пожароопасное в условиях суш- ки вещество, чув- ствительное к удару

№№ п/п	Наименование вещества	Концентрация в %	Влажность в %	Чувствительность к открытому пламени	Взрывчатость пыли		Возможность взрыва или воспламенения			Характерные признаки
					температура воспламенения в °C	нижний предел в г/м³	при ударе	при трении	при нагреве	
	Без наполнителя; двойная цинковая соль	50	—	Загорается; видимое пламя быстро исчезает и наблюдается беспламенное разложение	Не взрывается		В 4 опытах из 10 отмечено разложение	—	При 1—143° очень быстрое разложение	Порошкообразное, пожароопасное вещество, чувствительное к удару
	с наполнителем (хлористый натрий и сульфат натрия)	30,6	—	Горит в контакте с пламенем	»		В 4 опытах из 10 отмечено разложение	—	То же	То же
	То же	30,4	—	То же	»		—	—	При 140° разложение	Порошкообразное, пожароопасное в условиях сушки вещества
	с наполнителем (сульфат натрия и магния)	30,4	—	»	»		—	—	При 150° обугливание	То же

№ п/п	Наименование вещества	Концентрация в %	Влажность в %	Чувствительность к открытому пламени	Взрывчатость пыли		Возможность взрыва или воспламенения			Характерные признаки	
					темпера-воспла-менения в °C	нижний предел в г/м³	при ударе	при трении	при нагреве		
23	с наполнителем (сульфат натрия и магния) . . .	30,0	—	—	Не взрывается	—	—	—	—	При 150° ос-моление	Порошкообразное, вещество
	Диазоль синий О	70,6	—	Не горит	975	41,6	Не взрывается	—	—	При 170° мед-ленное разло-жение	То же
	То же	56,31	—	Горит в контакте с пламенем	Не взрывается	—	—	—	—	При 138—140° разложение с выделением белого дыма	Порошкообразное, пожароопасное в условиях сушки вещество
	»	51,37	—	То же	»	»	—	—	—	При 140—142° разложение	То же
	»	35,35	—	»	»	»	—	—	—	При 150° раз-ложение	»
»	»	34,71	—	Горит в контакте с пламенем	Не взрывается			—	—	При 142—145° разложение с выделением дыма	»
»	»	34,35	—	В контакте с пламенем осмолается	Не взрывается	—	—	—	—	Разложение; при 300° слабое выделение дыма	Порошкообразное, вещество



№№ п/п	Наименование вещества	Концентрация в %	Влажность в %	Чувствительность к открытому пламени	Взрывчатость пыли		Возможность взрыва или воспламенения			Характерные признаки
					температура воспламенения в °С	нижний предел в г/м³	при ударе	при трении	при нагреве	
24	Диазоль синий 2С без наполнителя	71,73	—	Горит	825	20,8	Не взрывается			Порошкообразное, пожароопасное вещество
	То же	69,3	0,27	Энергично горит в контакте с пламенем	830	20,8	—			Порошкообразное, пожароопасное в условиях сушки вещество
	»	62,5	10,1	То же	Не пылит		Не взрывается			Пожароопасное в условиях сушки вещество
	»	54,9	18,1	Не горит	»		»			Порошкообразное вещество
	с наполнителем (сульфат натрия и цинка)	35,0	2,4	Энергично горит в контакте с пламенем	850	41,6	»			Порошкообразное, пожароопасное в условиях сушки вещество
	То же	34,66	—	Горит в контакте с пламенем	820	20,2	»			То же

№ п/п	Наименование вещества	Концентрация в %	Влажность в %	Чувствительность к открытому пламени	Взрывчатость пыли		Возможность взрыва или воспламенения			Характерные признаки
					температура воспламенения в °С	нижний предел в г/м³	при ударе	при трении	при нагреве	
25	с наполнителем (сульфат натрия и цинка)	26,26	—	Горит в контакте с пламенем	975	83,2	Не взрывается	При 260° медленное разложение с выделением дыма	Порошкообразное, пожароопасное в условиях сушки вещества	
	Диазоль черный К без наполнителя	54,4	20,5	Пулсирующее беспламенное разложение вещества	875	202	»	При 170° вспышка с выбросом вещества из пробирки	Порошкообразное, пожароопасное вещество	
	То же	50,4	28,0	Горит в контакте с пламенем	Не взрывается	Не взрывается	Не взрывается	При 220° разложение	Порошкообразное, пожароопасное в условиях сушки вещества	
26	с наполнителем (сульфат натрия и алюминия)	20,2	0,5	Не горит	875	202	Не взрывается	При 180° разложение	Порошкообразное вещество	
	Диазоль черный Б	69,0	0,30	Беспламенное быстрое разложение	Не взрывается	Взрывается	Взрывается	При 140° вспышка	Порошкообразное, пожароопасное вещество, чувствительное к удару	

№ п/п	Наименование вещества	Концентрация в %	Влажность в %	Чувствительность к открытому пламени	Взрывчатость пыли			Возможность взрыва или воспламенения			Характерные признаки
					температура воспламенения в °С	нижний предел в г/м³	пыли	при ударе	при трении	при нагреве	
27	Диазоль черный Б	22,83	0,24	Беспламенное разложение	850	114,6	Не взрывается	Не взрывается	При 150° быстрое разложение	То же	Порошкообразное, пожароопасное вещество
	То же	16,63	0,20	Медленное разложение							
	Диазоль прочного черного К	31,1	—	Загорается, но горение быстро прекращается							
28	Диазодиметиланилин	83,2	—	Мгновенно воспламеняется и спокойно горит	1075	31,3	Не взрывается	Из 10 опытов 4 неполных взрыва и 6 откзов	Не взрывается	При 150—160° бурное разложение	Порошкообразное, пожароопасное вещество чувствительное к удару

№ п/п	Наименование вещества	Концентрация в %	Влажность в %	Чувствительность к открытому пламени	Взрывчатость пыли		Возможность взрыва или воспламенения			Характерные признаки
					температура воспламенения в °C	нижний предел в г/м³	при ударе	при трении	при нагреве	
29	Диазоль амина дифениламина	50,4	—	Горит в контакте с пламенем	—	—	Из 20 опытов 3 неполных взрыва и 17 отказов	Не взрывается	При 130—135° бурное разложение	Порошкообразное, пожароопасное в условиях сушки вещества, чувствительное к удару
30	Диазоль из аминокислоты азотолуола с серной кислотой	32,17	0,1	То же	975	62,4	—	То же	При 125° бурное разложение с выделением большого количества белого дыма	Порошкообразное, пожароопасное в условиях сушки вещества

# VI. Кислотные красители

№ п/п	Наименование вещества	Зольность в %	Влажность в %	Чувствительность к окислению	Взрывчатость пыли		Возможность взрыва или воспламенения вещества			Характерные признаки
					температура воспламенения в °С	нижний предел в г/м³	при ударе	при трении	при нагреве	
1	Желтый для валки	—	0,34	Горит при 200°	Не взрывается			При 350° разложение		Порошкообразное вещество, пожароопасное в условиях сушки
2	Желтый К . . .	49,6	0,52	Беспламенное разложение при 180°	Не взрывается			То же		То же
3	Желтый ЗКМ	54,66	0,18	То же	Не взрывается			До 360° вспыхивки не произошло		»
4	Желтый 5Р . . .	14,4	0,69	Горит при 100°	925	52,0	Не определялась			»
5	Желтый метаниловый	39,8	1,49	Не горит	Не взрывается			До 360° вспыхивки не произошло		Порошкообразное вещество
6	Желтый метаниловый К . . . .	30,6	5,1	Горит при 200°	975	52,0	Не взрывается			Порошкообразное вещество, пожароопасное в условиях сушки

№ п/п	Наименование вещества	Зольность в %	Влажность в %	Чувствительность к от-крытому пла-мени	Взрывчатость пыли		Возможность взрыва или воспламенения вещества			Характерные признаки
					темпера-тура вос-пламене-ния в °С	нижний предел в г/м³	при ударе	при трении	при нагреве	
7	Желтый прочный	26,6	7,5	Не горит	Не взрывается			До 360° вспых-ки не произо-шло	Порошкообраз-ное вещество	
8	Желтый свето-прочный	45,2	8,5	»	То же			То же	То же	
9	Оранжевый	36,06	0,67	»	»			»	»	
10	Оранжевый КМ	34,8	0,69	Горит без пламени при 160°	»			»	Порошкообраз-ное вещество, пожароопасное в условиях суш-ки	
11	Оранжевый К	48,4	0,22	Горит при 200°	»			»	То же	
12	Оранжевый Н	24,2	0,59	Не горит	»			»	Порошкообраз-ное вещество	
13	Оранжевый 4К для шелка	36,5	0,45	Беспламен-ное разло-жение при 200°	»			При 200° раз-ложение	Порошкообраз-ное вещество, пожароопасное в условиях суш-ки	
14	Оранжевый ДС	—	0,65	Не горит	»			При 270° быс-трое разложе-ние	Порошкообраз-ное вещество	



№ п/п	Наименование вещества	Зольность в %	Влажность в %	Чувствительность к открытому пламени	Взрывчатость пыли		Возможность взрыва или воспламенения вещества			Характерные признаки
					температура воспламенения в °С	нижний предел в г/м³	при ударе	при трении	при нагреве	
15	Оранжевый прочный	23,0	0,43	Не горит	Не взрывается		До 360° вспышки не произошло			Порошкообразное вещество
16	Оранжевый светоч прочный	42,6	0,19	То же	Не взрывается		То же			То же
17	Оранжевый светоч прочный Н	24,2	3,0	»	»		»			»
18	Оранжевый светоч прочный НЗКМ	37	0,43	»	»		»			»
19	Ярко-оранжевый Ж	27,6	0,47	»	»		»			»
20	Алый	48,3	0,51	»	»		»			»
21	Алый 2Ж	—	0,46	»	Не взрывается		До 360° вспышки не произошло			»
22	Алый прочный	49,2	0,80	»	Не взрывается		Не определялась			»
23	Красный	30,0	0,60	Беспламенное разложение при 180°	Не взрывается		При 350° разложение			Порошкообразное вещество, пожароопасное в условиях сушки

№ п/п	Наименование вещества	Зольность в %	Влажность в %	Чувствитель- ность к от- крытому пла- мени	Взрывчатость пыли		Возможность взрыва или воспламенения вещества			Характерные признаки
					темпера- тура вос- пламене- ния в °С	нижний предел в г/м³	при ударе	при трении	при нагреве	
24	Красный ЕЖ	65,0	0,57	Не горит	Не взрывается					Порошкообраз- ное вещество
25	Красный Н	56,2	0,14	То же	То же					То же
26	Красный 2С	43,3	0,10	»	Не взрывается					»
27	Красный 4С	40,9	0,14	Не горит	Не взрывается					»
28	Красный прочный	42,0	0,10	Горит при 150°	То же					Порошкообраз- ное вещество, пожароопасное в условиях суш- ки
29	Ярко-красный образец 1	43,8	0,21	Не горит	»					Порошкообраз- ное вещество
	образец 2	—	0,54	Горит при 180°	Не взрывается					Порошкообраз- ное вещество, пожароопасное в условиях суш- ки

№ п/п	Наименование вещества	Зольность в %	Влажность в %	Чувствительность к от-крытому пла-мени	Взрывчатость пыли		Возможность взрыва или воспламенения вещества			Характерные признаки
					темпера-тура вос-пламене-ния в °С	нижний предел в г/м <sup>3</sup>	при ударе	при трении	при нагреве	
	образец 3 . . .	28,2	0,20	Тлеет	Не взрывается					Порошкообраз-ное, пожароопас-ное вещество
30	Ярко-красный Ж	30,6	0,65	Беспламен-ное разл. при 100°	То же					Порошкообразное, пожароопасное в условиях сушки вещество
31	Розовый М . . .	48,16	0,43	Не горит	»					Порошкообраз-ное вещество
32	Рубиновый . . .	43,9	0,73	Горит при 100° без пламени	»					Порошкообраз-ное вещество, пожароопасное в условиях суш-ки
33	Бордо . . . . .	17,5	0,41	Не горит	»					Порошкообраз-ное вещество
34	Бордо 4С . . . .	40,2	0,10	»	»					То же
35	Фиолетовый 2КМ для кожи . . . .	22,51	0,35	»	»					»
36	Синий . . . . .	38,0	7,4	»	»					»

№ п/п	Наименование вещества	Сольность в %	Влажность в %	Чувствительность к огню при закрытом люке	Взрывчатость пыли		Возможность взрыва или воспламенения вещества			Характерные признаки
					температура воспламенения в °С	нижний предел в г/м <sup>3</sup>	при ударе	при трении	при нагреве	
37	Синий 23 . . . .	35,5	0,17	Тлеет	Не взрывается		До 360° вспышки не произошло			Порошкообразное, пожароопасное вещество
38	Синий 3М . . . .	47,8	0,05	Беспламенное разложение при 160—170°	1010	83,2	Не взрывается			Порошкообразное вещество, пожароопасное, в условиях сушки
39	Синий 23М . . . .	—	0,39	Не горит	Не взрывается		»			Порошкообразное вещество
40	Синий К . . . .	40,1	5,7	»	То же		»			То же
41	Синий 2К . . . .	33,4	0,11	»	»		При 200° выделение паров			»
42	Синий антрахиновый . . . .	—	0,51	»	Не взрывается		»			»
43	Темно-синий М для шубной овчины . . . .	59,7	0,24	»	Не взрывается		При 320° очень мелкое разложение			»

№ п/п	Наименование вещества	Содержание в %	Влажность в %	Чувствительность к огню при закрытом люке	Взрывчатость пыли		Возможность взрыва или воспламенения вещества			Характерные признаки
					температура воспламенения в °С	нижний предел в г/м <sup>3</sup>	при ударе	при трении	при нагреве	
44	Темно-синий . . . .	23,6	3,08	Не горит	Не взрывается		До 360° вспыхивают не произошло			Порошкообразное вещество
45	Темно-синий 23	25,0	0,28	Разложение при 200°	То же		Быстрое разложение при 300°			Порошкообразное вещество, пожароопасное в условиях сушки
46	Темно-синий 23	20,0	0,31	Не горит	»		При 325° быстрое разложение			Порошкообразное вещество
47	Ярко-синий КМ для шубной овчины . . . .	—	0,56	То же	»		До 360° вспыхивают не произошло			То же
48	Голубой . . . .	40,8	2,0	»	»		Не взрывается			»
49	Темно-голубой . . . .	—	0,24	»	990	156,0	Не определялась			»
50	Зеленый ЖМ . . . .	38,0	0,31	»	Не взрывается		Не взрывается			»
51	Зеленый ЗЖ . . . .	29,8	0,56	»	То же		»			»

№ п/п	Наименование вещества	Зольность в %	Влажность в %	Чувствитель- ность к ог- нестойкому пла- мени	Взрывчатость пыли		Возможность взрыва или воспламенения вещества		Характерные признаки	
					темпера- тура воспламене- ния в °С	нижний предел в г/м³	при ударе	при трении		при нагреве
52	Зеленый антрахи- иновый	—	0,32	Не горит	525	10,4	Не взрывается		Порошкообраз- ное вещество	
53	Оливковый без наполнителя	—	0,41	Горит без пламени			Не взрывается		Не определя- лась	Порошкообраз- ное, пожароопас- ное вещество
	с наполнителем (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	—	0,34	Не горит			»		При 310° раз- ложение	Порошкообраз- ное вещество
54	Оливковый М с сульфатом ам- мония	—	0,45	То же	Не взрывается		Не определя- лась		То же	
55	Коричневый ЖМ	63,1	0,53	При 60° бес- пламенное разложение	То же		При 320° раз- ложение		Порошкообраз- ное вещество, пожароопасное в условиях суш- ки	
56	Коричневый К образец I	31,5	1,01	Не горит	»		При 270° бур- ное разложе- ние		Порошкообраз- ное вещество	



№ п/п	Наименование вещества	Зольность в %	Влажность в %	Чувствительность к откорму пламени	Взрывчатость пыли		Возможность взрыва или воспламенения вещества			Характерные признаки
					температура воспламенения в °С	нижний предел в г/м <sup>3</sup>	при ударе	при трении	при нагреве	
	образец 2 . . .	22,6	0,14	Горит при 60°	Не взрывается			При 280° вспышка без пламени	Порошкообразное вещество, пожароопасное в условиях сушки	
	образец 3 . . .	—	0,20	Горит при 100°	То же			При 270° быстрое разложение	То же	
	образец 4 . . .	—	0,84	То же	»			При 220° быстрое разложение	»	
57	Коричневый КМ	38,0	0,35	Беспламенное разложение	»			До 360° вспышки не произошло	Порошкообразное, пожароопасное вещество	
58	Коричневый Н2КМ (смесь двух красителей)	29,9 34,3	0,33 0,35	Разложение при 220°	»			Не взрывается	Порошкообразное вещество, пожароопасное в условиях сушки	
59	Темно-коричневый . . .	57,1	0,27	Горит без пламени при 100°	»				То же	

№ п/п	Наименование вещества	Зольность в %	Влажность в %	Чувствительность к отк-крытому пламени	Взрывчатость пыли		Возможность взрыва или воспламенения вещества		Характерные признаки
					температура воспламенения в °С	нижний предел в г/м <sup>3</sup>	при ударе	при трении	
60	Темно-коричневый М без наполнителя . .	—	0,39	Беспламенное разложение при 150°	725	20,8	Не взрывается	При 280° разложение	Порошкообразное вещество, пожароопасное в условиях сушки
61	Темно-коричневый М с наполнителем . .	—	0,21	При 200° тление	Не взрывается		При 285° вспышка		То же
62	Коричневый для кожи ЗК . .	58,9	7,45	Не горит	То же		До 360° вспышки не произошло	Порошкообразное вещество	
63	Серый НСМ . .	40,0	0,20	»	»		Не взрывается		То же
64	Сине-черный . .	37,44	2,06	»	»		То же		»
65	Сине-черный антрахиноновый	—	0,28	»	»		»		»
66	Черный М . .	44,5	1,32	»	»		До 360° вспышки не произошло		»

№ п/п	Наименование вещества	Зольность в %	Влажность в %	Чувствительность к открытому пламени	Взрывчатость пыли		Возможность взрыва или воспламенения вещества			Характерные признаки
					температура воспламенения в °С	нижний предел в г/м <sup>3</sup>	при ударе	при трении	при нагреве	
67	Черный С . . .	28,58	1,52	Не горит	Не взрывается	Не взрывается	Не взрывается	Не взрывается	Порошкообразное вещество	
68	Черный для чернил . . . . .	50,7	0,09	Горит при 200°	»	»	Не взрывается	Не определялась	Порошкообразное вещество, пожароопасное в условиях сушки	

## Кислотные легкосмываемые красители

1	Ярко-фиолетовый	58,3	0,36	Не горит	Не взрывается	Не взрывается	Не взрывается	Порошкообразное вещество	То же	
2	Сиреневый . . .	54,72	0,68	»	»	»	»	»	»	
3	Голубой . . . . .	47,5	0,29	Тлеет при 80—100°	»	»	»	При 340° быстрое разложение	Порошкообразное вещество, пожароопасное в условиях сушки	

# VII. Протравные красители для шерсти

№ п/п	Наименование вещества	Зольность в %	Влажность в %	Чувствительность к открытому пламени	Взрывчатость пыли		Возможность взрыва или воспламенения вещества			Характерные признаки
					темпер. воспл. в °С	нижний предел в г/м³	при ударе	при трении	при нагреве	
1	Хром желтый З . . .	37,3	0,22	Разложение при 200°	925	31,2	Не взрывается	При 360° разложение	Порошкообразное вещество, пожароопасное в условиях сушки	
2	Хром желтый 2К	—	0,68	Не горит				То же	До 360° вспышки не произошло	Порошкообразное вещество
3	Хром желтый Н образец 1 . . .	12,0	—	Горит без пламени				»	Не взрывается	Порошкообразное пожароопасное вещество
	образец 2 . . .	12,0	0,56	Не горит				»	При 360° разложение	Порошкообразное вещество
4	Хром желтый НК	—	0,40	»				»	До 360° вспышки не произошло	То же
5	Однохроморанжевый 3К	16,3	0,11	Сгорает при 200°	925	31,2	Не взрывается	При 280° разложение	Порошкообразное вещество, пожароопасное в условиях сушки	

№ п/п	Наименование вещества	Сольность в %	Влажность в %	Чувствительность к открытому пламени	Взрывчатость пыли		Возможность взрыва или воспламенения вещества			Характерные признаки
					темпер. воспл. в °C	нижний предел в г/м³	при ударе	при трении	при нагреве	
6	Хром оранжевый	—	0,44	Беспламенное разложение при 120°	Не взрывается		До 360° вспышки не произошло			Порошкообразное вещество, пожароопасное в условиях сушки
7	Хром 5К . . . . .	6,0	0,46	Горит при 180°	То же		При 280° разложение			То же
8	Красный ализариновый . . . . .	—	0,63	Не горит	»		То же			Порошкообразное вещество
9	Однохромкрасный 4Ж . . . . .	18,0	—	Тление	»		При 300° быстрое разложение			Порошкообразное пожароопасное вещество
10	Хром красный . . . . .	22,8	0,08	Горит при 120°	920	41,6	Не взрывается			Пожароопасное в условиях сушки вещество
11	Хром красный 2Ж . . . . .	44,0	0,90	Не горит	Не взрывается		Не определялась			Порошкообразное вещество
12	Хромный ярко-красный . . . . .	40,0	0,71	»	»		»			То же

№ п/п	Наименование вещества	Зольность в %	Влажность в %	Чувствительность к открытому пламени	Взрывчатость пыли		Возможность взрыва или воспламенения вещества			Характерные признаки
					темпер. воспл. в °С	нижний предел в г/м³	при ударе	при трении	при нагреве	
13	Хром ярко-красный 2С . . . .	45,0	0,50	Не горит	Не взрывается	То же	Не взрывается	При 360° разложение	Порошкообразное вещество	
14	Хром рубиновый Ж . . . . .	48,6	0,40	»				Не взрывается	То же	
15	Хром рубиновый С . . . . .	49,2	0,41	При 80° медленное тление				»	Порошкообразное вещество, пожароопасное в условиях сушки	
16	Однохром бордо С . . . . .	29,3	0,25	Беспламенное разложение при 120°	»	»	При 300° медленное разложение	То же		
17	Хром бордо Н	25,0	0,41	Беспламенное разложение при 100°			»	При 340° мгновенное разложение с разбрасыванием искр	»	
18	Хром бордо С образец 1 . . . .	39,1	0,71	Не горит	825	10,4	Не взрывается	Порошкообразное вещество		



№ п/п	Наименование вещества	Зольность в %	Влажность в %	Чувствительность к открытому пламени	Взрывчатость пыли		Возможность взрыва или воспламенения вещества			Характерные признаки
					темпер. воспл. в °С	нижний предел в г/м³	при ударе	при трении	при нагреве	
19	образец 2 . . . Однохром красновато-фиолетовый . . .	— 34,58	0,14 0,75	Не горит То же	Не взрывается		То же	При 350° разложение	Не взрывается	Порошкообразное вещество То же
20	Хром красновато-фиолетовый . . .	29,5	0,14	Разложение при 160°						
21	Хром фиолетовый К . . . . .	40,2	0,31	При 100° беспламенное горение	»		»	»	»	То же
22	Хром фиолетовый 2К . . . . .	29,0	0,42	Не горит						
23	Однохром синий 3	12,2	0,33	Горит при 200°	»		»	При 310° бурное разложение	До 360° вспышки не произошло	Порошкообразное вещество, пожароопасное в условиях сушки
24	Хром синий К	62,1	0,47	Не горит						

№ п/п	Наименование вещества	Зольность в %	Влажность в %	Чувствительность к открытому пламени	Взрывчатость пыли		Возможность взрыва или воспламенения вещества			Характерные признаки
					темпер. восп. в °C	нижний предел в г/м <sup>3</sup>	при ударе	при трении	при нагреве	
25	Хром синий 2К	28,6	0,70	Не горит	Не взрывается		Не определяется			Порошкообразное вещество
26	Хром темно-синий	35,47	0,15	То же	1025	156	Не взрывается			То же
27	Хром темно-синий (с сульфатом натрия) . . . .	51,6	0,22	»	Не взрывается		До 360° вспышки не произошло			»
28	Хром темно-синий 3К . . . . .	—	0,65	При 180° беспламенное разложение	То же		При 350° разложение			Порошкообразное вещество, пожароопасное в условиях сушки
29	Хром темно-синий 3К . . . . .	—	0,65	При 180° беспламенное разложение	»		То же			То же
30	Однохром зеленый С . . . . .	71,2	0,33	Разложение при 175°	»		При 270° бурное разложение			»
31	Хром зеленый Ж	40,6	0,56	Не горит	Не взрывается		Не определяется			Порошкообразное вещество

№ п/п	Наименование вещества	Зольность в %	Влажность в %	Чувствительность к открытому пламени	Взрывчатость пыли		Возможность взрыва или воспламенения вещества			Характерные признаки
					темпер. воспл. в °С	нижний предел в г/м³	при ударе	при трении	при нагреве	
32	Хром темно-зеленый СТ без сульфата . .	34,9	1,25	Не горит	Не взрывается			При 310° вспышка (без пламени)	Порошкообразное вещество.	
	смесь из $\frac{1}{3}$ сульфата натрия и $\frac{2}{3}$ красителя	69,5	0,55	То же	То же			До 360° не воспламеняется	То же	
	смесь из $\frac{1}{5}$ сульфата натрия и $\frac{4}{5}$ красителя	61,4	0,44	»	»			При 310° вспышка (без пламени)	»	
33	Хром темно-зеленый Ж . . . .	68,8	0,51	При 180° беспламенное разложение	»			При 305° разложение	Порошкообразное вещество, пожароопасное в условиях сушки	
34	Однхром оливковый Ж без наполнителя	—	0,15	Беспламен. горение с разбрасыванием искр	»			При 280° мгновенное разложение	Порошкообразное пожароопасное вещество	

№ п/п	Наименование вещества	Зольность в %	Влажность в %	Чувствительность к открытому пламени	Взрывчатость пыли		Возможность взрыва или воспламенения вещества			Характерные признаки
					темпер. воспл. в °С	нижний предел в г/м³	при ударе	при трении	при нагреве	
35	без сульфата	6,1	0,45	Горит	875	156	Не взрывается	При 275° вспышка с выбросом пучка искр	Порошкообразное, пожароопасное вещество	
	с наполнителем	36,04	0,1	Не горит	Не взрывается		При 250° бурное разложение	Порошкообразное вещество		
	с 33% сульфата натрия	63,1	0,53	Горит	1075	156	Не взрывается	При 280° вспышка	Порошкообразное пожароопасное вещество	
	с 65% сульфата натрия	65,0	1,0	Не горит	Не взрывается		Не определялась		Порошкообразное вещество	
	с сульфатом аммония	—	—	Горит при 180°	Не взрывается		При 360° медленное разложение		Порошкообразное, пожароопасное в условиях сушки вещество	
	Однохром оловяный 2С	23,4	0,11	При 200° горит без пламени	Не взрывается		Не определялась			То же

№ п/п	Наименование вещества	Зольность в %	Влажность в %	Чувствительность к открытому пламени	Взрывчатость пыли		Возможность взрыва или воспламенения вещества			Характерные признаки
					темпер. воспл. в °С	нижний предел в г/м³	при ударе	при трении	при нагреве	
36	Однохром коричневый 3 без наполнителя	12	0,79	Горит	Не взрывается		При 290° вспышка с пламенем и слабым звуком			Порошкообразное, пожароопасное вещество
	на 100 г пасты-красителя 8 г $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	20,5	0,87	Не горит	То же		При 265° бурное разложение			Порошкообразное рещество
	на 100 г пасты-красителя 15 г $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	27,66	0,34	То же	»		При 265° медленное разложение			То же
	на 100 г пасты-красителя 32 г $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	41,84	2,0	»	»		То же			»
37	Хром коричневый Ж	61,9	0,66	»	»		Не взрывается			»

№ п/п	Наименование вещества	Зольность в %	Влажность в %	Чувствительность к открытому пламени	Взрывчатость пыли		Возможность взрыва или воспламенения вещества			Характерные признаки
					темпер. воспл. в °С	нижний предел воспл. в г/м <sup>3</sup>	при ударе	при трении	при нагреве	
38	Хром коричневый К без сульфата	36,8	0,11	Горит	Не взрывается					Порошкообразное, пожароопасное вещество
	с сульфатом натрия	55,2	0,13	»						Порошкообразное, пожароопасное вещество
	с сульфатом аммония 200 г пасты и 40 г (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	—	0,35	Не горит	»					Порошкообразное вещество
	с сульфатом аммония 200 г пасты и 60 г (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	—	0,26	»	»		То же			То же



п/п №№	Наименование вещества	Зольность в %	Влажность в %	Чувствительность к открытому пламени	Взрывчатость пыли		Возможность взрыва или воспламенения вещества			Характерные признаки
					темпер. воспл. в °С	нижний предел в г/м³	при ударе	при трении	при нагреве	
39	Хром коричневый К образец 1 . . .	31,2	0,28	Горит без пламени при 100°	Не взрывается	Не взрывается	Не определяется	Не определяется	Порошкообразное вещество, пожароопасное в условиях сушки	То же
	образец 2 . . .	39,4	0,09	Горит при 150°						
	образец 3 . . .	37,1	0,09	Горит при 180°						
	образец 4 . . .	35,6	0,31	Горит при 200°						
	образец 5 . . .	34,3	0,54	То же						
40	Хром коричневый К . . . . .	—	—	При 100° беспламенное разложение	»	»	»	»	»	»
	Хром коричневый К с наполнителем образец 1 . . .	—	4,8	Беспламенное разложение	»	»	»	»	При 290° быстрое разложение с выбрасыванием искр	Порошкообразное, пожароопасное вещество
41	образец 2 . . .	—	7,5	То же	»	»	»	»	То же	То же

№ п/п	Наименование вещества	Зольность в %	Влажность в %	Чувствительность к открытому пламени	Взрывчатость пыли		Возможность взрыва или воспламенения вещества			Характерные признаки
					темпер. воспл. в °С	нижний предел в г/м³	при ударе	при трении	при нагреве	
42	Хром коричневый К с наполнителем $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ . . . . .	31	0,39	Беспламенное разложение при 200°			Не взрывается		Разложение при 300°	Порошкообразное вещество, пожароопасное в условиях сушки
43	Хром коричневый К без наполнителя . . . . .	20	0,66	Быстрое беспламенное разложение с выделением дыма			То же		При 280° вспышка без видимого пламени	Порошкообразное, пожароопасное вещество
44	Хром коричневый ЗК . . . . .	35,6	0,10	Быстрое беспламенное разложение			»		Не взрывается	То же
45	Хром коричневый О . . . . .	35,96	0,51	Горит без пламени			Не взрывается		Не определялась	»
46	Однохром черный З с наполнителем $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ . . . . .	47,5	1,7	Не горит			Не взрывается		До 360° вспышки не произошло	Порошкообразное вещество

№ п/п	Наименование вещества	Зольность в %	Влажность в %	Чувствительность к открытому пламени	Взрывчатость пыли		Возможность взрыва или воспламенения вещества			Характерные признаки
					темпер. воспл. в °C	нижний предел в г/м <sup>3</sup>	при ударе	при трении	при нагреве	
	без наполнителя	29,8	2,5	Горит	Не взрывается		При 290° вспышка без пламени			Порошкообразное, пожароопасное вещество
47	Хром сине-черный К . . . . .	21,5	0,24	Не горит	Не взрывается		Не определялась			Порошкообразное вещество
48	Хром сине-черный	58,4	2,72	То же	Не взрывается		При 270° быстрое разложение			Порошкообразное вещество
49	Хром черный . . .	—	0,58	»	То же		До 360° вспышки не произошло			Порошкообразное вещество
50	Хром черный Б с наполнителем	—	0,26	Беспламенное разложение при 180°	»		При 330° разложение			Порошкообразное вещество, пожароопасное в условиях сушки
51	Хром черный Б	—	0,43	То же	»		При 340° разложение			То же

№ № п/п	Наименование вещества	Зольность в %	Влажность в %	Чувствительность к открытому пламени	Взрывчатость пыли		Возможность взрыва или воспламенения вещества			Характерные признаки
					темпер. воспл. в °С	нижний предел в г/м³	при ударе	при трении	при нагреве	
52	Хром черный О	47,2	1,9	Не горит	Не взрывается	Не взрывается	Не взрывается	При 295° вспышка с выбрасыванием искр	Порошкообразное вещество	
53	Хром черный С образец 1 . . .	37,06	0,25	Горит	875	41,6	Не взрывается	При 260° вспышка	Порошкообразное, пожароопасное вещество	
	образец 2 . . .	56,5	0,07	Горит	Не взрывается	Не взрывается	При 260° вспышка без пламени	Порошкообразное, пожароопасное вещество		
54	Хром черный, специальный . . .	24,95	0,31	Не горит	То же	То же	Не воспламеняется	Порошкообразное вещество		

VIII. Красители для ацетатного шелка

№№ п/п	Наименование вещества	Зольность в %	Вязкость в %	Чувствительность к открытому пламени	Взрывчатость пыли		Возможность взрыва или воспламенения вещества			Характерные признаки
					температура воспламенения в °C	нижний предел в г/м³	при ударе	при трении	при нагреве	
1	Целлитон желтый прочный высушенный . . .	—	0,06	Не горит	925	20,8	Не взрывается	При 295° бурное разложение	Порошкообразное вещество	
2	Желтый прочный 2Р . . . . .	—	—	»	925	31,2	»	До 360° вспыхивают не произошло	То же	»
					925	20,8	—	—	»	
					990	104,1	Не взрывается	При 360° разложение	Порошкообразное пожароопасное в условиях сушки вещество	
3	Оранжевый . . .	—	Следы	Горит при 150°	Не взрывается	Не взрывается	Не взрывается	То же	»	»
4	Оранжевый с антрахиноном (смесь) . . . .	—	»	Горит при 200° То же						
5	Оранжевый 2К . . .	24,45	0,57	»	675	10,4	Не взрывается	Не взрывается	Порошкообразное вещество	
6	Целлитон оранжевый 5Р . . . .	0,7	0,20	Не горит	775	10,4	»	То же	То же	»
7	Целлитон алый Б без наполнителя с наполнителем	—	0,17	»	875	31,2	»	»	»	»

№ п/п	Наименование вещества	Зольность в %	Влажность в %	Чувствительность к открытому пламени	Взрывчатость пыли		Возможность взрыва или воспламенения вещества			Характерные признаки
					температура воспламенения в °С	нижний предел в г/м³	при ударе	при трении	при нагреве	
8	Рубиновый С . . .	1,0	0,34	Горит при 100°	875	83,2	Не определялась			Порошкообразное, пожароопасное в условиях сушки вещество
9	Рубиновый Б . . .	2,2	0,22	Горит	825	10,2	При 300° разложение			Порошкообразное пожароопасное вещество
10	Бордо С . . . . .	—	Следы	Горит при 150°	290	41,6	»			Порошкообразное, пожароопасное в условиях сушки вещество
11	Бордо 2С . . . . .	Следы	0,13	Горит	750	20,8	»			Порошкообразное пожароопасное вещество
12	Фиолетовый 4К образец 1 . . . . .	29,33	0,39	При 80° беспламенное разложение	870	20,8	»			Порошкообразное, пожароопасное в условиях сушки вещество
	образец 2 . . . . .	28,07	0,25	Горит при 160—165°	870	41,6	»			То же
13	Фиолетовый 2С . . . . .	—	Следы	Разложение при 150°	Не взрывается		»			»
14	Синий К . . . . .	5,5	0,82	Не горит	Не взрывается		Не определялась			Порошкообразное вещество



№ п/п	Наименование вещества	Зольность в %	Влажность в %	Чувствительность к открытому пламени	Взрывчатость пыли		Возможность взрыва или воспламенения вещества			Характерные признаки
					температура воспламенения °С	нижний предел в г/м³	при ударе	при трении	при нагреве	
15	Диазосиний 3 . . .	27	0,23	Не горит	890	26,0	Не взрывается	При 310° медленное разложение	Порошкообразное вещество	
16	Красно-коричневый образец 1 . . .	41,4	3,68	»	Не взрывается		Не определяется		То же	
	образец 2 . . .	1,5	0,75	»	То же		То же		»	
17	Коричневый . . .	—	—	Горит при 130°	Не определяется	Не определяется	При 270° бурное разложение	Порошкообразное, пожароопасное в условиях сушки вещество		
18	Целлитон коричневый . . . . .	24,7	5	Не горит	Не взрывается		Не определяется		Порошкообразное вещество	
19	Диазочерный образец 1 . . .	23	0,25	Горит при 100°	930	104,0	Не взрывается	При 300° мгновенное разложение	Порошкообразное, пожароопасное в условиях сушки вещество	
	образец 2 . . .	4,4	0,52	Горит	875	10,4	То же	При 300° осмоление	Порошкообразное, пожароопасное, пожароопасное в условиях сушки вещество	
20	Черный . . . . .	—	Следы	Горит при 150°	Не взрывается			При 150° разложение	Порошкообразное, пожароопасное в условиях сушки вещество	
21	Черный для капрона	—	»	То же	990	156,0	Не взрывается	При 360° разложение	То же	

IX. Спирторастворимые красители

№№ п/п	Наименование вещества	Зольность в %	Влажность в %	Чувствительность к открытому пламени	Взрывчатость пыли		Возможность взрыва или воспламенения вещества			Характерные признаки
					температура воспламенения в °C	нижний предел в г/м <sup>3</sup>	при ударе	при трении	при нагреве	
1	Яркокрасный С.	11,3	0,27	Горит при 200°	850	20,8	Не взрывается			Порошкообразное, пожароопасное в условиях сушки вещество
2	Бордо С . . . .	62,7	0,39	Тлеет	990	31,2	Не взрывается			Порошкообразное, пожароопасное вещество
3	Бордо К . . . .	40,0	0,68	»	Не взрывается		»			То же
4	Рубиновый . . .	14,3	0,33	Не горит	890	26,0	»			Порошкообразное вещество

# Х. Лаки, лаковые красители и пигменты

№ п/п	Наименование вещества	Зольность в %	Вязкость в %	Чувстви- тельность к открыто- му пламени	Взрывчатость пыли		Возможность взрыва или воспламенения вещества			Характерные признаки
					темпера- тура вос- пламене- ния в °С	нижний предел в г/м³	при ударе	при трении	при нагреве	
1	Лак нафтоловый желтый . . . . .	61,8	0,54	Горит при 100°	Не взрывается	Не взрывается	Не определялась			Порошкообраз- ное пожароопас- ное в условиях сушки вещество Порошкообразное, пожароопасное вещество Порошкообраз- ное вещество То же
2	Лак оранжевый	—	0,35	Тлеет			Не взрывается			
3	Лак алый С . . . . .	63,2	4,6	Не горит			То же			
4	Лак красный Б без наполнителя	22,1	0,43	»			31,2	Не определялась		
	субстрактный № 1 . . . . .		0,47	»	975		Не взрывается	»	»	
	№ 2 . . . . .	66,0	0,39	»			То же	»	»	
5	Лак красный СБ прозрачный . . . . .	—	0,18	Горит при 90°	950	5,2	Не взрывается	При 305° быстрое разложение	Порошкообраз- ное пожароопас- ное в условиях сушки вещество То же	
6	Лак красный СБК	—	0,33	То же	950	31,2	Не взрывается	Не взрывается		
7	Лак рубиновый ЖК . . . . .	—	0,20	Тлеет	870	51,2	То же	То же	Порошкообразное, пожароопасное вещество То же	
8	Лак рубиновый СК . . . . .		0,24	»	910	31,5	»	»		

№ п/п	Наименование вещества	Зольность в %	Влажность в %	чувстви- тельность к открыто- му пламени	Взрывчатость пыли		Возможность взрыва или воспламенения вещества			Характерные признаки
					темпера- тура воспламе- ния в °С	нижний предел в г/м³	при ударе	при трении	при нагреве	
9	Лак бордо ЖКБ	18,1	0,85	Горит	925	10,4	Не определялась			Порошкообразное, пожароопасное вещество
10	с натриевой солью . . . . .	33,5	0,36	Не горит	1075	83,2	»			Порошкообраз- ное вещество
11	Лак бордо ЖМ	9,5	2,54	»	1025	10,4	Не взрывается			То же
12	Лаковый алый С	48,0	0,62	»	Не взрывается		»			»
13	Пигмент желтый Ж . . . . .	0,045	0,01	»	1025	20,8	Не определялась			»
14	Пигмент желтый светопрочный образец 1 . . . . .	0,14	0,02	Горит при 100°	875	10,4	»			Порошкообраз- ное пожароопас- ное в условиях сушки вещество
	образец 2 . . . . .	—	Следы	Горит при 150°	970	31,2	Не взрывается			То же
15	Пигмент оранже- вый . . . . .	—	»	Разложение при 200°	Не взрывается	»	Не определя- лась			»
	Пигмент orange- вый 2Ж . . . . .	—	0,42	Горит	890	10,4	»			Порошкообразное, пожароопасное вещество

№ п/п	Наименование вещества	Зольность в %	Влажность в %	Чувствительность к открытому пламени	Взрывчатость пыли		Возможность взрыва или воспламенения вещества			Характерные признаки
					температура воспламенения в °C	нижний предел в г/м <sup>3</sup>	при ударе	при трении	при нагреве	
16	Пигмент оранжевый прочный без наполнителя	0,65	0,01	Горит	950	52	Не определялась			Порошкообразное пожароопасное вещество
	субстрактный	25,2	1,25	Не горит	975	104	*			Порошкообразное вещество
	паста . . . .	—	—	»	910	7,8	Не взрывается			То же
17	Пигмент алый	—	Следы	Горит при 150°	990	62,4	»			Порошкообразное пожароопасное в условиях сушки вещество
	Пигмент алый 2С . . . .	—	»	Не горит	Не взрывается		При 340° бурное разложение При 305° быстрое разложение			Порошкообразное вещество
18	Пигмент алый 2С . . . .	—	»	Не горит	Не взрывается		»			Порошкообразное вещество
19	Пигмент красный для резины образец 1 . . . .	—	0,31	Горит при 70°	700	20,4	»			Порошкообразное пожароопасное в условиях сушки вещество
	образец 2 . . . .	—	0,18	То же	700	20,4	»			То же
20	Пигмент красный Ж . . . .	18,82	0,12	»	950	15,6	Не определялась			»

№ п/п	Наименование вещества	Зольность в %	Влажность в %	Чувствительность к открытому пламени	Взрывчатость пыли		Возможность взрыва или воспламенения вещества			Характерные признаки
					температура воспламенения в °С	нижний предел в г/м³	при ударе	при трении	при нагреве	
21	Пигмент бордо 2С	—	Следы	Горит при 200°	990	62,4	Не взрывается	При 290° бурное разложение	Порошкообразное пожароопасное в условиях сушки вещество	
22	без диспергатора . . . . .	—	»	Не определялась	850	5,2	Не определялась		Порошкообразное вещество	
	Пигмент фиолетовый 184 . . . .	—	»	Не определялась	830	20,8	То же		То же	
23	Пигмент синий К	6,6	0,34	Горит при 150°	1025	20,8	»		Порошкообразное пожароопасное в условиях сушки вещество	
24	Пигмент синий антрахиноновый	—	Следы	Тлеет	950	10,4	Не взрывается		Порошкообразное, пожароопасное вещество	
25	Пигмент голубой фталоцианиновый образец 1 . . . .	26,0	0,36	Не горит	925	10,4	То же		Порошкообразное вещество	
	образец 2 . . . .	—	Следы	Медленное тление	970	10,4	»		Порошкообразное пожароопасное вещество	



№ п/п	Наименование вещества	Зольность в %	Влажность в %	Чувствительность к открытому пламени	Взрывчатость пыли		Возможность взрыва или воспламенения вещества			Характерные признаки
					температура воспламенения в °C	нижний предел в г/м <sup>3</sup>	при ударе	при трении	при нагреве	
26	Пигмент зеленый образец 1 . . . .	—	0,26	Горит	910	15,6	Не взрывается	При 300° бурное разложение	Порошкообразное пожароопасное вещество	
27	Пигмент зеленый фталоцианиновый . . . .	—	Следы	Разложение при 150°	970	41,6	»	Не определялась	Порошкообразное вещество, пожароопасное в условиях сушки	
28	Пигмент коричневый . . . . .	—	0,38	Не горит	Не взрывается	Не взрывается	Не определяется	Не определяется	Порошкообразное вещество	
29	Пигмент коричневый 208 . . . .	—	Следы	Горит при 200°	1010	208,0	Не взрывается	При 350° разложение	Порошкообразное пожароопасное в условиях сушки вещество	
30	Пигмент черный для нитролаков	18,8	0,35	Не определялась Горит при 200°	950	62,4	Не взрывается	Не определяется	Порошкообразное вещество	

Примечание: данные, приведенные в таблицах, получены следующим образом: чувствительность к пламени определялась поджиганием газовым пламенем; чувствительность к удару — по ГОСТу 4545—48 и 2065—43, к трению — в фарфоровой ступке; к нагреву — по методике определения температуры вспышки ВВ и взрывчатости пыли — в трубке Уиллера.

# ПРЕДЕЛЫ ВЗРЫВАЕМОСТИ НЕКОТОРЫХ СМЕСЕЙ ТЕХНИЧЕСКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ С КИСЛОРОДОМ

*Розловский А. И., Ройзен И. С., Середина Н. П., Сущев П. Г.*

## Изучение самовоспламенения и искрового поджигания при определении взрывоопасности газовых смесей

Методы получения спиртов, альдегидов и органических кислот в качестве продуктов неполного окисления нефтяных углеводородов путем конверсии богатых кислородом смесей разрабатываются давно. Повышение концентрации кислорода способствует интенсификации процесса, однако с ростом содержания кислорода увеличивается возможность воспламенения таких смесей, угрожающая разрушением установки. В настоящем исследовании, выполненном по заданию Научно-исследовательского института синтетических спиртов, определены пределы безопасного окисления кислородом смесей технических пропана, пропилена и бутана.

При проектировании цехов окисления углеводородов кислородом должны быть известны границы взрываемости, так как определенная концентрация кислорода в конвертируемых рабочих смесях делает их взрывчатыми. При этом необходимо обеспечить достаточный запас надежности в связи с возможностью нарушений технологического режима. Необходимо также применять контрольные и регулирующие приборы, которые автоматически отмечают повышение концентрации кислорода сверх заданной величины и отключают его подачу.

Поджигание смеси может произойти вследствие ее самовоспламенения в зонах локального перегрева или при возникновении электрических искр, образующихся из-за неисправности электроподогревающего устройства, а также в результате разрядов статического электричества. Независимо от того, насколько реальна опасность самовоспламенения, мы считаем определение критических условий поджигания электрическими искрами основным мероприятием по технике безопасности.

Критические условия самовоспламенения даже при чисто тепловом процессе не являются физико-химической константой вещества, а зависят (кроме давления, температуры и состава) еще от размеров и формы реактора, в котором происходит воспламенение. При цепном самовоспламенении активные центры рекомбинируют и в большинстве случаев зарождаются на твердой поверхности<sup>1</sup>, т. е. на стенках реактора. Поэтому критические условия могут зависеть также от материала и состояния поверхности стенок реактора.

В случае образования более или менее устойчивых промежуточных продуктов или радикалов, способных к сравнительно длительному существованию, становится возможным их накопление в реагирующей смеси и автоускорение реакции по чисто цепному механизму. Реакция протекает в условиях, близких к изотермическим,

без значительного разогрева смеси, что приводит к возникновению так называемых холодных пламен. Их распространение возможно в чрезвычайно разбавленных смесях; так, подробно исследовано<sup>3</sup> холоднопламенное горение смеси 0,03%  $\text{CS}_2$  с воздухом, разогрев которой при адиабатическом сгорании не превосходит 15°.

Особенности механизма цепного самовоспламенения делают его критические условия трудно воспроизводимыми и зависящими от незначительных деталей проведения эксперимента. В технике применяются разнообразные методы определения критических температур самовоспламенения. Подробный обзор литературы по этому вопросу сделал, например, Сечкин<sup>4</sup>. Однако самое тщательное соблюдение постоянства условий опыта не гарантирует постоянства критической температуры самовоспламенения, которая может заметно изменяться вследствие изменений состояния поверхности реактора, не всегда поддающихся точному описанию и регулировке<sup>3,5</sup>.

Такая неоднозначность критической температуры самовоспламенения может иметь место и при проведении производственного процесса. Кроме того, условия поджигания в техническом процессе окисления могут не совпадать с условиями любой избранной методики опытов. Добавим, что ни в СССР, ни за рубежом не имеется стандартного технического метода определения температуры самовоспламенения.

Однако холоднопламенное воспламенение представляет опасность для производственных процессов только в том случае, когда оно может инициировать обычный тепловой взрыв, так как само оно не связано с заметным ростом давления. Кроме того, появление холодных пламен маловероятно в быстром газовом потоке (при времени реакции порядка 1 сек. и ниже), так как их возникновение обычно связано со значительными периодами индукции, а распространение чрезвычайно медленно; пламя, если и возникнет, будет снесено потоком.

Электрическая искра представляет наиболее мощный поджигающий импульс. При ее действии в определенном объеме развивается чрезвычайно высокая температура (порядка 10 000°), значительно превосходящая термодинамическую температуру горения  $T_b$ , которая достигается в продуктах адиабатического сгорания. Работами Я. Б. Зельдовича<sup>6</sup> установлено, что поджигание горючих смесей происходит в том случае, если энергия электрической искры достаточна для нагревания до  $T_b$  элементарного объема горючей смеси с радиусом порядка ширины фронта пламени в данной смеси, последняя равна нескольким десяткам миллиметра. У горючих смесей, близких по составу к предельным, это количество энергии имеет порядок 0,01 джоуля.

В ряду последовательно обедняемых, т. е. удаляющихся от стехиометрического состава горючих смесей, уменьшается нормальная скорость пламени  $u_n$  — важнейшая характеристика горючей смеси. Согласно теории предела распространения пламени

Я. Б. Зельдовича<sup>7</sup>, при этом увеличиваются теплотери за счет радиации из зоны горения. При определенной минимальной  $u_n$  теплотери становятся настолько значительными, что приводят к прогрессирующему охлаждению зоны реакции и прекращению распространения пламени. При достаточной мощности электрических искр определение критических условий поджигания смеси дает наиболее объективную жесткую проверку ее горючих свойств. В случае принудительного завершения реакции в нагретом искрой объеме искусственно созданное за счет добавочной энергии искры горячее пламя будет затухать в смеси, неспособной к его распространению.

Для сопоставления нами определялись также и условия самовоспламенения ряда смесей, однако следует подчеркнуть, что критические составы на пределе поджигания электрическими искрами точнее характеризуют взрывоопасность. Помимо поджигания смесей углеводородов нами изучено поджигание некоторых многокомпонентных смесей с добавками окиси углерода, образование которой возможно при неполном окислении углеводородов. Так как кислородные смеси окиси углерода имеют широкие концентрационные пределы поджигания: от 6,1 до 84,5%  $O_2^8$ , следовало доказать, что продукты неполного окисления не окажутся более взрывчатыми, чем исходные смеси.

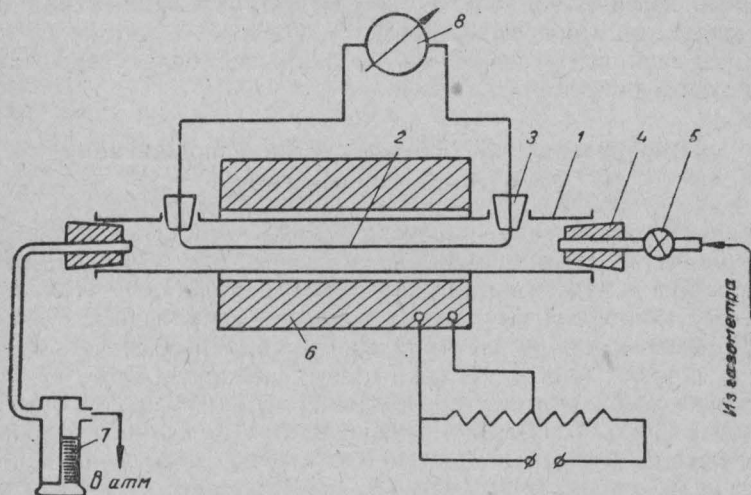
### **Определение критических условий поджигания и самовоспламенения**

Пределы поджигания электрическими искрами определялись в сферической стальной бомбе объемом 6,2 л при комнатной температуре и атмосферном давлении (начальном). Поджигание производилось в центре бомбы искрами от катушки Румкорфа, пропускаемыми между электродами авиационных свечей, ввинченных в корпус бомбы. Поджигание фиксировалось по скачку давления в бомбе при взрыве и одновременно по распространению пламени в бомбе, визуальнo наблюдаемому через щель, прорезанную в крышке бомбы и закрытую герметично окном из плексигласа. Перед проведением опыта бомба эвакуировалась форвакуумным насосом, промывалась заблаговременно составленной горючей смесью и заполнялась ею до атмосферного давления. Затем включался ток (переменный) в цепь индуктора при фиксированном напряжении на клеммах.

Исследуемые смеси составлялись в газометрах, после чего делалась выдержка не менее 1 часа для полного перемешивания. Дозировка производилась по величинам объемов вытекавшей воды, затем содержание кислорода проверялось путем поглощения медно-аммиачным раствором над медной проволокой в пипетке Гемпеля. Пределы поджигания сравнительно слабо изменяются при взаимной замене горючих компонентов, так что погрешности их объемной дозировки не могут иметь существенного значения. Исследуемые

смеси, богатые горючим, при сгорании образуют большое количество сажи. Для освобождения от нее после каждого опыта бомба продувалась азотом через штуцер поджигающей свечи и щель в крышке, поток направлялся в мешок из ткани, улавливающей частицы угля.

Самовоспламенение изучалось по аналогичному методу<sup>9</sup> в стеклянной трубке (реакторе) 1 (см. рис.) диаметром 30 мм и длиной 320 мм. Вдоль оси трубки была натянута термопара 2, введенная в нее с помощью двух резиновых пробок 3 через боковые гнезда таким образом, что горячий спай термопары помещался в середине и на оси трубки, герметичность которой при этом не нарушалась. С обоих концов трубка закрывалась пробками 4; через кран 5 в трубку подавалась горючая смесь из газометра. Реактор помещался в трубчатой печи 6 длиной 160 мм так, чтобы горячий спай находился в центральной части обогреваемого пространства. При заполнении трубка промывалась 5—8-кратным объемом горючей смеси. Для герметичности и контроля над ней к выходному концу трубки присоединялась промывалка Тищенко 7 с водой.



После заполнения трубки включался обогрев при фиксированном напряжении на клеммах печи. Изменение температуры во времени определялось по показаниям пирометра 8. Нагревание всегда производилось с постоянной скоростью, которая, как показала проверка, может влиять на возникновение самовоспламенения. Воспламенение (если оно имело место) наступало через 8—15 минут после начала нагревания. Если состав смеси значительно отличался от критического, резкое возрастание давления при самовоспламенении приводило к вылету пробок 4, предназначенных для предотвращения разрушения трубки при взрыве. В смесях, приближающихся к критическому составу, вспышка была очень



слаба. Исследуемые газы, бравшиеся из баллонов (так же, как и кислород), имели следующий состав (в % объемных):

Пропан (пропан-пропиленовая фракция)

$\text{C}_2\text{H}_4$ —5,53;  $\text{C}_2\text{H}_6$ —15,59;  $\text{C}_2\text{H}_8$ —2,89;  $\text{C}_3\text{H}_8$ —45,30;  $\text{C}_3\text{H}_6$ —30,35;

$\text{O}_2$  — следы.

Пропилен

$\text{C}_2\text{H}_4$ —3,23;  $\text{C}_3\text{H}_6$ —89,3;  $\text{C}_3\text{H}_8$ —5,8;  $i$ — $\text{C}_4\text{H}_8$ —0,34;  $\text{N}_2$ —1,3.

Бутан

$\text{C}_3\text{H}_6$ —4,60; фракция  $\text{C}_4$ —93,75; фракция  $\text{C}_5$ —0,62; несконденсировавшиеся газы — 0,30.

Азот (небольшие добавки) брался из воздуха. Окись углерода получалась действием серной кислоты на муравьиную с последующей очисткой от возможной примеси двуокиси путем барботирования через раствор щелочи.

Как известно, концентрационные пределы поджигания электрическими искрами зависят от положения источника зажигания. При поджигании смеси в трубах концентрационные пределы шире в случае поджигания у нижнего конца вертикальной трубы, так как конвективные потоки способствуют распространению неустойчивого пламени в близкой к предельной смеси. При данной методике условия опытов близки в этом отношении к условиям поджигания у нижнего конца трубы.

Так как возможность поджигания горючей смеси в принципе зависит от мощности поджигающего источника, необходимо установить, насколько объективны получаемые результаты и в какой мере они зависят от избранной методики. Для этого исследовалось поджигание ряда близких к предельным пропилено-кислородных смесей с одновременной регистрацией постепенно повышавшегося критического напряжения  $V_k$  на клеммах первичной обмотки катушки Румкорфа, при котором произошло поджигание. Результаты опытов представлены в табл. 1. Из таблицы следует, что в настоящих опытах предельная концентрация кислорода не зависит от напряжения на клеммах индуктора.

Таблица 1

Проверка влияния мощности поджигающего импульса на критическую концентрацию кислорода в смесях с техническим пропиленом

% $\text{O}_2$	53,0	51,2	50,8	50,4	50,0	50,0	49,9	49,8	49,5	49,5
$V_k$ вольт	12	13	35	22	32	22	17	17	30	21
% $\text{O}_2$	49,5	49,4	49,2	48,2	48,1	48,0	48,0	47,5	47,4	47,0
$V_k$ вольт	8	17	8	22	8	22	25	30	30	60



В табл. 2 приведены критические концентрации кислорода в богатых горючим смесях индивидуальных углеводородов при поджигании у нижнего конца трубы по данным Коварда и Джонса<sup>8</sup>.

Таблица 2

Пределы поджигания индивидуальных углеводородов

Углеводород	CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>
% O <sub>2</sub>	38,5	34,0	20,1	43 48,0	47,2	49,0
$\alpha_{кр}$ *	0,313	0,147	0,084	0,151 0,185	0,198	0,145

\*  $\alpha_{кр}$  — коэффициент избытка окислителя, т. е. отношение имеющегося в предельной смеси кислорода к необходимому для полного сгорания всех компонентов.

Результаты определений минимальных концентраций кислорода при искровом поджигании представлены в табл. 3 (без расшифровки составов технических газов).

Таблица 3

Пределы искрового поджигания смесей технических углеводородов

Состав горючей части смеси, %	Содержание O <sub>2</sub> на пределе поджигания, %	$\alpha_{кр}$	Состав горючей части смеси, %	Содержание O <sub>2</sub> на пределе поджигания, %	$\alpha_{кр}$
Пропан . . . . .	49,0	0,220	60% бутана + 18% пропилена + 2% N <sub>2</sub> + 20% CO	55,7	0,267
Бутан . . . . .	52,0	0,171	30% бутана + 15% пропилена + 5% N <sub>2</sub> + 50% CO	63,0	0,604
Пропилен . . . . .	46,5	0,196			
75% бутана + + 25% пропилена	46,5	0,145	60% пропана + + 17% пропилен + 3% N <sub>2</sub> + + 20% CO	50,7	0,221
80% бутана + + 5% N <sub>2</sub> + 15% CO	60,8	0,301	30% пропана + + 15% пропилен + 5% N <sub>2</sub> + + 50% CO	62,4	0,746

Сопоставляя данные таблиц 2 и 3, можно заключить, что критические составы поджигания технических бутана и пропилена, не содержащих значительных количеств примесей, близки к указанным Ковардом и Джонсом. У технического пропана, содержащего большие количества пропилена и этана, горючие свойства не аддитивны, и предельная концентрация кислорода несколько выше, чем для чистого пропана. Концентрационные пределы поджигания для всех трех основных (технических) углеводородов и бутано-пропиленовой смеси мало отличаются друг от друга и составляют 46,5—52,0%  $O_2$ .

Результаты исследования самовоспламенения смесей углеводородов с кислородом представлены в табл. 4;  $T_i$  — критическая температура самовоспламенения.

Таблица 4

Критические условия самовоспламенения углеводородо-кислородных смесей

Состав горючей части смеси	Критическое содержание $O_2$ , %	$T_i$ , °C
Пропан . . . . .	46	290—500
Бутан . . . . .	47	250—280
Пропилен . . . . .	44	490—600
75% бутана + 25% пропилена . . . . .	47	400—450

Опыты показали, что температуры самовоспламенения исследованных горючих смесей (250—600°) плохо воспроизводятся. Однако критические составы самовоспламенения имеют хорошо воспроизводимые значения, близкие друг к другу и к концентрационным пределам поджигания электрическими искрами. Сопоставление данных таблиц 3 и 4 показывает, что различие соответствующих предельных содержаний кислорода при самовоспламенении и искровом поджигании не превышает 5%.

#### Обсуждение результатов, взаимное ингибирование реакций окисления

Близость концентрационных пределов при самовоспламенении и искровом поджигании не противоречит представлениям о наибольшей надежности проверки горючих свойств путем поджигания электрическими искрами. При самовоспламенении смесей, близких к критическим, реакция не завершается, и пламя сходно с холодным. Об этом свидетельствует образование жидких продуктов неполного окисления углеводородов с характерным запахом альде-

гидов и незначительного количества сажи, в отличие от горения при искровом поджигании, вызывающего обильное сажеобразование. Аналогично этому наблюдается большое сажеобразование и более интенсивная вспышка в случае самовоспламенения богатых бензино-воздушных смесей при более высоких температурах<sup>4</sup>.

Изучение поджигания смесей, содержащих добавки окиси углерода, показывает, что эти добавки, против ожидания, не увеличивают взрывоопасности, а флегматизируют горение углеводородных смесей, приводят в отдельных случаях к повышению критической концентрации кислорода до 63%. Концентрационный предел по кислороду в наших опытах повышается при добавлении окиси углерода на 5—15%, т. е. на 10—35% по отношению к первоначальному содержанию кислорода.

В литературе имеются указания на факты ингибирования процессов окисления кислородом одного из горючих компонентов смешанных горючих другим, а иногда и взаимного ингибирования, сходные с нашими результатами. Рядом работ<sup>10—14</sup> установлено ингибирование окисления водорода добавками углеводородов в богатых горючим смесях, связанное с особенностями цепного механизма реакции; по отношению к углеводородам избыточный водород ведет себя как инертный компонент. Курцем<sup>15</sup> установлено взаимное ингибирующее влияние добавок сернистого и селенистого водорода на окисление углеводородов, которое возрастает с увеличением отношения содержаний горючего к окислителю. Этот эффект специфичен для данных веществ, другие гидриды (доноры атомарного водорода), например аммиак, не обнаруживают такого влияния. Специфическое взаимное ингибирование окисления установлено Курцем для смесей пропана и диборана<sup>16</sup>.

Обнаруженное нами сужение области взрываемости богатых горючим кислородных смесей углеводородов при частичной замене избыточного углеводорода окисью углерода, свидетельствует о ясно выраженном взаимном ингибировании их окисления, что очевидно из следующих соображений. С одной стороны, такая замена компонентов связана с повышением температуры горения вследствие уменьшения средней теплоемкости смеси и концентрации избыточного углеводорода, способного к эндотермическим реакциям в пламени, т. е. создает условия распространения пламени, более выгодные в чисто тепловом отношении, чем в смесях без добавок окиси углерода<sup>17</sup>. С другой стороны, предельная концентрация кислорода для двойного горючего намного больше, чем для чистой окиси углерода.

Очевидно, этот процесс связан с особенностями цепного механизма реакции окисления и специфичен для смесей углеводородов с окисью углерода при значительном избытке горючего. У таких смесей наблюдалось ингибирующее влияние углеводородов на окисление  $\text{CO}$ , тогда как у бедных и близких к стехиометрическим смесей имеет место обратный эффект — значительное взаимное ускорение окисления (увеличение скорости и стабильности пламе-

ни <sup>18-20</sup>). Аналогичный переход от катализа к ингибированию наблюдался и для других двойных горючих при изменении соотношения горючего и окислителя. Ингибирующее влияние СО на окисление углеводов, по-видимому, отмечается впервые. Практическая важность этого эффекта для наших целей заключается в увеличении возможности безопасной интенсификации технологического процесса окисления углеводов.

Чтобы дать количественную характеристику эффекта ингибирования, мы рассчитали для смесей критического состава значение коэффициента избытка окислителя  $\alpha_{кр}$ , т. е. отношение имеющегося в предельной смеси кислорода к необходимому для полного сгорания всех компонентов до  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$  (см. табл. 2 и 3). Значения  $\alpha_{кр}$  для чистых этана, пропана, пропилена и бутана лежат в пределах 0,15—0,20;  $\alpha_{кр}$  больше этой величины у активного горючего — этилена, и меньше — у сравнительно инертного метана; у окиси углерода  $\alpha_{кр} = 0,13$ .

Для технических бутана и пропилена, содержащих умеренные количества побочных компонентов, значения  $\alpha_{кр}$  близки к соответствующим для индивидуальных компонентов, для пропан-пропиленовой фракции наблюдается небольшое взаимное ингибирование окисления ее компонентов. В смесях, содержащих окись углерода, резко увеличивается значение  $\alpha_{кр}$  по сравнению со средним для всех компонентов смеси, до 2 раз при 15—20% СО и до 4,5 раза при 50% СО.

Для оценки возможного действия взрыва мы рассчитали термодинамическую температуру горения и соответствующее ей давление, достигаемое при адиабатическом сгорании предельной смеси в замкнутом объеме. Истинные значения температуры и давления при сгорании в замкнутом объеме будут меньше в результате тепловых потерь. Расчет выполнен для предельной при самовоспламенении смеси технического пропана с кислородом (46%  $\text{O}_2$ ) и начальной температуры  $T_i = 350^\circ\text{C}$ , в предположении, что весь кислород образует окись углерода, а водород и остаток углерода остаются в элементарном состоянии. Величина  $T_b$  лежит между 1475 и 1350°K в зависимости от температуры твердых продуктов реакции, которые могут не находиться в состоянии термодинамического равновесия с газообразными. При этом давление взрыва будет в 6—6,5 раза больше начального.

Резюмируя результаты наших опытов, можно считать установленным, что процесс окисления углеводов допускает возможность безопасной интенсификации. Предельные концентрации кислорода достаточно высоки, а образование окиси углерода при реакции еще более увеличивает их. Учитывая необходимость обеспечения определенного запаса надежности, мы полагаем допустимым конвертирование смесей с содержанием кислорода до 35—38%. В дальнейшем этот предел может быть увеличен после более подробного изучения процессов взаимного ингибирования окисления углеводов и окиси углерода.

## Выводы

1. В целях определения возможностей интенсификации технического процесса неполного окисления углеводородов кислородом исследованы критические условия поджигания электрическими искрами от катушки Румкорфа и самовоспламенения ряда горючих смесей технических пропана, бутана и пропилена с кислородом и добавками окиси углерода и азота. Критические концентрации кислорода на пределе искрового поджигания не зависят от напряжения на клеммах катушки.

2. Критические концентрации кислорода на пределах искрового поджигания для вышеуказанных горючих газов равны: 49,0; 52,0 и 46,5% соответственно; для смеси 75% бутана + 25% пропилена — 47%.

3. Критические температуры самовоспламенения исследованных смесей плохо воспроизводятся и лежат в интервале 250—600°C. Критические концентрации кислорода при самовоспламенении смесей с вышеуказанными горючими имеют хорошо воспроизводимые значения в интервале 44—47%.

4. Добавка окиси углерода к углеводородам в количестве 15—50% повышает концентрационный предел по кислороду при поджигании электрическими искрами на 5—15% (до 63% O<sub>2</sub>), т. е. на 10—35% по отношению к имеющемуся O<sub>2</sub>. Критическое значение коэффициента избытка окислителя в смесях, содержащих 50% CO, повышается до 4,5 раз. Процессы окисления в пламени углеводородов и окиси углерода у двойных горючих взаимно ингибируют друг друга.

5. Расчетная температура адиабатического сгорания предельной смеси составляет 1475÷1350°K, максимальное давление взрыва — 6,5 *атм*.

6. Ввиду необходимости соблюдения соответствующего запаса надежности в техническом процессе допустимо конвертирование смесей, содержащих до 35—38% O<sub>2</sub>, при условии автоматического контроля состава. Более подробное изучение влияния добавок окиси и двуокиси углерода на пределы поджигания может позволить увеличить эту предельную концентрацию.

## ЛИТЕРАТУРА

1. М. В. Поляков, Успехи химии, **17**, 325 (1948).
2. А. А. Ковальский и М. Л. Богоявленская, Журн. физ. химии, **20**, 1325 (1946).
3. Н. Н. Семенов и В. Г. Воронков, Журн. физ. химии, **13**, 1695 (1939).
4. N. P. Setchkin, J. Res. Nat. Bur. Stand., **VII**, 53, 49 (1954).
5. А. И. Розловский, Журн. физ. химии, **20**, 33 (1946).
6. Я. Б. Зельдович и Н. Н. Симонов, Журн. физ. химии, **23**, 1361 (1949).
7. Я. Б. Зельдович, Журн. exper. теор. физики, **11**, 159 (1941).
8. H. F. Cowarda. G. W. Jones, Limits of Flammability of Gases and Vapors, U. S. Bureau of Mines, Bull. 503, Washington, 1952.
9. И. С. Ройзен, Лабораторные работы по технике безопасности и противопожарной технике, Госхимиздат, 1953.



10. E. Jones, J. Soc. Chem. Ind., **68**, 117 (1949); Appl. Chem., 441 (1951); Chem. Eng., **59**, 185 (1952).
11. G. Dixon-Lewis, J. W. Linnet, Proc. Roy. Soc., A **210**, 48 (1951).
12. A. Levy, J. Phys. Chem., **59**, 721, 727 (1955); V. Symposium on Combustion, 495, 1955.
13. R. R. Boldwin, N. S. Corney, R. S. Simmons, V Symposium on Combustion, 502, 1955.
14. Э. А. Блюмберг, В. И. Васильев и Н. М. Эмануэль, Известия АН СССР ОХН, № 10, 1172, 1957.
15. P. F. Kurz, Ind. Eng. Chem., **45**, 2361 (1953); **47**, 297 (1955); Fuel, **34**, 463 (1955).
16. P. F. Kurz, Ind. Eng. Chem., **48**, 1863 (1956); Combustion and Flame, **1**, 212, 1957.
17. Я. Б. Зельдович, Теория горения и детонации газов, Изд. АН СССР, 1944.
18. P. L. Walker, C. C. Wright, Fuel, **31**, 37, 45 (1952).
19. A. Levy, P. F. Kurz, J. Amer. Chem. Soc., **77**, 1459 (1955).
20. P. L. Walker, Fuel, **35**, 146 (1956).

## ЗАВИСИМОСТЬ НИЖНИХ КОНЦЕНТРАЦИОННЫХ ПРЕДЕЛОВ ВОСПЛАМЕНЕНИЯ ГАЗО-ВОЗДУШНЫХ СМЕСЕЙ ОТ МОЛЕКУЛЯРНОЙ СТРУКТУРЫ ГОРЮЧИХ КОМПОНЕНТОВ

*Баратов А. Н.*

Установление количественной зависимости между предельными характеристиками процесса горения и молекулярной структурой горючего может явиться одним из вероятных путей решения задачи о связи между реакционной способностью и строением вещества. Кроме того, установление подобных связей, несомненно должно способствовать получению новых данных о некоторых кинетических характеристиках и пределах воспламенения, имеющих большое практическое значение.

В настоящей работе предпринята попытка установить зависимость между нижними концентрационными пределами воспламенения и содержанием атомов углерода в молекуле горючего компонента в пределах отдельных гомологических рядов органических соединений.

В литературе известны немногочисленные попытки нахождения указанной зависимости. Полученные при этом результаты исчерпываются отдельными качественными наблюдениями и эмпирическими данными без достаточно четких обоснований. Кроме того, эти данные часто противоречат друг другу. Так, по данным Бургеса и Уиллера<sup>1</sup>, нижние концентрационные пределы воспламенения нормальных алканов в воздухе обратно пропорциональны теплотам сгорания горючих компонентов и, следовательно, сни-



жаются с увеличением содержания в молекуле горючего гомолога атомов углерода по линейному закону.

Б. Ф. Выбороков<sup>2</sup> приходит к обратному выводу, утверждая, что с повышением молекулярного веса представителя гомологического ряда значения нижних пределов воспламенения повышаются. Забетакис, Скотт и Джонс<sup>3</sup> констатируют отсутствие какой-либо закономерной связи между нижними пределами воспламенения и содержанием в молекуле горючего атомов углерода. К подобному выводу приводит и анализ проведенного Гиббонсом, Барнеттом и Герштейном<sup>4</sup> обзора по вопросу о влиянии молекулярной структуры алканов на их горючие свойства. Во всех обнаруженных нами работах исследованию подвергались только алканы. Между тем сопоставление данных для нескольких гомологических рядов может способствовать решению некоторых теоретических и особенно практических задач.

Анализ современных теоретических и экспериментальных исследований процессов горения приводит к выводу о необходимости подхода к трактовке изучаемых явлений при нормальных условиях с позиций тепловой теории взрыва Н. Н. Семенова<sup>5</sup>. Согласно этой теории, предельное условие воспламенения выражается уравнением:

$$VQ[C_{\text{пред}}][O_2]\bar{K}e^{-\frac{E}{RT}} = \chi(T - T_0)S, \quad (1)$$

где  $V$  — объем сосуда;

$C_{\text{пред}}$  — концентрация горючего в смеси, соответствующая нижнему концентрационному пределу воспламенения;

$Q$  — теплота сгорания горючего компонента;

$E$  — энергия активации;

$O_2$  — содержание кислорода в смеси;

$\bar{K}$  — предэкспоненциальный множитель;

$T$  — температура горения;

$T_0$  — температура окружающей среды (стенки сосуда);

$\chi$  — теплопроводность из зоны реакции;

$S$  — поверхность сосуда.

Перед нами стоит задача найти количественную связь между содержанием в молекуле горючего атомов углерода и величинами нижних концентрационных пределов для какого-либо гомологического ряда, например для алканов.

Математическое условие задачи заключается в раскрытии зависимости

$$[C_{\text{пред}}] = f(n), \quad (2)$$

где  $n$  — число атомов углерода в молекуле горючего компонента.

Учитывая условия поставленной задачи (идентичные условиям эксперимента и необходимость определения пределов воспламенения бедных кислородом смесей), в первом приближении значения  $V$ ,  $\chi$ ,  $S$  и  $O_2$  можно считать постоянными. Действительно, так как речь идет лишь о смесях с содержанием в воздухе не более 5% горючих газов, можно полагать, что практически теплопроводность смесей и содержание в них кислорода будут во всех случаях соответствовать величинам указанных показателей для чистого воздуха, т. е. оставаться постоянными.

После этих упрощений исследуемая зависимость (2) с учетом исходного уравнения (1) выразится следующим образом:

$$[C_{\text{пред}}](n) \simeq \frac{AT(n)}{Q(n)K(n)e^{-E(n)/RT(n)}}, \quad (3)$$

где  $A$  — константа, определяемая условиями опыта и численно равная величине предела воспламенения первого члена гомологического ряда  $[Co_{\text{пред}}$  в данном случае метана;

$Q(n)$ ,  $K(n)$ ,  $E(n)$ ,  $T(n)$  — функции соответствующих параметров в зависимости от содержания атомов углерода в молекуле гомолога.

Решение уравнения (3) возможно только при раскрытии функциональных связей, входящих в правую часть этого уравнения. Попробуем решить эту задачу для алканов.

Зависимость  $Q(n)$ , как известно<sup>10,11</sup>, выражается линейным уравнением вида

$$Q(n) = k_1(n - 1) + B, \quad (4)$$

где  $k_1$  — коэффициент, характеризующий гомологический ряд;  
 $B$  — величина  $Q$  для первого гомолога.

Сопоставление данных по энергиям активации брутто-реакций высокотемпературного окисления бедных кислородом смесей для ряда углеводородов [рассчитанные Фенном и Калькоттом<sup>6</sup> по уравнению, выведенному из условия (1)] показывает, что для метана, этана, пропана, бутана и пентана  $E \simeq 26$  ккал, т. е.

$$E(n) \simeq \text{const.} \quad (5)$$

Аналогичное допущение можно сделать относительно изменения в указанных условиях величины предэкспоненциального множителя  $K$ . Согласно данным Валкера и Райтта<sup>7</sup>, величина  $K$  для различных углеводородов постоянна, т. е.

$$K(n) \simeq \text{const.} \quad (6)$$

Относительно зависимости  $T(n)$  надо отметить следующее. Достижение критической величины нижнего предела воспламенения лимитируется для бедных смесей теплоотводом практически через воздух. В одних и тех же экспериментальных условиях этот теплоотвод определяется разностью температур горения и стенки, т. е.  $T - T_0$ . Поскольку теплопроводность газовой смеси во всех случаях приблизительно постоянна, то и величина предельного теплоотвода будет также для всех веществ постоянной. Следовательно, при составе смеси, соответствующей нижнему концентрационному пределу, для всех веществ теплотворная способность («потенциальный запас энергии») элемента объема газовой смеси также будет постоянной.

Отсюда

$$T(n) = T_{\text{пред}}(n) \simeq \text{const}, \quad (7)$$

где  $T_{\text{пред}}$  — температура горения на нижнем пределе воспламенения.

Подобное допущение использовалось и в исследованиях, проводившихся ранее<sup>8, 9</sup>.

Подставив выражения (4), (5), (6) и (7) в уравнение (3), получаем:

$$[C_{\text{пред}}](n) \simeq \frac{[Co_{\text{пред}}] T_{\text{пред}}}{[k_1(n-1) + B] K e^{-E/RT_{\text{пред}}}} \quad (8)$$

или после преобразования и соответствующих упрощений:

$$[C_{\text{пред}}](n) \simeq \frac{1}{\frac{k_1 K e^{-E/RT_{\text{пред}}}}{[Co_{\text{пред}}] T_{\text{пред}}}(n-1) + \frac{B K e^{-E/RT_{\text{пред}}}}{[Co_{\text{пред}}] T_{\text{пред}}}} \quad (9)$$

$$[C_{\text{пред}}](n) \simeq \frac{1}{a(n-1) + d}, \quad (10)$$

где  $a$  и  $d$  — константы, определяемые свойствами соответствующего гомологического ряда и условиями эксперимента.

Уравнения (9) и (10) соответствуют гиперболической зависимости между пределами воспламенения и содержанием атомов углерода в молекуле горючего гомолога.

### Экспериментальная часть

Целью этой части исследования является подтверждение выведенных выше соотношений. Для этого необходимо определить нижние пределы воспламенения горючих газо- и паро-воздушных смесей. Исследованию подвергались нормальные алканы, спирты нормального и изостроения, сложные эфиры муравьиной и уксусной кислот и указанных спиртов.

Метан, получавшийся нагреванием формиата натрия с едким натром, и технические углеводороды — этан, пропан и бутан — очищали от примесей и влаги<sup>12</sup> и хранили в газометрах над насыщенный раствором NaCl. Остальные исходные вещества готовили большей частью синтезом известными методами<sup>13</sup> или из технических продуктов путем соответствующей очистки. Константы исходных веществ приведены в табл. 1.

Экспериментальное подтверждение выведенных соотношений между пределами воспламенения и молекулярной структурой горючего связано с необходимостью исследования большого числа веществ от газов до жидкостей с температурами кипения 200° и выше. Поэтому применялись два метода исследования.

1-й метод. Пределы воспламенения газо-воздушных смесей определялись в цилиндрическом реакционном сосуде длиной 1 м и диаметром 55 мм, выполненном из молибденового стекла (рис. 1).

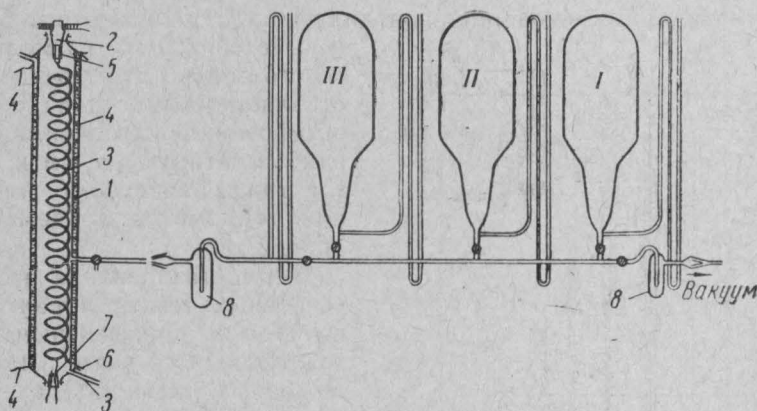


Рис. 1. Схема установки для определения пределов воспламенения газов:

1 — реакционный сосуд; 2 — моторчик Уоррена; 3 — змеевик; 4 — обогревающая спираль; 5 — подшипник; 6 — термопары; 7 — резиновая пробка с электродами; 8 — ловушки; I, II, III — сосуды

Смеси газов готовились по парциальным давлениям при перемешивании с точностью до 0,1% путем перепуска компонентов из сосудов I, II и III в предварительно эвакуированный до 2—3 мм рт. ст. реактор.

2-й метод. Пределы воспламенения паров горючих жидкостей определялись по методу температурных пределов воспламенения<sup>14</sup>, так как ни один из известных методов непосредственного определения концентрационных пределов воспламенения не может быть использован для исследования жидкостей с  $T_{\text{кип}}$  до 200° и выше. Этот метод заключается в том, что в герметизированном

аппарате определяются температуры, при которых в свободном пространстве над жидкостью создаются концентрации смеси паров горючей жидкости с воздухом, соответствующие концентрационным пределам воспламенения. Эти температуры соответственно называются нижним и верхним температурными пределами воспламенения.

Пересчет с температурных на концентрационные пределы производился по уравнению

$$[C_{\text{пред}}] = \frac{P_{\text{пред}}}{P_{\text{атм}}} 100,$$

где  $P_{\text{пред}}$  — давление насыщенных паров в мм рт. ст., соответствующее температурному пределу;

$P_{\text{атм}}$  — атмосферное давление в мм рт. ст.;

$C_{\text{пред}}$  — концентрационный предел в объемных процентах.

Первоначально предложенная М. Г. Годжелло и З. В. Коршак<sup>14</sup> методика определения температурных пределов была нами усовершенствована. Исследование проводилось в сосуде диаметром 60 мм

и высотой 220 мм из молибденового стекла. Этот сосуд представляет собой стакан с шлифованной крышкой, в которой монтируются мешалка, электроды искрового зажигания, термометры и термопары (рис. 2).

Термостатирование при повышенных температурах обеспечивалось применением фотоэлектронного реле, а при пониженных температурах — регулировкой скорости транспортировки метанола (охлаждаемого жидким азотом) по медному змеевику, навитому на сосуд.

Воспламенение в обоих случаях производилось электроразрядом от индуктора ИВ-50 с напряжением во вторичной обмотке ~42 кВ с помощью медных электродов, расстояние между которыми составляло 5—8 мм.

За критерий воспламенения в обоих методах принималось распространение пламени по всей высоте сосуда.

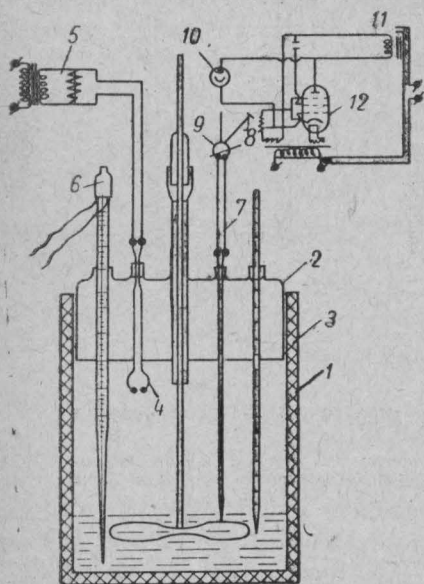


Рис. 2. Прибор для определения температурных пределов воспламенения:

1 — реакционный стакан; 2 — крышка, шлифованная к стакану; 3 — обогрев и охлаждение стакана с помощью нихромовой спирали и медного змеевика, через который пропускается жидкий воздух; 4 — электроды для воспламенения; 5 — индуктор ИВ-50; 6 — контактный термометр; 7 — термопара 531-Б; 8 — осветитель; 9 — зеркальный гальванометр; 10 — фотоэлемент; 11 — реле; 12 — пентод



Таблица I

Наименование вещества	$d_4^{20}$	$n_D^{20}$	$T_{кип}^{**}$	$T_{пред.}^{\circ C}$	$C_{пред.} \%$
Метан . . . . .	—	—	—	—	5,21
Этан . . . . .	—	—	—	—	3,22
Пропан . . . . .	—	—	—	—	2,37
Бутан . . . . .	—	—	—	—	1,81
Гексан . . . . .	0,660	1,3704	67,0	—26,5	1,20
Гептан . . . . .	0,684	20,4 1,3875	29—31(60)	—6,5	1,03
Октан . . . . .	0,702	20,3 1,3974	44—46(40)	12,5	0,92
Метанол . . . . .	0,792	1,3284	64,0	7,0	6,11
Этанол . . . . .	0,789	21,0 1,3617	79,0	10,5	3,13
Пропанол . . . . .	0,804	1,3855	97,0	21,0	2,12
Изопропанол . . . . .	0,784	20,6 1,3772	82,0	11,0	2,44
Бутанол . . . . .	0,810	1,3990	118,0	31,0	1,61
Изобутанол . . . . .	0,802	1,3962	108,5	25,5	1,78
Изоамиловый спирт	0,811	20,8 1,4076	132,0	40,5	1,32
Гексанол . . . . .	0,817	1,4151	57,5—59(10)	54,0	1,08
Гептанол . . . . .	19,2 0,829	21,8 1,4251	98—99,5(40)	70,0	0,92
Октанол . . . . .	0,828	1,4302	88—89(10)	81,0	0,80
Изооктанол . . . . .	0,838	19,8 1,4307	76—78(10)	70,0	0,89
Нонанол . . . . .	0,828	19,3 1,4325	97—100(10)	84,5	0,73
Метилформиат . . . . .	0,973	1,3445	31—34,0	—29,5	5,54
Этилформиат . . . . .	0,928	21,2 1,3586	51,0—53,5	—18,5	3,41
Пропилформиат . . . . .	20,5 0,898	1,3800	79—85,0	—7,0	2,60



Наименование вещества	$d_4^{20}$	$n_D^{20}$ *	$T_{\text{кип}}^{**}$	$T_{\text{пред.}}$ °C	$C_{\text{пред.}}$ %
Изопропилформиат . . .	0,871	1,3771	69,5—72,0	—11,0	3,02
Бутилформиат . . .	0,892	1,3896	39—41,5(60)	8,0	1,95
Изобутилформиат . . .	0,885	1,3851	31,5—33,5(60)	5,0	1,98
Изоамилформиат . . .	0,871	21,5 1,3971	52—55(60)	18,0	1,42
Гексилформиат . . .	0,892	20,8 1,4086	44—47(10)	36,5	1,29
Гептилформиат . . .	0,886	1,4257	75,0(20)	54,5	1,17
Октилформиат . . .	0,888	21,2 1,4147	79,0(20)	74,0	1,00
Нонилформиат . . .	0,867	1,4210	132—133(60)	95,0	0,96
Метилацетат . . .	0,933	20,1 1,3571	55—59,0	—12,0	4,35
Этилацетат . . .	0,903	1,3722	76—78	—3,5	2,53
Пропилацетат . . .	0,884	1,3840	36—39(60)	9,0	1,91
Бутилацетат . . .	0,881	19,8 1,3954	47—50(40)	18,5	1,44
Гексилацетат . . .	0,884	21,5 1,4086	56—60(10)	46,0	0,96
Гептилацетат . . .	0,874	1,4150	76—78(10)	57,0	0,82
Октилацетат . . .	0,871	1,4202	96—97(15)	69,0	0,74
Нонилацетат . . .	0,890	1,4239	100—104(10)	85,0	0,66

\* Цифры сверху обозначают температуры, при которых определялись значения коэффициента рефракций  $n_D$ .

\*\* В скобках указано давление, при котором определялась  $T_{\text{кип}}$ .

Данные по давлению насыщенных паров, необходимые для расчета концентрационных пределов воспламенения, заимствовались из сводок Стелла<sup>15</sup> и Иордана<sup>16</sup>. При отсутствии для отдельных веществ подобных характеристик последние устанавливались опытным путем.

При пересчете с температурных на концентрационные пределы учитывалась поправка на начальную температуру. Величина поправки определялась по следующему правилу<sup>19</sup>: при повышении температуры на 100° нижний концентрационный предел воспламенения снижается на 8—10%.

Анализ кривых (рис. 3) показывает, что для всех исследованных гомологических рядов с увеличением содержания в молекуле горючего гомолога атомов углерода нижние концентрационные пределы воспламенения монотонно снижаются. Эта закономерность подтверждается анализом предельного условия воспламенения (1). Действительно, правая часть этого уравнения, характеризующая теплоотвод, практически, в пределах гомологического ряда, остается постоянной, в то время как в левой части условия (1) величина  $Q$  заметно растет с утяжелением горючего гомолога. Поэтому для достижения равенства теплоприхода и теплоотвода в случае более тяжелого гомолога необходимо меньшее количество горючего.

Согласно соотношениям (9) и (10), зависимость между пределами воспламенения и содержанием атомов углерода в молекуле горючего гомолога должна описываться гиперболическим законом.

На рис. 4 представлена графическая обработка экспериментальных данных в трансформированных координатах, выпрямляющих зависимость (10). Как видно из рисунка, экспериментальные данные хорошо согласуются с линейной зависимостью. Указанной обработкой вычислены количественные соотношения между  $[C_{пред}]$  и  $n$  для алканов, спиртов, формиатов и ацетатов. Численные значения коэффициентов, входящих в уравнение (10), для указанных рядов сведены в табл. 2.

Недостаточное количество данных по кинетическим характеристикам, входящим в уравнение (9), лишает возможности рассчитывать эти коэффициенты непосредственно. Можно предположить, что в таком случае для каждого гомологического ряда коэффициенты  $a$  и  $d$  должны определяться только эмпирически при накоплении

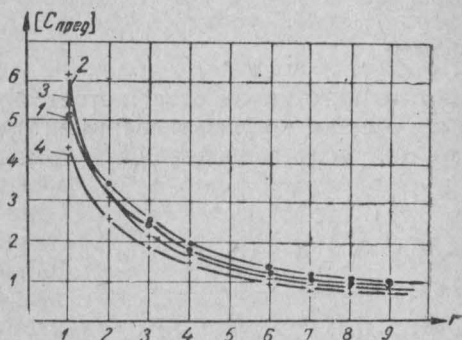


Рис. 3. Нижние концентрационные пределы воспламенения алканов, спиртов, ацетатов и формиатов в зависимости от числа атомов углерода в молекуле горючего ( $n$ ):  
1 — алканы; 2 — спирты; 3 — формиаты; 4 — ацетаты.

Недостаточное количество данных по кинетическим характеристикам, входящим в уравнение (9), лишает возможности рассчитывать эти коэффициенты непосредственно. Можно предположить, что в таком случае для каждого гомологического ряда коэффициенты  $a$  и  $d$  должны определяться только эмпирически при накоплении

Гомологический ряд	$a$	$d$
Алканы . . . . .	0,108	0,164
Спирты . . . . .	0,154	0,164
Формиаты . . . . .	0,116	0,180
Ацетаты . . . . .	0,164	0,230

достаточного количества соответствующих экспериментальных данных. Однако анализ экспериментальных результатов показывает, что для всех исследованных гомологических рядов зависимость

между  $[C_{\text{пред}}]$  и  $n$  выражается уравнением (10), и, следовательно, найденные соотношения для этих рядов аналогичны. Поэтому целесообразно применить в данном случае один из методов сравнительного расчета свойств веществ. Эти методы за последнее время получили детальное развитие в работах М. Х. Карапетянца <sup>17, 18</sup>.

Нами был использован сравнительный метод расчета какого-либо свойства вещества в рядах аналогичных соединений при постоянных внешних условиях. Этот метод заключается в том, что одинаковые свойства представителей различных гомологических рядов связываются линейной зависимостью, если характер их изменения от одного и того же параметра подобен и выражается уравнением

$$G_{II} \approx AG_I + B, \quad (11)$$

где  $G$  — свойство соединения;  
I и II — индексы, соответствующие двум рядам родственных соединений, сопоставляемым при постоянных условиях.

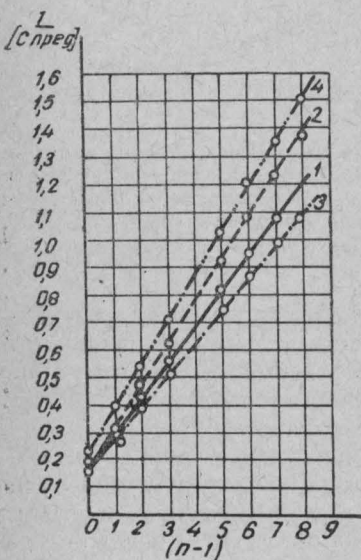


Рис. 4. Зависимость между пределами воспламенения алканов, спиртов, формиатов и ацетатов и числом атомов углерода в молекуле горючего в трансформированных координатах:

1 — алканы; 2 — спирты; 3 — формиаты; 4 — ацетаты.

Применительно к нашим целям этот метод использован следующим образом: при сопоставлении полученных опытных значений нижних концентрационных пределов воспламенения, в случае

справедливости выдвинутого выше предположения об аналогии зависимости между пределами воспламенения и молекулярной структурой горючего гомолога, связь между этими пределами для различных гомологических рядов должна описываться линейным законом. На рис. 5 показана связь между пределами воспламенения алканов, спиртов, формиатов и ацетатов — график для удобства построен в координатах, выпрямляющих зависимость  $[C_{\text{пред}}] = f(n)$ .

Из рис. 5 видно, что экспериментальные данные с достаточным приближением подчиняются линейному закону. Тем самым, во-первых, подтверждается вывод об аналогии исследуемой зависимости между  $[C_{\text{пред}}]$  и  $n$  для всех исследованных гомологических рядов, а во-вторых, представляется возможность выразить количественно соотношение между пределами воспламенения для различных гомологических рядов.

Обработав данные, представленные на рис. 5, по уравнению (11), получаем:

$$[C_{\text{пред}}]_{\text{II, III, IV}} \approx A [C_{\text{пред}}]_{\text{I}}, \quad (12)$$

где I, II, III и IV — индексы, обозначающие соответственно алканы, спирты, формиаты и ацетаты.

В уравнении (12) константа  $B=0$ , так как все прямые на рис. 5 пересекаются в начале координат. Это обстоятельство объясняется тем, что в этой точке для всех рядов  $[C_{\text{пред}}] = 0$ , поскольку  $n=0$ .

Значения коэффициента  $A$ , входящего в уравнение (12), составляют для спиртов — 0,901; для формиатов — 1,070; для ацетатов — 0,834.

Применение сравнительного метода расчета позволяет устанавливать количественную связь между пределами воспламенения и содержанием атомов углерода в молекуле горючего для любых других гомологических рядов, если известно значение предела воспламенения хотя бы для одного гомолога.

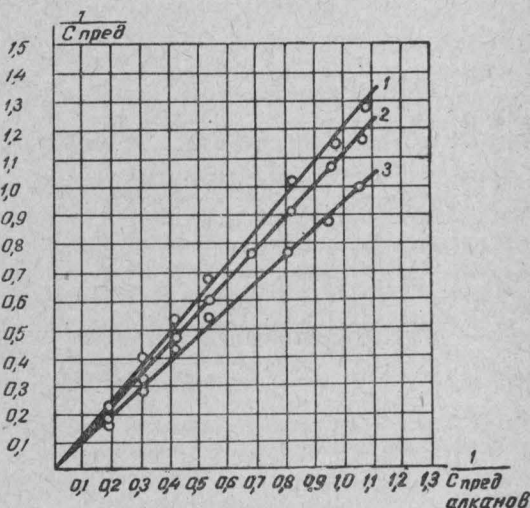


Рис. 5. Зависимость между пределами воспламенения алканов, спиртов, формиатов и ацетатов:  
1 — ацетаты; 2 — спирты; 3 — формиаты

В табл. 1, кроме соединений нормальной структуры, приведены данные экспериментального определения пределов воспламенения ряда изо соединений. Недостаточное количество данных по пределам воспламенения для изо соединений не дает возможности установить эмпирически количественные соотношения между пределами воспламенения и содержанием атомов углерода в молекуле горючего гомолога. Попробуем решить эту задачу для изоспиртов с помощью сравнительного метода.

На рис. 6 представлен график, выражающий зависимость между нижними концентрационными пределами воспламенения  $n$ -спиртов и изоспиртов.

В качестве исходных данных для построения этой зависимости из табл. 1 выбраны значения пределов воспламенения  $n$ -спиртов и величина нижнего предела изобутилового спирта, равная 1,78%. На этот график нанесены экспериментальные значения нижних концентрационных пределов воспламенения изопропилового, изоамилового и изооктилового спиртов. Как видно из рисунка, экспериментальные данные хорошо согласуются с по-

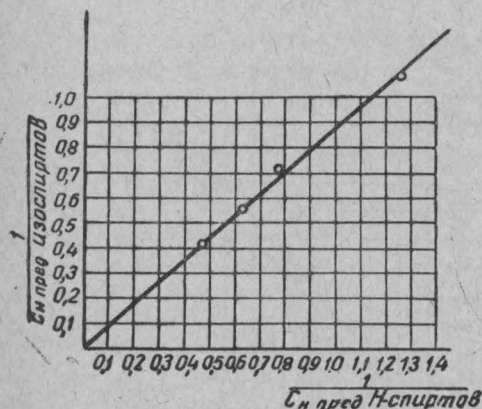


Рис. 6. Зависимость между пределами воспламенения  $n$ -спиртов и изоспиртов

строенной по сравнительному методу расчета графической зависимостью. По данным полученного графика рассчитана количественная зависимость между пределами воспламенения и содержанием атомов углерода в молекуле изоспирта. Она выражается уравнением:

$$[C_{\text{пред}}](n) = \frac{1}{0,178(n-1) + 0,146}.$$

Анализ данных по пределам воспламенения (табл. 1) показывает, что для веществ с разветвленной структурой область воспламенения по составу сужается по сравнению с веществами, имеющими нормальное строение молекулы того же состава. Это обстоятельство обусловлено, очевидно, увеличением термостойкости веществ с разветвлением их структуры. Однако указанное обстоятельство не дает оснований для вывода о том, что с разветвлением структуры пожароопасность органических жидкостей уменьшается. Из данных табл. 1 видно, что с разветвлением молекулы



горючей жидкости температурные пределы заметно снижаются. Этот факт обусловлен увеличением упругости паров органических жидкостей с увеличением разветвленности составляющих их молекул.

## Выводы

1. На основе теории теплового взрыва Н. Н. Семенова выведена и экспериментально подтверждена количественная связь между значениями нижних пределов воспламенения и содержанием атомов углерода в молекуле горючего для следующих гомологических рядов: алканов, спиртов нормального и изостроения, формиатов и ацетатов.

Эта зависимость выражается уравнением вида  $[C_{\text{пред}}] = \frac{1}{a(n-1) + d}$ , с помощью которого можно рассчитать нижний предел воспламенения для неизвестного гомолога.

2. С помощью одного из сравнительных методов расчета свойств веществ можно рассчитать указанное уравнение и определить с достаточной для практических целей точностью нижний предел воспламенения любого органического вещества.

3. Для ряда углеводов и их кислородопроизводных впервые экспериментально определены значения нижних температурных и концентрационных пределов воспламенения.

## ЛИТЕРАТУРА

1. M. Burgess, R. Wheeler, J. Chem. Soc., **105**, 2596 (V) (1914).
2. Б. Ф. Выморочков. Кандидатская диссертация, Л., 1953.
3. M. Zabetacis, G. Jones, Scott. Ind. Eng. Chem., **43**, 9 (1951).
4. K. Gibbons, S. Barnett, M. Gerstein, Ind. Eng. Chem., **46**, 10 (1954).
5. Н. Н. Семенов, Цепные реакции, Госхимиздат, 1934.
6. I. Fenn, H. Calcoite, Forth Symposium on Combustion, Baltimore, 1954.
7. P. Walker, Wriht, J. Am. Chem. Soc., **75**, 750 (1953).
8. A. White, J. Chem. Soc., **121**, 1688 (1922); **127**, 672 (1935).
9. T. Fenn, Ind. Eng. Chem., **43**, 12 (1951).
10. E. Prosen, F. Rossini, Res. N.B.S. **34**, 263 (1951).
11. F. Rossini, Res. N.B.S., **13**, 21, 1934.
12. М. Дементьева, Анализ углеводородных газов, Гостоптехиздат, 1953.
13. P. Sabatier, Milhe, Compt. rend., **154**, 176 (1912).
14. М. Г. Годжелло, З. В. Коршак, Информационный сборник ЦНИИПО, Издательство МКХ РСФСР, 1955.
15. Д. Стелл. Таблицы давления паров индивидуальных веществ, Издатинлит., 1949.
16. T. Iordan, Vapor pressure of organic compounds, N.—I., 1954.
17. М. Х. Карапетьянц, Журн. физ. химии, **29**, 934 (1955); **29**, 1132 (1955).
18. М. Х. Карапетьянц. Журн. физ. химии, **27**, 934 (1953).
19. А. Н. Баратов, Журн. физ. химии, **33**, 1184 (1959).



# ВОСПЛАМЕНЯЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ИСКРЕНИЯ В РАЗЛИЧНЫХ ГАЗО-ПАРО-ВОЗДУШНЫХ ВЗРЫВЧАТЫХ СМЕСЯХ

*Фетисов П. А.*

Работами научно-исследовательских институтов: Макеевского (МакНИИ), горного дела АН СССР (ИГДАН) и Донецкого угольного (ДонУГИ) было установлено, что не всякая электрическая искра способна воспламенить метано-воздушную взрывчатую смесь. Были определены электрические параметры (ток, индуктивность, емкость, напряжение), при которых искрение в электрооборудовании не вызывает воспламенения окружающей взрывоопасной среды метана. Электрооборудование с такими параметрами получило название искробезопасного. Искробезопасное оборудование выгодно отличается от оборудования в любом другом взрывозащищенном исполнении тем, что оно может быть выполнено без применения дорогостоящих, громоздких оболочек или других специальных устройств и имеет значительно меньший вес и габариты при большем удобстве и простоте его эксплуатации.

В угольной промышленности как отечественной, так и зарубежной широко применяется искробезопасная электроаппаратура связи, сигнализации и т. п. Электрооборудование в искробезопасном исполнении имеет практическое значение не только для угольной промышленности, но и для других производств, связанных с изготовлением, применением и хранением различных горючих жидкостей и взрывчатых газовых смесей. В первую очередь к таким производствам относятся предприятия химической, газовой, нефтяной промышленности. Особое значение искробезопасное оборудование имеет для химической промышленности.

До настоящего времени как в отечественной, так и, по имеющимся сведениям, в зарубежной литературе даны электрические параметры искробезопасности только для метано-воздушных сред.

В целях выяснения пожаровзрывоопасности электрического искрения в других, отличных от метана, взрывчатых средах автором были проведены соответствующие исследования, результаты которых приводятся в данной статье.

## Экспериментальная установка

Экспериментальная установка, на которой проводились исследования воспламеняющей способности электрического искрения, представлена на рис. 1. Конструкция этой установки позволила провести исследование электрического зажигания не только газозвудушных, но также паровоздушных и пылевоздушных смесей.

При исследовании зажигающей способности электрического искрения пылевоздушных смесей взрывная камера, указанная на рис. 1, заменялась другой, имеющей специальные распыливающие

устройства. Такая универсальность установки отличает ее от известных установок, на которых исследование зажигания электрической искрой возможно лишь в газо-воздушной (МакНИИ, ИГДАН), либо только в паро-воздушной смеси (Всесоюзный научно-исследовательский институт по технике безопасности, ВНИИТБ).

В качестве контактов размыкающего устройства, между которыми создавалось искрение в исследуемой электрической цепи, применялись облуженные латунные контакты, а также контакты из вольфрама и стали.

Латунные контакты выполнялись в виде перпендикулярно пересекающихся облуженных проволочек, диаметром 0,26 мм, искрение между которыми осуществлялось в месте разведения проволочек.

Контакты из вольфрама и стали — в виде острой вольфрамовой иглы и стальной пластинки с заостренным концом, искрение происходило в момент соскакивания острого кончика пластинки с острия иглы.

Было установлено, что при использовании латунных контактов величина воспламеняющего тока снижается в 1,10—1,25 раза по сравнению с током воспламенения при применении контактов из вольфрама и стали.

Следовательно, при изготовлении, а также испытаниях электрических устройств необходимо учитывать влияние не только материала контактов, но и их формы.

### Методика исследований

Явление воспламенения газо-паро-воздушных смесей электрическими искрами представляет сложный физико-химический процесс. Воспламеняемость таких смесей зависит от многих факторов. Основными из них являются напряжение источника тока, величина тока в момент размыкания цепи, индуктивность и емкость электрической цепи. Большое значение имеет продолжительность искрения,

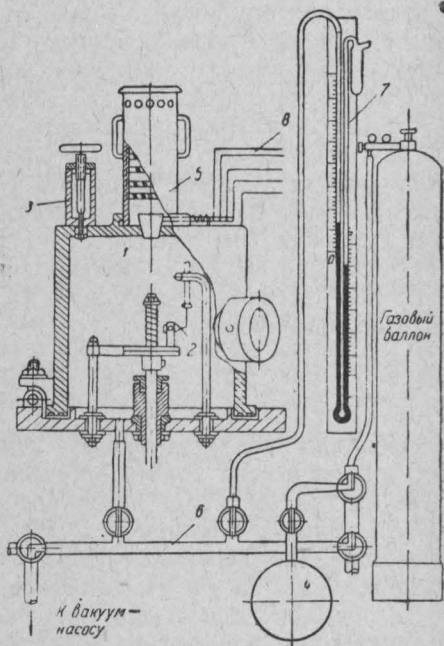


Рис. 1. Экспериментальная установка:

- 1 — взрывная камера емкостью 5,0 л; 2 — механизм искрения; 3 — дозирующий игольчатый клапан для исследования паро-воздушных смесей; 4 — промежуточная камера; 5 — предохранительный клапан и глушитель; 6 — трубопровод; 7 — ртутный манометр для определения вакуума в камере; 8 — счетчик числа искрений

форма, материал и чистота поверхностей контактов, между которыми происходит искрение, концентрация, давление, температура газовой смеси, наличие в смеси примесей и т. д.

Электрические разряды, создаваемые при размыкании электрической цепи во взрывчатой смеси не всегда в одинаковой степени и с определенной последовательностью (повторяемостью) воспламеняют смесь. Особенно часто это наблюдается при слабом искрении, т. е. когда искры не обладают достаточной энергией для зажигания смеси.

Благодаря обилию факторов, от которых зависит воспламенение смесей, наиболее продуктивным методом определения воспламеняющей способности электрического искрения явился статистический метод, предложенный В. С. Кравченко (ИГДАН СССР).

Сущность метода заключается в следующем. Обозначим через  $I$  — ток, текущий по цепи до ее размыкания;  $m$  — число воспламенений (взрывов) смеси в камере;  $n$  — общее количество произведенных искрений в камере до получения необходимого количества воспламенений ( $m$ ) смеси.

Отношение числа зафиксированных взрывов ( $m$ ) к общему числу произведенных искрений ( $n$ ), дает статистическую вероятность воспламенения ( $p'$ ):

$$p' = \frac{m-1}{n-1}.$$

Очевидно, что чем больше опытных искрений будет произведено в камере, тем точнее определится вероятность воспламенения.

Вопрос о том, какое число воспламенений ( $m$ ) необходимо произвести, чтобы получить необходимую точность, был решен на основании опытов. Было установлено, что для этого достаточно произвести по 25—30 воспламенений для каждой серии опытов.

Экспериментальная электрическая цепь при исследованиях составлялась из эталонных катушек индуктивностей, регулируемого омического сопротивления и источника питания (аккумуляторная батарея).

Исследования проводились при постоянном токе, являющемся более опасным по вероятности зажигания смеси по сравнению с переменным током.

### Проведение исследований

Во взрывной камере экспериментальной установки создается по методу парциального давления наиболее легковоспламеняемая от искры газо- или паро-воздушная смесь.

Подсчет необходимого количества газа или горючей жидкости, вводимого при создании смеси в камеру, производится по формуле

$$a = \frac{A \cdot C}{100} \text{ мм рт. ст.}, \quad (1)$$

где  $a$  — парциальное давление паров горючей жидкости или газа в мм рт. ст.;

$A$  — барометрическое давление (фактическое) в мм рт. ст.;

$C$  — заданная концентрация паров горючей жидкости или газа в % по объему.

Скорость размыкания контактов принималась: для индуктивных цепей не менее 1,00 м/сек; для практически безиндуктивных цепей (от 0,001 гн и меньше) не более 0,5 см/сек.

При этих скоростях обеспечиваются условия для получения минимальных значений воспламеняющихся токов.

Исследования проводились при температуре окружающего воздуха 18—20° и барометрическом давлении 740 ÷ 760 мм рт. ст.

**Определение наиболее легковоспламеняемой смеси.** Любая газо-паро-воздушная смесь характеризуется нижним и верхним пределами ее воспламеняемости (взрываемости). Вне этих пределов смесь практически не может быть воспламенена.

Для большинства смесей известны не только концентрационные пределы или стехиометрические соотношения (полное сгорание смеси без избытка содержащегося в ней горючего и кислорода воздуха), но и составы смесей, при которых развиваются наибольшие взрывные давления или наиболее легко передается взрыв через щелевой зазор оболочки. Данные о составе (концентрации), обеспечивающем наиболее легкое воспламенение от электрической искры, для большинства смесей были неизвестны.

По предложенному методу при разных концентрациях смеси экспериментально определялась вероятность воспламенения. Для проверки получаемых результатов такое определение проводилось при разных параметрах электрической цепи. Наибольшая вероятность воспламенения (точка перегиба кривой) соответствует концентрации, при которой смесь и является наиболее легковоспламеняемой от искры.

При данном методе исключается неточность, так как определение производится по результатам, получаемым при различных параметрах электрической цепи. На рис. 2 представлены такие графики для ряда газо- и паро-воздушных смесей.

В табл. 1 приведены значения таких концентраций для исследованных смесей. Кроме того, эта таблица дополнена данными из других источников.

**Кривые вероятности воспламенения.** После определения состава наиболее легковоспламеняемой смеси определяется вероятность воспламенения при уменьшении величины тока размыкания, т. е. зависимость  $P' = f(I)$  при  $I$  и  $L = \text{const}$ .

Вначале определяется вероятность воспламенения  $P'_1$ , соответствующая току  $I_1$ . Затем ток искрения уменьшается до  $I_2$  и определяется меньшая вероятность воспламенения  $P'_2$ , для тока —  $I_3$ , вероятность —  $P'_3$  (рис. 3). При этом величина напряжения и индуктивности исследуемой цепи сохраняется постоянной.

Смесь с воздухом	Состав смеси, содержащей пары горючей жидкости или газа, соответствующий в % по объему			
	наиболее легкому воспламенению от искры замыкания	стехиометрическому соотношению	наибольшему взрывному давлению	наиболее опасному по передаче взрыва через щелевой зазор оболочки
<b>Водород</b> . . . . .	20	29,5 <sup>3</sup>	32,3 <sup>4</sup>	32 <sup>5</sup>
Естественный газ из фонтанных и нефтяных скважин (содержание метана 93—96%) . . . . .	10 <sup>1</sup>			
Окись этилена . . . . .	11,5	7,8	11,0 <sup>4</sup>	11,0 <sup>5</sup>
Ацетилен . . . . .	9,25	7,7 <sup>3</sup>	14,5 <sup>4</sup>	14,5 <sup>5</sup>
Метан . . . . .	8,5 <sup>2</sup>	9,5 <sup>3</sup>	9,8 <sup>4</sup>	
Сухой газ пиролиза . . . . .	8,0 <sup>1</sup>			
Этан . . . . .	7,0 <sup>2</sup>			
Этилен . . . . .	7,0	6,5 <sup>3</sup>	8,4 <sup>4</sup>	5,0 <sup>5</sup>
Пропилен . . . . .	7,0	4,5 <sup>3</sup>		
Ацетон . . . . .	7,0	5,0 <sup>3</sup>	6,3 <sup>4</sup>	
Окись пропилена . . . . .	7,0	4,47		4,5 <sup>5</sup>
Пропан . . . . .	6,0 (5,0) <sup>2</sup>	4,03	4,6 <sup>4</sup>	
Газ термического крекинга . . . . .	6,0 <sup>1</sup>			
Эфир . . . . .	5,5	3,4 <sup>3</sup>		
Диэтиламин . . . . .	5,0			
Бутан . . . . .	4,2 <sup>2</sup>		3,6 <sup>4</sup>	
Пентан . . . . .	4,0 <sup>2</sup>	2,6	3,0 <sup>4</sup>	
Гептан . . . . .	3,5			
Толуол . . . . .	3,5			
Бензин Б-70 . . . . .	3,5 (121 мл/л) <sup>1</sup>	—	—	—
Бензол (уд. вес 0,9012) . . . . .	216,0 мл/л <sup>1</sup>	2,7 <sup>3</sup>	3,9 <sup>4</sup>	

<sup>1</sup> Данные ВНИИТБ.<sup>2</sup> По Д. Моргану, Принципы зажигания, Машгиз, 1947.<sup>3</sup> По В. Иосту, Взрывы и горение в газах, Издательство, 1952.<sup>4</sup> Британский стандарт № 229, 1946.<sup>5</sup> Данные Ульященко В. Е.



По полученным таким образом нескольким значениям вероятности воспламенения, соответствующим величине воспламеняющего тока, в логарифмической сетке координат строятся зависимости  $P' = f(I)$ , где по оси ординат откладываются вероятности воспламенения ( $P$ ), по оси абсцисс — величины воспламеняющих токов.

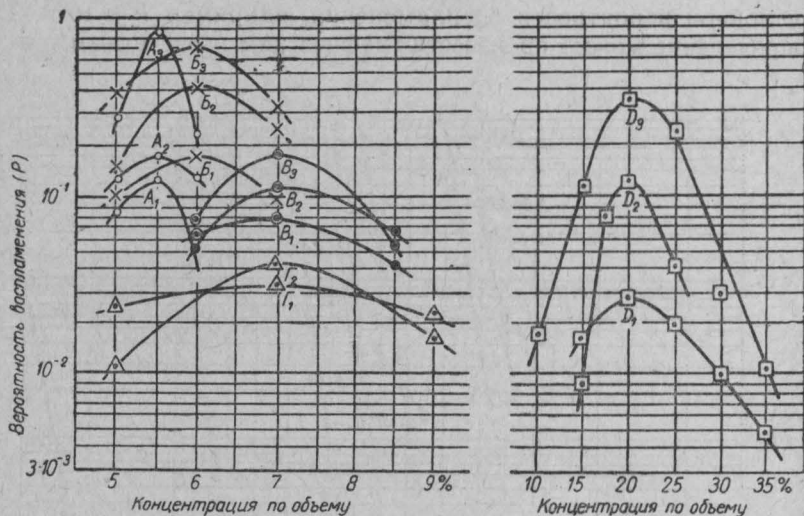


Рис. 2. Кривые вероятности воспламенения различных смесей в зависимости от концентрации горючего или газа в смеси:  
А — этиловый эфир; Б — пропан; В — ацетон; Д — водород

На рис. 4 представлены полученные экспериментальным путем зависимости для смесей с воздухом — ацетилена, водорода, этилена, ацетона, пропана, эфира и метана — при напряжении 24 в и индуктивности 0,22 гн. Аналогичные зависимости были получены и при других величинах напряжения, а именно: 6 и 60 в и для индуктивностей от 0,0001 до 0,65 гн.

Как видно из рис. 4, графики на участке вероятностей  $10^{-1} \div 10^{-3}$  (сплошные линии) имеют прямолинейный характер и отвечают уравнению

$$\frac{P_1'}{P_2'} = \left( \frac{I_1}{I_2} \right)^{\text{tg } \alpha}, \quad (2)$$

где  $I_2$  — величина тока при искомой вероятности воспламенения, например  $P' = 10^{-3}$ ;

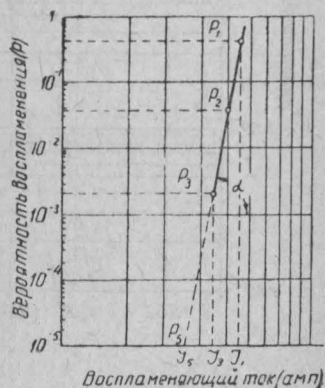


Рис. 3. Теоретическая кривая вероятности воспламенения в зависимости от тока искрения при неизменной величине индуктивности в цепи и напряжении



$I_1$  — величина тока искрения, полученная по результатам опытов и при вероятности воспламенения, например  $P' = 10^{-1}$ ;  $\alpha$  — угол наклона кривой вероятности воспламенения к оси абсцисс для исследованной смеси.

Считая, что и при меньших вероятностях эта прямолинейность сохраняется, возможно определить величину тока для другой заданной условной вероятности воспламенения, например  $P' = 10^{-5}$ . Такое определение можно произвести графическим и расчетным путем.

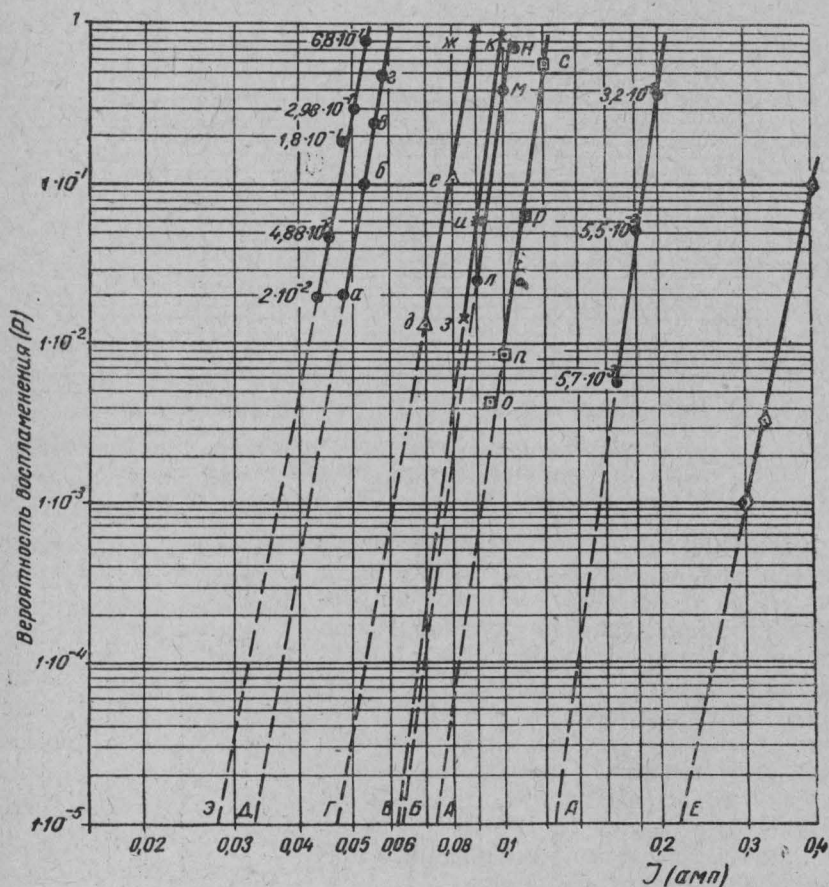


Рис. 4. Экспериментальные кривые вероятности воспламенения в зависимости от тока искрения при напряжении 24 в и индуктивности 0,22 гн:  
Э — ацетилен; Д — водород; Г — этилен; В — ацетон; Б — пропан; А — эфир;  
Е — метан

При графическом определении безопасного тока достаточно продолжить линию вероятности до пересечения с осью абсцисс, соответствующей условной вероятности воспламенения. Точка пересечения

чения укажет искомую величину тока. Определение тока расчетным путем можно произвести по вышеприведенной преобразованной формуле (2)

$$I_2 = I_1 \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\operatorname{ctg} \alpha} \quad (2a)$$

**Характеристики искробезопасности.** При непосредственной оценке воспламеняющей способности электрического искрения удобнее пользоваться характеристиками искробезопасности.

Эти характеристики, также построенные в логарифмической системе координат, выражают зависимость воспламеняющего тока от изменения индуктивности электрической цепи при определенной величине напряжения источника тока [ $I=f(L)$  при  $I=\text{const}$ ]. Согласно английским источникам, безопасным считается ток, который при 100 размыканиях электрической цепи не дает ни одного воспламенения смеси. Такой ток соответствует вероятности воспламенения  $P'=10^{-2} \div 10^{-5}$ .

В целях большей безопасности нами при построении характеристик приняты токи, соответствующие вероятности воспламенения  $P'=10^{-5}$ .

Величину безопасного тока в устройствах следует определять с некоторым коэффициентом запаса в зависимости от условия и режима работы испытуемого устройства.

На рис. 5 приведены характеристики искробезопасности для исследованных взрывчатых смесей ацетилена, водорода, этилена, эфира, ацетона, пропана, метана\* с воздухом при напряжении 24 в, индуктивности электрической цепи от 0,0001 до 0,22 и 0,65 гн и вероятности воспламенения  $P'=10^{-5}$ .

На рис. 6 приведены характеристики для тех же смесей, но при напряжении 60 в. Пунктирными линиями даны характеристики, полученные при замедленном размыкании электрической цепи. Из этих характеристик видно, что при медленном размыкании контактов в цепях с малой индуктивностью (0,001 гн и меньше) воспламеняющие токи значительно меньше, чем при быстром размыкании. При этом линии характеристик практически параллельно смещаются в сторону меньших токов. При индуктивностях 0,01 гн и более замедленное размыкание не вызывает уменьшения воспламеняющего тока. Из сравнения характеристик (рис. 6) очевидно, что легче всего зажечь смесь ацетилена или водорода с воздухом, а воспламенить смесь пропана или метана значительно труднее. Смеси других исследованных газов или горючих жидкостей по их воспламеняемости от электрической искры являются промежуточными между указанными смесями. Таким образом, полученные данные предоставили возможность оценить различные смеси и по

---

\* По данным ИГДАН (В. С. Кравченко).

их воспламеняющей способности от электрической искры размыкания.

Минимальные значения воспламеняющих токов во взрывчатых смесях ацетилена, водорода, этилена, эфира, ацетона, пропана и метана с воздухом при  $P' = 10^{-5}$  представлены в табл. 2.

Минимальные значения воспламеняющих мощностей и токов во взрывчатых смесях окиси этилена, окиси пропилена, гептана, пропилена и бензина (Б-70) с воздухом при  $P' = 10^{-5}$  и напряжении 24 в даны в табл. 3.

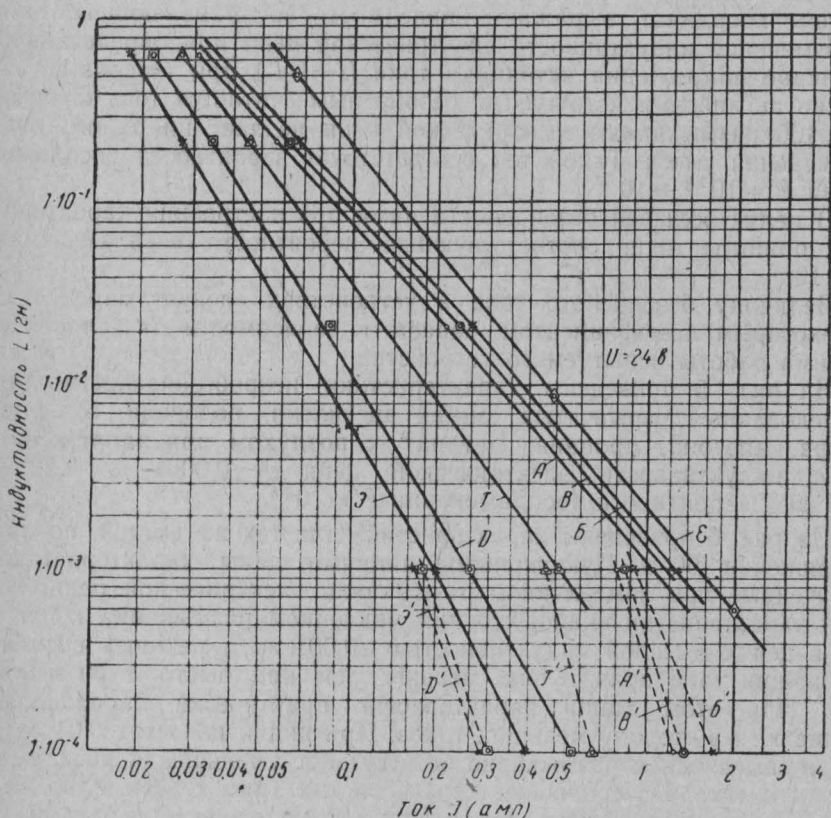


Рис. 5. Экспериментальные характеристики искробезопасности при вероятности воспламенения  $P = 10^{-5}$  и напряжении 24 в:

Э — ацетилен; Д — водород; Г — этилен; А — эфир; В — ацетон; Б — пропан; Е — метан

Минимальные значения воспламеняющих мощностей и токов во взрывчатых смесях с воздухом окиси пропилена и бензина (Б-70) при  $P' = 10^{-5}$  и напряжении 60 в даны в табл. 4.

Таблица 2

Индук- тивность цепи, гн	Напряже- ние, в	Ацетилен		Водород		Этилен		Эфир		Ацетон		Пропан		Метан	
		вт	а	вт	а	вт	а	вт	а	вт	а	вт	а	вт	а
0,0001	6	2,2	0,37	2,4	0,4	4,5	0,75	—	—	—	—	—	—	—	—
	24	6,5	0,27	7,2	0,3	16,3	0,68	31,0	1,3	33,6	1,4	36,0	1,5	—	—
	60	9,6	0,16	10,8	0,18	19,8	0,33	36,0	0,6	37,2	0,62	37,8	0,63	60,0	1,0
0,001	6	1,2	0,20	1,3	0,22	3,0	0,5	—	—	—	—	6,0	1,0	—	—
	24	3,8	0,16	4,3	0,18	10,8	0,45	19,2	0,8	20,4	0,85	21,6	0,9	36,0	1,5
	60	7,8	0,13	8,4	0,14	16,2	0,27	25,2	0,42	29,4	0,49	30,6	0,51	42,0	0,7
0,01	6	0,54	0,09	0,66	0,11	1,0	0,18	—	—	2,16	0,36	2,4	0,4	—	—
	24	2,0	0,082	2,4	0,1	3,8	0,16	7,2	0,3	7,9	0,33	8,9	0,37	10,8	0,45
	60	4,8	0,08	5,4	0,09	7,8	0,13	15,0	0,25	15,6	0,26	18,0	0,3	24,0	0,4
0,1	6	0,24	0,04	0,3	0,05	0,38	0,063	—	—	0,6	0,1	0,66	0,11	—	—
	24	0,9	0,037	1,0	0,045	1,45	0,06	1,95	0,082	2,15	0,09	2,3	0,095	3,35	0,14
	60	2,0	0,033	2,4	0,04	3,0	0,05	4,2	0,07	4,8	0,08	5,4	0,09	7,8	0,13
0,65	6	0,11	0,019	0,14	0,023	0,18	0,03	—	—	0,2	0,039	0,25	0,042	—	—
	24	0,4	0,018	0,5	0,021	0,7	0,028	0,89	0,037	0,9	0,038	0,95	0,04	3,6	0,06
	60	0,96	0,016	1,1	0,019	1,4	0,023	1,8	0,03	2,0	0,033	2,15	0,036	1,3	0,05

Наряду с определением искробезопасных параметров (ток, индуктивность, напряжение) не меньшее практическое значение имеет определение минимальной величины энергии, необходимой для зажигания той или иной взрывчатой смеси. Зная эту величину энергии, можно заранее оценить искробезопасность электрической цепи, или других, еще не исследованных, параметров расчетным путем, не производя при этом большого числа опытов. В табл. 5 приведены полученные в результате подсчета приближенные минимальные значения энергии зажигания (в мдж) при исследованных газо-паро-воздушных взрывчатых смесях. Подсчет был произведен по экспериментально полученным значениям воспламеняющих токов (при  $P=10^{-5}$ ) для напряжения 6, 24, 60 в и индуктивностей от 0,0001 до 0,65 гн.

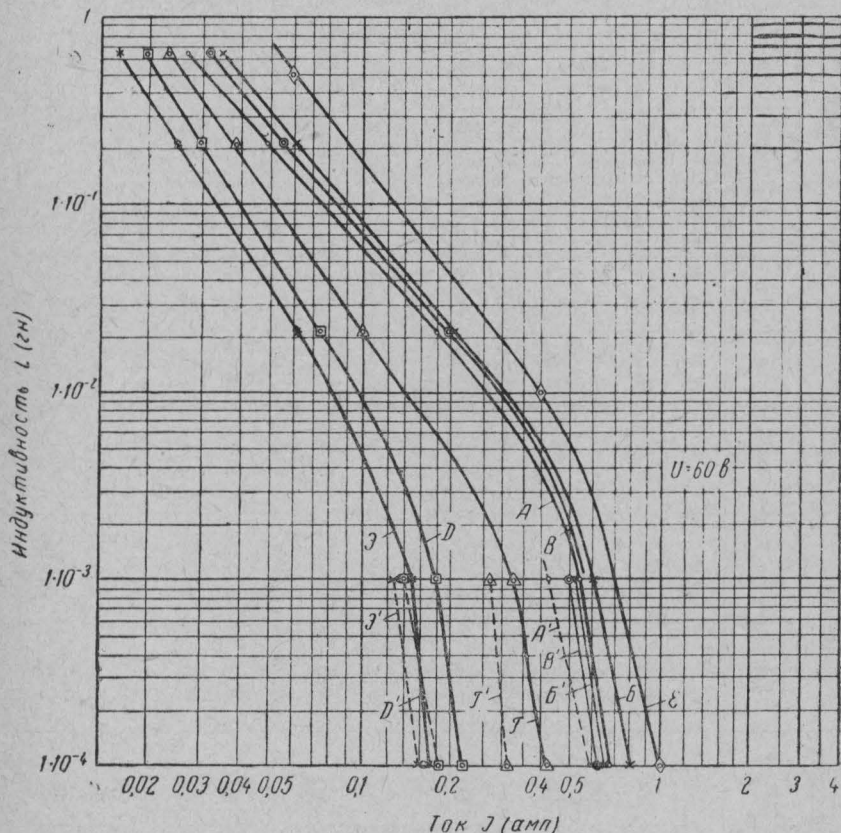


Рис. 6. Экспериментальные характеристики искробезопасности при вероятности воспламенения  $P=10^{-6}$  и напряжении 60 в:

Э — ацетилен; Д — водород; Г — этилен; А — эфир; В — ацетон; Б — пропан; Е — металл



Таблица 3

Индук- тивность, гн	Окись этилена		Окись пропилена		Гептан		Пропилен		Бензин (Б-70)	
	вт	ма	вт	ма	вт	ма	вт	ма	вт	ма
0,65	0,57	24	0,65	27,5	0,77	32	0,8	35	0,96	40
0,22	0,9	39	1,0	44	1,2	49	1,3	55	1,5	63
0,1	1,3	53	1,5	63	1,7	71	2,0	83	2,2	94
0,01	3,4	140	4,3	180	5,3	220	6,6	275	8,4	350
0,001	6,5	270*	8,4	350*	11,5	480*	15,4	640*	19,5	810*
—	8,9	370	11,8	490	16,0	660	21	880	27,5	1150

\* Токи при замедленном размыкании контактов.

Таблица 4

Смесь с воздухом	И н д у к т и в н о с т ь , г н											
	0,65		0,22		0,1		0,01		0,001		0,0001	
	вт	ма	вт	ма	вт	ма	вт	ма	вт	ма	вт	ма
Окись про- пилена .	1,3	22	2,2	37	3,0	50	7,8	130	15,0	250*	19,5	325*
									18,5	310	24,5	410
Бензин (Б-70) . .	2,1	35	3,6	60	5,4	90	18,0	300	30,0	500*	37,8	630*
									36,0	600	48,0	800

\* Токи при замедленном размыкании контактов.

Таблица 5

Смесь с воздухом	Минимальная энергия зажигания (мдж)
Ацетилен . . . . .	0,1
Водород . . . . .	0,15
Окись этилена . . . . .	0,2



Смесь с воздухом	Минимальная энергия зажигания (мдж)
Окись пропилена . . . . .	0,22
Этилен . . . . .	0,25
Гептан . . . . .	0,32
Пропилен . . . . .	0,37
Эфир (серный) . . . . .	0,4
Ацетон . . . . .	0,5
Бензин (Б-70) . . . . .	0,52
Пропан . . . . .	0,55
Метан . . . . .	1,1

### Метод ускоренной оценки опасности электрического искрения

Существующий метод оценки опасности электрического искрения требует весьма значительного времени. Достаточно сказать, что для такой оценки применительно только к одной лишь среде (при трех значениях напряжений) требовалось не менее полугода.

В связи с этим крайне актуальной явилась разработка такого метода, который позволял бы производить оценку в более короткое время и без снижения точности получаемых результатов.

Возможность создания этого метода основана на следующих выявленных в процессе исследования закономерностях.

1. Полученные зависимости вероятности воспламенения при изменении величины воспламеняющего тока  $P=f(I)$  во всех исследованных смесях указывают, что вероятный характер воспламенения смеси электрической искрой размыкания действителен для всех паро-газо-воздушных смесей и практически не зависит от различия физико-химических свойств каждой смеси.

2. Каждая из исследованных смесей на графике вероятностей (рис. 4) имеет свое определенное местоположение по отношению к другим смесям, что характеризует способность данной смеси к воспламенению от электрической искры.

3. Кривые вероятностей воспламенения для всех смесей практически параллельны между собой, т. е. имеют почти одинаковый угол наклона их к оси абсцисс (см. табл. 6).

Смесь с воздухом	Угол наклона
Ацетилен . . . . .	86°34'
Водород . . . . .	86°34'
Окись этилена . . . . .	87°25'
Окись пропилена . . . . .	87°00'
Этилен . . . . .	86°38'
Гептан . . . . .	86°50'
Эфир . . . . .	87°34'
Ацетон . . . . .	87°43'
Пропан . . . . .	87°47'
Метан . . . . .	86°18'

Как видно из табл. 6, разница в углах наклона незначительна и колеблется в пределах от 0°16' до 1°29'. Поэтому можно считать, что кривые вероятностей для других смесей также будут находиться в пределах найденных значений углов. Вследствие этого можно принять среднее значение угла и считать его постоянным для кривых вероятностей всех газо-паро-воздушных смесей.

Средняя величина угла наклона составляет

$$\alpha_{\text{ср}} = \frac{\Sigma \alpha_{0n}}{n} = \frac{870^{\circ} 21'}{10} = 87^{\circ} 2,3' \cong 87^{\circ} 2',$$

где  $\Sigma \alpha_{0n}$  — сумма углов наклона для всех исследованных 10 смесей;

$n$  — количество исследованных смесей.

Справедливость этого положения была проверена для ранее исследованных смесей и установлено, что:

а) показатель точности

$$a = \frac{B \cdot 100}{\alpha_{\text{ср}}} = 0,19\%,$$

где  $B = \pm \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$  и  $\sigma = \pm \sqrt{\frac{\Sigma \Delta a^2}{n-1}}$ ;

б) величины токов, подсчитанные исходя из среднего значения угла наклона кривых, по сравнению с токами, полученными экспериментальным путем, дают разницу не более 7 ма.

Отсюда можно сделать вывод, что для определения минимального значения воспламеняющего тока в какой-либо еще неисследованной смеси нет необходимости строить вероятностные кривые по нескольким экспериментальным точкам. Достаточно определить координаты лишь одной экспериментальной точки. Затем провести через эту точку прямую под углом  $87^{\circ}2'$  до пересечения ее с осью абсцисс. Место такого пересечения укажет величину тока, соответствующую выбранной условной вероятности воспламенения.

Определение минимального тока может быть произведено также по ранее приведенной формуле (2), исходя из среднего значения угла наклона кривой  $P=f(I)$  и полученной в результате эксперимента величины воспламеняющего тока.

4. При анализе характеристик искробезопасности, полученных для всех исследованных смесей, установлено, что они имеют одинаковый характер расположения их на графике зависимости  $I=f(L)$  (1).

Отличаются характеристики тем, что при напряжениях 6 и 24 в они имеют вид прямой, а при большем напряжении, в частности, при 60 в — кривой.

Кроме этого, характеристики для каждой смеси в зависимости от напряжения имеют не общий, как кривые вероятностей, а свой определенный угол наклона относительно оси абсцисс. В то же время при напряжении 6 и 24 в на всем своем протяжении характеристики имеют один угол наклона, а при напряжении 60 в два угла; один в интервале индуктивностей от 0,65 до 0,01 гн и второй — от 0,001 до 0,0001 гн.

Для наглядности выявленная связь между воспламеняющим током, индуктивностью и углом наклона характеристик для смеси водорода с воздухом (левая линия) и для смеси этилена с воздухом (правая линия) представлена на рис. 7.

Средней пунктирной линией I—I' (рис. 7) изображена характеристика для какой-то новой, неисследованной паро- или газо-воздушной смеси.

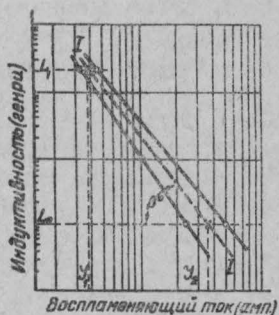


Рис. 7. Примерные кривые зависимости воспламеняющего тока, индуктивности и угла наклона характеристик искробезопасности смесей водорода и этилена с воздухом

Очевидно, что несмотря на одинаковый характер расположения характеристик угол наклона каждой из них будет различным. Тангенс угла наклона характеристики может быть представлен:

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{\lg L_1 - \lg L_2}{\lg I_1 - \lg I_2} = \frac{\lg \frac{L_1}{L_2}}{\lg \frac{I_1}{I_2}}. \quad (3)$$

Произведя дальнейшее преобразование этого выражения, получим формулу для определения значения тока, соответствующее заданной индуктивности, например тока  $I_2$  при индуктивности  $L_2$ , а именно:

$$I_2 = I_1 \left( \frac{L_2}{L_1} \right)^{-\operatorname{ctg} \beta}, \quad (4)$$

или для определения тока  $I_1$  при индуктивности  $L_1$

$$I_1 = I_2 \left( \frac{L_1}{L_2} \right)^{-\operatorname{ctg} \beta}, \quad (5)$$

где  $I_2$  — искомый ток при индуктивности  $L_2$ ;  
 $I_1$  — известная величина тока, полученная из опыта для индуктивности  $L_1$ ;  
 $L_1$  и  $L_2$  — индуктивности электрической цепи, для которых строится характеристика искробезопасности;  
 $\beta$  — угол наклона характеристик для данной смеси.

Углы наклона характеристик каждой исследованной смеси, при напряжения 6, 24 и 60 в, подсчитанные по результатам опытных данных для  $L$  и  $I$  и по формуле (3), сведены в табл. 7.

Используя полученные расчетом данные угла наклона характеристик, для каждой исследованной смеси при трех значениях напряжения найденная зависимость  $\frac{I_2}{I_1} = \left( \frac{L_2}{L_1} \right)^{-\operatorname{ctg} \beta}$  представлена графически в виде номограмм, построенных в полулогарифмической системе координат, на рис. 8, 9 и 10. По оси абсцисс номограмм отложены значения токов, а по оси ординат — значения углов наклона характеристик искробезопасности. Если наклонные линии номограмм пересечь горизонтальными линиями, то полученные точки пересечения будут соответствовать воспламеняющим токам, полученным для каждой исследованной смеси. Очевидно, что такие линии неисследованных еще смесей находятся где-то между этими линиями в зависимости от воспламеняющей способности смеси.

Допустим, необходимо построить характеристику искробезопасности для какой-то еще неисследованной взрывчатой газо-воздушной смеси при напряжении 24 в. Предварительно определяется концентрация, при которой смесь является наиболее легковоспламе-

Смесь с воздухом	Индуктивность цепи 0,65 до 0,0001 гн		Напряжение источника 60 в	
	Напряжение источника, в		Индуктивность цепи, гн	
	6	24	0,65÷ ÷0,01	0,001÷ ÷0,0001
Ацетилен . . . . .	68°54'	70°10'	70°20'	86°00'
Водород . . . . .	67°12'	68°48'	68°54'	85°20'
Окись этилена . . . . .	—	67°05'	—	—
Этилен . . . . .	64°56'	65°45'	66°36'	83°25'
Окись пропилена . . . . .	—	65°48'	—	—
Гептан . . . . .	—	64°27'	—	—
Пропилен . . . . .	—	63°02'	—	—
Эфир . . . . .	—	62°24'	66°00'	82°12'
Ацетон . . . . .	62°00'	62°12'	65°45'	—
Бензин (Б-70) . . . . .	—	61°54'	—	—
Пропан . . . . .	61°30'	61°36'	62°42'	81°40'
Метан . . . . .	—	60°48'	60°00'	81°10'

няемой (если таковая неизвестна). Во взрывной камере, заполняемой данной смесью, производится размыкание (искрение), предположим, при индуктивности 0,22 гн. Ток воспламенения подбирается из расчета, чтобы вероятность воспламенения была не более  $10^{-1}$ . Положим, что, согласно методике исследования, было получено 30 воспламенений смеси в камере (при токе искрения 0,055 а). При этом по счетчику было зафиксировано 1200 искрений. Вероятность (частота) воспламенения при  $m = 30$ ,  $n = 1200$  составляет:

$$P' = \frac{m-1}{n-1} = \frac{30-1}{1200-1} = 0,0242 = 2,42 \cdot 10^{-2}.$$

Для определения минимального тока зажигания смеси  $I_2$ , поставив значение  $P'$  в формулу (2)

$$I_2 = 0,055 \left( \frac{10^{-5}}{2,42 \cdot 10^{-2}} \right)^{0,0518}$$

и прологарифмировав это выражение, получим  $I_2 \cong 0,038$  а.



Номограмма для 6 вольт при  $P=10^{-5}$

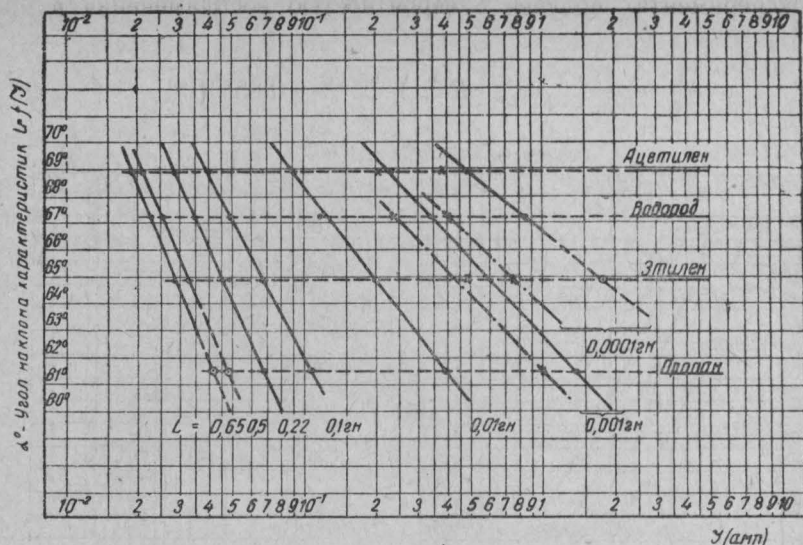


Рис. 8. Номограмма искробезопасности при напряжении 6 в постоянного тока и диапазона индуктивности от 0,0001 до 0,65 гн. Вероятность воспламенения  $P = 10^{-5}$ .

Номограмма для 24 в при  $P=10^{-5}$

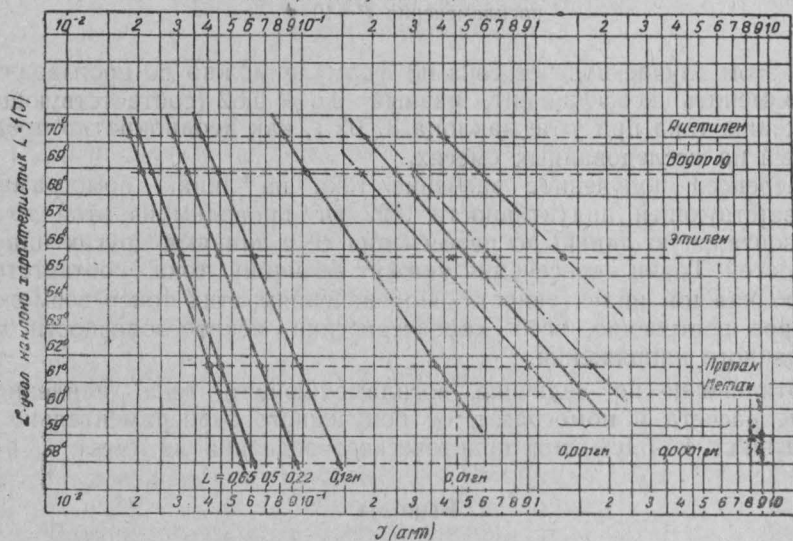


Рис. 9. Номограмма искробезопасности при напряжении 24 в постоянного тока в диапазоне индуктивностей от 0,0001 до 0,65 гн. Вероятность воспламенения  $P=10^{-5}$ .



Определение тока может быть упрощено, если ток зажигания при экспериментах получен с вероятностью воспламенения в пределах

$$\frac{1}{10} \div \frac{1}{15}; \text{ т. е. } P = 1 \cdot 10^{-1} \div 0,65 \cdot 10^{-1}.$$

Номограмма для 60 в при  $P=10^{-5}$

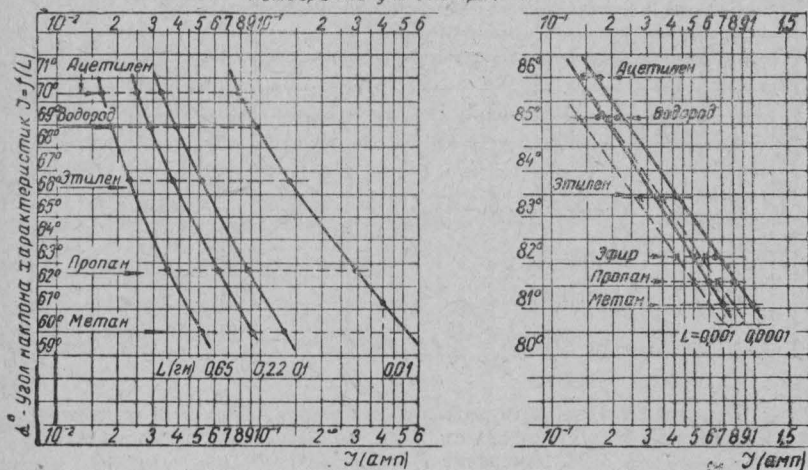


Рис. 10. Номограмма искробезопасности при напряжении 60 в постоянно-го тока в диапазоне индуктивностей от 0,0001 до 0,65 гн. Вероятность воспламенения  $P=10^{-5}$

В этом случае подсчет тока по формуле можно не производить, а применить коэффициент, равный  $0,6 \div 0,62$  (соответствующий снижению тока при угле наклона  $87^{\circ}02'$ ), как неоднократно проверенный на исследованных смесях.

Перенеся полученное значение тока на линию номограммы, соответствующей индуктивности 0,22 гн, проводим из этой точки горизонтальную линию до пересечения ее с линиями других индуктивностей. Точки пересечения укажут величину тока, соответствующую каждой индуктивности. По значениям этих токов возможно быстрое построение всей характеристики искробезопасности для выбранного напряжения.

Отклонение по величине воспламеняющего тока, найденного путем расчета и номограмм, от полученного экспериментально не превышает 4—5,5%, что практического значения не имеет.

## Выводы

1. Полученные результаты исследований указывают на возможность применения слаботочных электрических устройств (приборов автоматики, сигнализации, связи и т. п.) в искробезо-

пасном исполнении в отраслях народного хозяйства, связанных с опасностью воспламенения взрывных смесей (в химической, нефтяной, газовой и др.).

Это положение имеет практическое значение, так как позволяет в ряде случаев заменить громоздкую и дорогую слаботочную аппаратуру в тяжелых бронированных оболочках более легкой, в искробезопасном исполнении.

2. Полученные данные по искробезопасным параметрам могут явиться руководящим материалом как при оценке опасности искрения существующих электрических устройств, так и при конструировании новых искробезопасных систем. Результаты исследований позволили дополнить «Правила устройства электроустановок» 1957 г., а также «Правила изготовления взрывозащищенного электрооборудования» 1960 г.

3. Ускоренный метод оценки искробезопасности является более простым при достаточной точности получаемых результатов.

По этому методу требуется значительно меньше времени как для построения кривых вероятности воспламенения, так и для получения характеристик искробезопасности. Такое построение для напряжения до 24 в и всего диапазона индуктивностей от 0,0001 до 0,65 гн можно сделать, получив только одну экспериментальную точку. Для построения характеристик при напряжении выше 24 в достаточно получить две экспериментальные точки.

## *Приложение*

### **Приборы и устройства, испытанные на искробезопасность**

#### *А. Приборы, признанные безопасными для применения в бензино-воздушной среде*

1. Сигнализатор аварии резервуаров. Источник питания — 6 в постоянного тока. Индуктивность цепи — 1,07 гн с железным сердечником. Наибольший ток в цепи — 23 ма.

2. Контактный сигнализатор уровня. Источник питания — 1,5 в. Максимальный ток искрения — 1,5—3 ма.

3. Переносный газоанализатор типа ПГФ2-ВЗГ. Источник питания — 4,5 в постоянного тока, ток искрения — 0,85 ма.

#### *Б. Приборы, признанные безопасными для применения в среде водорода*

1. Электротермометрическая установка для измерения температур взрывоопасных сред. Источник питания — 1,5 в. Максимальный ток в цепи — 40 ма. Индуктивность — 6 мгн.

2. Датчик (термометр сопротивления) типа ЭТП-45 электронного автоматического самопишущего прибора. Напряжение питания — 1,5 в, ток — 10 ма.

3. Индукционный датчик измерителя давления взрывоопасной среды типа ИД-5; источник питания — 1,1 в переменного тока. Наибольший ток в цепи — 30 ма. Индуктивность — 0,15—0,2 гн.

4. Индукционный датчик измерителя давления ИД-7. Источник питания — 0,9 в переменного тока. Наибольший ток — 35 ма. Индуктивность — 0,05 гн.

Кроме того, были испытаны в различных средах следующие приборы.

1. Мегометр типа М1102. Номинальное напряжение — 460 в, ток — 0,55 ма. Признан безопасным для применения в средах бензина, пропана, метана.

2. Электрический датчик расходомера газов типа «Тар». Источник питания — 12 в; максимальный ток искрения — 25 ма. Признан безопасным для применения в средах этилена, пропана, метана.

3. Радиоактивный измеритель уровня в закрытой емкости жидкости, сыпучих тел. Напряжение на датчике — 380 в постоянного тока при силе тока 0,5—1 ма. Индуктивность — 0,003 гн. Признан безопасным для сред водорода, лигнина, сажи.

## СТАТИЧЕСКОЕ ЭЛЕКТРИЧЕСТВО И МЕРЫ ПО БОРЬБЕ С НИМ В ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

*Ройзен И. С., Медведева В. С.*

### Теоретические основы образования статического электричества

В основе образования статического электричества лежат очень сложные процессы, зависящие от множества факторов. Единой, хорошо разработанной теории, объясняющей явление образования статического электричества, еще нет.

Согласно гипотезе контактной электризации веществ, электризация происходит при соприкосновении двух разнородных веществ в силу неуравновешенности атомных и молекулярных сил на поверхности соприкосновения. При этом происходит перераспределение электронов или ионов одного вещества на другое с образованием двойного электрического слоя с противоположными знаками.

Величина контактного напряжения очень различна и зависит от диэлектрических свойств соприкасающихся поверхностей, состоя-

ния поверхности, давления, с которым они прижаты друг к другу, а также от влажности и температуры. При разделении поверхностей, между которыми возникла контактная электризация, каждая поверхность сохраняет свой заряд, который по мере уменьшения емкости при разделении может достигать порядка сотен и тысяч вольт. Так, если при расстоянии между поверхностями  $10^{-5}$  см контактное напряжение равно 1 в, то при увеличении расстояния до  $10^{-2}$  см напряжение возрастает до 1000 в, а при дальнейшем увеличении расстояния до 1 см, напряжение стремится возрасти до 100 000 в.

Согласно другой гипотезе, необходимо при электризации веществ учитывать эффекты удара и отрыва. С таким положением выступил П. Бенинг<sup>1</sup>, занимавшийся исследованием электризации пыли.

Электризация, возникающая при соударении, является следствием: 1) ударной ионизации, происходящей при ударном столкновении быстро движущихся электронов или атомов газа с другим веществом, и 2) хаотического движения молекул вследствие их тепловой и кинетической энергии.

Электризация, происходящая в результате эффекта отрыва, позволяет объяснить явление электризации в том случае, когда о влиянии ударного действия не может быть и речи, например при отрыве частиц, стружек или при образовании капель.

Электризацию, возникающую при эффекте отрыва, очень легко наблюдать на простой установке (рис. 1), состоящей из электрометра 1 и пластин из различных материалов 2, на которые помещается пыль. Отрыв частиц пыли от поверхности пластины проводится воздушной струей 3, направленной под острым углом к пластине. Как показывают исследования, пыль самых различных материалов в большинстве случаев заряжается отрицательно, а пластины — положительно.

Бенинг при подобных исследованиях выбирал материалы, которые крайне отличались друг от друга по своим свойствам. Полученные результаты опытов по электризации пыли представлены в табл. 1 (заряды пыли даны знаками плюс и минус).

Помимо контактной электризации, соударений и отрыва образование опасных потенциалов объясняется также за счет электрической индукции, что имеет место, например, на изолированных проводниках.

Индуктирование статического заряда на изолированном проводнике очень опасно при разряде, так как энергия искры разряда с проводника значительно больше, чем с диэлектриков.

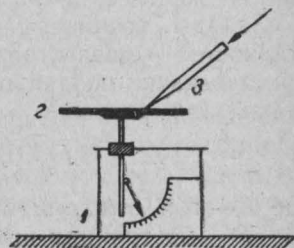


Рис. 1. Установка по изучению электризации при отрыве частиц

Пыль	Материал накладной пластины				
	эбонит	каучук	никель	стекло	однотонный с пылью
Тальк . . . . .	—	—	—	—	—
Борная кислота . . . . .	—	—	—	—	—
Сера . . . . .	—	—	—	—	—
Нафталин . . . . .	+	—	—	—	—
Сахар . . . . .	+	+	+	—	—
Стекло . . . . .	+	+	+	—	—
Графит . . . . .	+	+	+	+	—
Магнезия . . . . .	+	+	+	+	—

### Некоторые случаи возникновения статического электричества

Электростатические заряды возникают и скапливаются на оборудовании и обрабатываемых материалах при проведении процессов, связанных с образованием или перемещением диэлектриков, разделением веществ, т. е. нарушением контакта, трением и т. п.

В большинстве химических производств с применением горючих и взрывоопасных веществ в твердом, жидком или пылевидном состоянии статическое электричество может вызвать пожары и взрывы. В некоторых отраслях промышленности, например, хлопко- и шелкопрядельной, бумажной, наличие зарядов вызывает серьезные нарушения технологического режима, вследствие чего возникает брак, рабочие подвергаются электрическим ударам.

Особенно опасны в этом отношении новые химические процессы — сублимация, адсорбция и сушка в подвижном слое, пневмо-сушка и т. д. В этих случаях создаются наиболее благоприятные условия для образования статического электричества, и если вещество горючее, то возникает возможность взрыва или пожара.

Заряды возникают также при движении и наливе горючих жидкостей — диэлектриков в цистернах, трубопроводах. Например, при перекачке нефтепродуктов по трубопроводу возникает электрический ток, равный<sup>2</sup>

$$I = 0,305 \cdot T \cdot K \cdot V^{1,75} \cdot (1 - e^{L/TV}),$$

где  $I$  — ток, отходящий от трубопровода, в  $10^{-10}a$ ;

$T$  — постоянная времени продукта (уд. сопротивление, помноженное на диэлектрическую проницаемость);

$K$  — коэффициент, определяемый диаметром трубы и условиями на границе раздела продукт — труба;



$V$  — средняя скорость,  $м/сек$ ;

$L$  — длина трубы,  $м$ .

Величина тока зависит от длины трубы, шероховатости ее стенок, скорости движения продукта и других факторов. Нейтрализация статических зарядов в нефтепродуктах при неподвижном состоянии резервуара происходит по закону

$$Q = Q_0 \cdot e^{-t/T},$$

где  $Q$  — плотность заряда через время  $t$ ;

$Q_0$  — начальная плотность заряда;

$t$  — время;

$T$  — постоянная времени продукта.

Особенно важное значение имеет материал аппаратов и трубопроводов, а также чистота самих жидкостей. В условиях металлических аппаратов и трубопроводов и чистых жидкостей заряды не скапливаются при надежном заземлении. Однако при применении эмалевых покрытий, при осмолении стенок и отложении кристаллов полимеров заземлением заряды не устраняются, так как эти покрытия изолируют аппарат от него. Особые затруднения возникают в районах вечной мерзлоты, где вообще невозможно осуществить заземление.

При движении газов и паров также возникают заряды статического электричества. При этом отверстие, через которое выбрасывается струя, обычно приобретает заряд противоположного знака по отношению к знаку заряда струи газа или пара. В качестве примера можно привести утечку горючего пара или газа через неплотности прокладок, особенно при больших давлениях. Исследования Фарадея показали, что существенным условием для образования больших зарядов является наличие в газе или паре пыли и капель. Авторам настоящей статьи удавалось получить заряды в струе воздуха лишь при прибавлении к воздуху угольной или другой пыли. Отмечались неоднократные воспламенения водорода, содержащего частицы пыли, при выходе его через узкие отверстия.

### Способы замера статического электричества

Для замера и индикаций статического электричества в простейших случаях применяются электрометры типа электроскопов. Электроскоп может служить для замера двух величин: величины заряда, который получается при непосредственном соприкосновении с заряженным телом, и величины потенциала, которым обладает тело, соединенное с электрометром проводником. Электроскоп позволяет измерить потенциал до 2000 в, считая, что одно деление шкалы соответствует примерно 100—200 в.

Помимо электроскопов для всевозможных измерений электростатического характера можно использовать струнный электрометр типа СЭ-1. Принципиальная схема струнного электрометра представлена на рис. 2; на две пластинки (ножи)  $A$  и  $B$  подается рав-



ный по величине и противоположный по знаку потенциал от батареи *Б*, середина которой заземлена. Между ножами подвешена тонкая нить *С* из платины, наблюдаемая через микроскоп. Если нить находится при потенциале, равном нулю, то она стремится занять нейтральное положение между ножами (нулевое положение). Если же на нить подать потенциал, то в зависимости от знака

подаваемого на нее потенциала она отклоняется от нулевого положения. По величине отклонения нити судят о величине измеряемого напряжения.

На таком же принципе электростатического взаимодействия между телами, находящимися под напряжением друг относительно друга, устроен электростатический киловольтметр типа *С-95*, трехпредельный (0—7 кВ; 0—15 кВ; 0—30 кВ) прибор со световым отсчетом электростатической системы.

Все описанные выше приборы позволяют измерить потенциал или заряд, а не напряжение электростатического поля и требуют непосредственного контакта их

электродов с заряженным телом. Кроме того, они мало чувствительны, хрупки, дороги, не допускают сотрясения и т. д.

В то же время очень важно знать величину плотности зарядов статического электричества на единицу поверхности  $\sigma$  к/см<sup>2</sup>.

Поэтому возникает необходимость в разработке прибора, позволяющего производить такие измерения. В настоящее время промышленность таких приборов не выпускает.

Приспособить для этой цели какой-нибудь другой электроизмерительный прибор промышленного изготовления также не представляется возможным, так как принцип работы всех вышеперечисленных приборов основан на прохождении через них тока. Получить же ток в данном случае без специального устройства невозможно, так как материал обычно является диэлектриком и тока не проводит.

Приборы по качественному определению плотности электростатических зарядов основаны на соотношении этой величины с напряженностью электрического поля.

$$\sigma = E \cdot \epsilon,$$

где  $\sigma$  — плотность зарядов, к/см<sup>2</sup>;

$E$  — напряженность электрического поля, в/см;

$\epsilon$  — диэлектрическая постоянная воздуха в системе единиц МКСА.  $\epsilon = 8,85 \cdot 10^{-14}$  ф/ом.

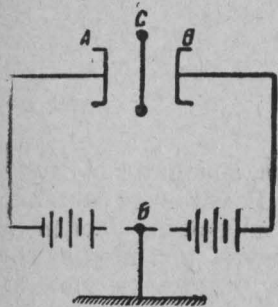


Рис. 2. Принципиальная схема струнного электрометра

Таким образом, если замерить напряженность поля  $E$ , то можно подсчитать плотность заряда на материале.

В 1946 г. Дроздовым Н. Г. и его сотрудниками<sup>3</sup> был разработан прибор для количественного определения поверхностной плотности электрических зарядов или напряженности электрического поля. В качестве выпрямителя в данном приборе используется механический коммутатор. Коммутатор разрывает цепь микроамперметра для одного направления тока трансформатора и замыкает для другого; на измерительный прибор поступают импульсы одного знака. Применение механического коммутатора в качестве выпрямителя ведет к уменьшению чувствительности вследствие инертности механической системы и позволяет измерить заряды статического электричества одного знака.

В лаборатории техники безопасности Московского института химического машиностроения разработан электронный прибор для определения плотности заряда и обнаружения статического электричества на расстоянии. Прибор состоит из трех основных частей (рис. 3): генераторной (1), где происходит систематическое нарушение электрического поля, создаваемого заряженным телом; усилительной (2), где усиливается напряжение и мощность; измерительной (3), содержащей мостовую фазочувствительную выпрямительную схему и измерительный прибор. Генераторная часть прибора обуславливает работу его двумя методами: методом непосредственного контакта электрода с заряженным телом и косвенным методом, путем помещения электрода в электрическое поле заряженного тела. В первом случае прибор покажет действительный знак заряда тела, во втором — обратный. Электродом служит неподвижная пластина воздушного конденсатора, вторая пластина которого насажена на вал синхронного двигателя, либо на диффузор электродинамического громкоговорителя. В последнем случае представляется возможным работать на повышенной частоте — до  $2+5$  кГц, что позволяет резко снизить уровень наводок тока промышленной частоты 50 Гц. Кроме того, резко уменьшается мощность, потребляемая приводом динамического конденсатора, что уменьшает уровень наводок на входе прибора.

Между генератором и усилительной частью установлена комплексная мостовая схема, компенсирующая э. д. с., наводимую во входной цепи электронного усилителя по активной и реактивной составляющей.

В усилителе три каскада: первые два работают в режиме усиления напряжения, третий — в режиме усилителя мощности класса А.

Как видно из схемы, прибор имеет три ступени чувствительности, отношение между которыми равно 10. В качестве аттенюатора используется активный делитель напряжения, включенный между первым и вторым каскадом усилителя, с целью уменьшения влияния наводок на положение нулевой точки прибора при переходе на новую ступень чувствительности. В анодную цепь последней лампы

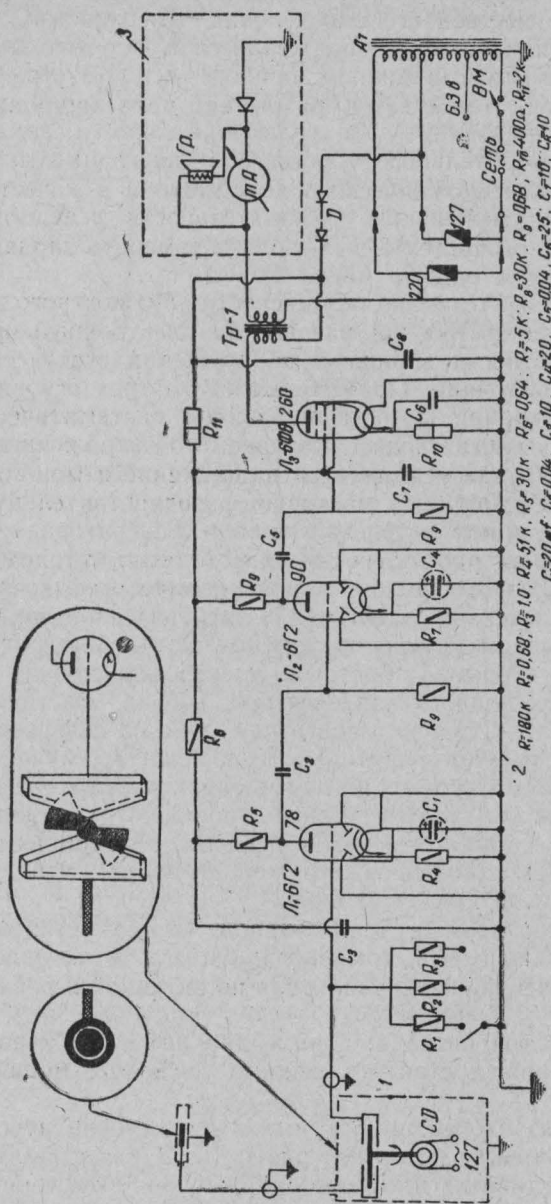


Рис. 3. Принципиальная схема прибора для измерения напряженности электростатического поля конструкции МИХМ

усилителя включен трансформатор с измерительной схемой во вторичной цепи. Измерительная схема состоит из четырех полупроводниковых диодов и четырех добавочных сопротивлений, включенных последовательно с каждым диодом с целью ограничения прямого тока через него.

К концам одной из диагоналей моста присоединяется обмотка опорного напряжения, а к концам другой — вторичная обмотка выходного трансформатора. Индикатор включен между средними точками этих обмоток.

В обычных схемах с твердыми выпрямителями полярность выпрямленного тока не зависит от фазы измеряемого переменного напряжения. Однако в ряде случаев необходимо, чтобы прибор контролировал не только величину напряженности поля статического электричества, но и его знак заряда. Эта задача успешно решается с помощью кольцевой фазочувствительной измерительной схемы.

Последняя не только обеспечивает чувствительность прибора к знаку заряда, но и делает ее одинаковой на всей шкале прибора.

Наряду с большими преимуществами рассмотренные выше приборы обладают одним существенным недостатком, заключающимся в том, что для их работы требуется сеть переменного тока, что трудно обеспечить во взрывоопасных помещениях.

В случае использования другого источника питания возможны две модификации прибора:

а) прибор с использованием рассмотренных выше генераторов во взрывобезопасном исполнении;

б) прибор с использованием принципиально нового типа генератора на основе радиоактивных изотопов.

Лабораторией был разработан второй тип прибора. Схема прибора дана на рис. 4. Работа прибора основана на измерении изменений тока, возникающего в ионизационной камере под воздействием радиоактивного излучения, при внесении камеры в поле статического электричества 1.

Прибор состоит из датчика 2, ионизационной камеры с пластинкой, на которой нанесен слой  $Pu^{239}$ , однолампового усилителя постоянного тока на электрометрической лампе 3 с входными высокоомными сопротивлениями, измерительного прибора — микроамперметра 4 и источника питания 5.

В нормальном режиме (при отсутствии электростатического поля) радиоактивное излучение  $Pu^{239}$  вызывает ионизацию воздуха в камере датчика. Под воздействием электрического поля в камере положительные и отрицательные ионы приобретают направленное

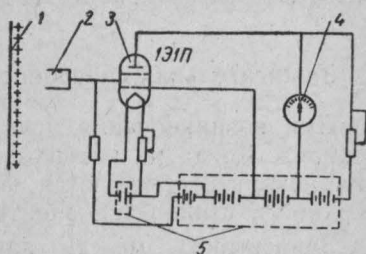


Рис. 4. Принципиальная схема прибора для замера величины электростатического поля на основе радиоактивного плутония-239

движение. Таким образом, в результате ионизации в цепи прибора возникает электрический ток, пропорциональный мощности излучения и напряженности электрического поля. В цепь камеры включено высокоомное сопротивление, по которому протекает ток камеры, создавая на нем падение напряжения. Величина напряжения на входном сопротивлении измеряется с помощью лампового усилителя, в анодную цепь которого включен электроизмерительный прибор. При внесении датчика в поле статического электричества последнее либо усиливает, либо ослабляет поле в датчике, благодаря чему изменяется ток в камере, что приводит к изменениям напряжения на входном сопротивлении. Последнее вызывает соответствующее изменение показания прибора.

Важными преимуществами данного прибора являются простота схемы и конструкции и высокая чувствительность. Наряду с этим, данному прибору свойственны и некоторые недостатки: прибор искажает характер электростатического поля и требует соблюдения техники безопасности в обращении в связи с наличием радиоактивных изотопов.

Разработанные приборы могут быть отградуированы как по величине плотности электрических зарядов, так и по величине напряженности поля статического электричества.

На ряде производств химической промышленности статическое электричество является постоянным фактором, определяющим пожароопасность технологических процессов. В связи с этим кафедрой техники безопасности МИХМ разработано устройство, которое позволяет автоматически контролировать, регистрировать во времени и регулировать напряженность поля статического электричества, чтобы исключить возможность превышения допустимого предела. Применение подобных автоматических устройств должно повысить эффективность борьбы со статическим электричеством.

### Зажигательная способность искр статического электричества

Для возникновения искр требуется определенное напряжение и заряд. Когда на поверхности материалов в результате нарушения контакта образуются электростатические заряды, то эти поверхности становятся электродами конденсатора.

Зависимость между напряжением, количеством электрического заряда и электрической емкостью имеет первостепенное значение и выражается формулой

$$U = \frac{Q}{C},$$

где  $U$  — напряжение между электродами конденсатора, в;

$Q$  — электрический заряд на одной из пластин, к;

$C$  — емкость конденсатора, ф.



Если напряжение между пластинами конденсатора будет повышаться, то ионизация воздуха также возрастает, а следовательно, возрастет и его проводимость, и еще больше ионов воздуха будет перенесено на соответствующие пластины. Воздух в результате возрастания его проводимости будет пропускать больше электричества от одной пластины к другой. Если в достаточной степени повысится напряжение, то количество ионов воздуха между пластинами, а следовательно, и проводимость воздуха настолько возрастет, что все заряды с одной пластины внезапно перейдут на другую пластину под действием их сил электрического притяжения. Это явление можно назвать электрической искрой.

Такая искра характеризуется видимой яркостью, слышимым звуком и генерированием тепла. При прохождении электрических искр образуются газы, среди которых особенно заметен озон, вследствие его специфического запаха.

Энергия искры, проходящей между электродами конденсатора под действием высокого напряжения, определяется следующей зависимостью

$$E = 0,5CU^2,$$

где  $E$  — энергия искры, *вт/сек*;

$C$  — емкость конденсатора, *ф*;

$U$  — напряжение между пластинами, *в*.

Энергия искры является одним из важнейших критериев определения возможности загорания или взрыва. Если искра достаточно интенсивна и образуемая тепловая энергия превышает определенную пороговую (предельную) величину, то может произойти воспламенение или взрыв горючих смесей.

Следовательно, для того, чтобы количественно определить степень взрывоопасности определенного процесса, необходимо иметь следующие данные:

- 1) степень электризации веществ;
- 2) величину незаземленных конденсаторов;
- 3) минимальную конденсаторную энергию, необходимую для оптимальных условий воспламенения веществ.

Степень электризации может быть определена прибором. Величина незаземленных конденсаторов также может быть замерена. Минимальная энергия для воспламенения определяется экспериментально.

В табл. 2 даны экспериментальные величины минимальной энергии воспламенения паров ряда жидкостей с воздухом.

### **Человек — как носитель зарядов статического электричества**

При малой относительной влажности воздуха и хождении по асфальту или линолеуму на теле человека могут возникнуть элек-



Наименование веществ	Минимальная энергия, мдж*
Сероуглерод . . . . .	0,15
Этиловый спирт . . . . .	0,45
Бензин . . . . .	0,5
Метиловый спирт . . . . .	0,5
Этилацетат . . . . .	0,5
Бутиловый спирт . . . . .	0,6
Ацетон . . . . .	0,6
Бутилацетат . . . . .	0,75
Спирт . . . . .	0,6
Толуол . . . . .	0,4 + 0,5
Ксилол . . . . .	0,4
Пентан . . . . .	около 2,3
Петролейный эфир . . . . .	около 2,3
Бензол с воздухом . . . . .	0,52
Питтсбургский природный газ . . . . .	0,5
Метан . . . . .	1,1

\* Данные относятся к стехиометрической концентрации.

трические заряды. Вследствие этого при приближении к металлическим частям оборудования или заземленным предметам от рук человека могут проскакивать искры значительной энергии.

Заряд может также перейти на работающего с заземленных машин, ремней, транспортеров, бункеров и т. п. В ряде случаев были замерены на людях потенциалы от 2000 до 15 000 в. Конденсаторная емкость человека была определена равной 100—200 мкф и более. Емкость человека можно считать состоящей из двух частей, соединенных параллельно: емкости тела (рассматриваемого как проводник), которая вблизи заземленной плоскости представляет собой обычно величину порядка 100 мкф, и емкости подошв, которая составляет (в случае ношения резиновой обуви) в среднем 200 мкф. Испытания, производившиеся с рядом людей, имевших на ногах резиновые галоши, дали значения полной емкости в пределах от 300 до 800 мкф. Таким образом, средней величиной емкости можно считать 500 мкф.

На основании этих данных можно на примере показать, какую опасность в смысле возникновения искр представляет электризация тела. Предположим, что тот или иной человек, обладающий конденсаторной емкостью в 100 мкф, является носителем заряда до 10 000 в. При этом энергия, возбужденная искрой, будет равна 0,005 вт/сек, что в несколько раз превышает пороговое значение энергий для воспламенения смесей газов, паров и пыли с воздухом.

На ряде заводов возникают пожары и взрывы в результате разрядов статического электричества, скопившегося на работающих. Скопление этого электричества происходит при хождении по асфальтовому полу в обуви на резиновых подошвах, или при переходе его с наэлектризованных изделий и аппаратов (резиновые ткани, перегонные аппараты и т. п.).

На заводах резиновой промышленности у намазочных машин были замерены на теле работающих потенциалы до 2000 в; при приближении рабочих к местам выделения паров бензина и соприкосновения пальцев с металлическими деталями возникали искры разрядов, и происходили загорания паров бензина. Для устранения этих загораний вдали от пожароопасных зон были установлены заземленные стояки. Рабочие, периодически дотрагиваясь до стояков, снимали большую часть зарядов и этим обеспечивали пожарную безопасность. На одном заводе при работе с этиловым эфиром рабочие получали электрические заряды вследствие хождения по асфальтовому полу в резиновой обуви и в результате перехода зарядов с эмалированного аппарата, у которого отвод зарядов затруднен. При открывании люка в результате соприкосновения с ним пальцев произошел разряд и возник пожар с серьезными последствиями. На заводах антибиотиков по причинам опасности пожаров и взрывов из-за разрядов статического электричества пришлось заменить этиловый эфир другими растворителями (метанол и т. п.).

Очень важное значение имеет зависимость между электрической емкостью человека и сопротивлением заземления. Эта зависимость называется постоянной времени.

Если предположить, что пол заземлен, то это сопротивление состоит из сопротивления кожи человека, главным образом, прилегающей к подошвам обуви его, сопротивления его чулок и сопротивления подошв обуви. Измерения показали, что величина этих сопротивлений составляет от нескольких тысяч ом, если человек носит электропроводящую обувь (обувь на кожаной подошве, подбитой медными заклепками), до  $10^{11}$  ом и выше, если он носит обувь с резиновыми подошвами и изолирующие (шерстяные, шелковые) чулки. Для предотвращения опасности возникновения искр это сопротивление должно быть ниже 10 мгом.

Скорость, с которой заряженный конденсатор может разрядиться, играет важную роль в предотвращении пожаров и взрывов от разрядов статического электричества, особенно в тех случаях,

когда воспламенение происходит от искры, возникающей от заряженного человеческого тела.

Время в секундах, требующееся для того, чтобы конденсатор емкостью  $C$  мог разрядиться до 36% его максимального заряда через сопротивление  $R$ , составляет

$$T = C \cdot R$$

Время, необходимое для полного разряда, в 3 раза больше вышеуказанной величины. Важное значение постоянной времени иллюстрирует следующий пример: предположим, что рабочий, обладающий электрической емкостью 100 мкф и сопротивлением на землю через обувь на резиновой подошве  $10^{11}$  ом, получил заряд в 10 000 в (величина вполне достаточная в процессе хождения по изолированному полу или вследствие перехода заряда с ленты, машины и т. п.). Если он быстро войдет в опасную зону, где имеются взрывоопасные пары, газы или пыль, то может возникнуть пожар или взрыв в тот момент, когда вследствие приближения руки к металлическому предмету, происходит разряд.

### Меры борьбы со статическим электричеством

Для разработки мер борьбы со статическим электричеством необходимо:

1) установить причины, обуславливающие электризацию материалов, оборудования и людей;

2) замерить величину генерируемого напряжения электрического поля или плотности зарядов статического электричества;

3) измерить или рассчитать электрическую емкость системы.

Для правильного выбора метода борьбы необходимо знать следующие технические данные и основные критерии, обуславливающие надежный коэффициент запаса:

а) характер материалов, соприкасающихся друг с другом (поверхностная электропроводность, диэлектрическая проницаемость и т. п.);

б) напряжение, образующееся между материалом и заземлением;

в) величину утечки тока от материала к земле;

г) электрическую емкость системы по отношению к земле;

д) минимальную энергию искры;

е) концентрацию взрывоопасных смесей (горючее + воздух) на протяжении всех рабочих циклов;

ж) сопротивление заземления по всей площади поля, где проходит технологический процесс, связанный с образованием статического электричества;

з) расчетную электрическую постоянную времени там, где люди создают опасность возникновения искр;

и) возможность электризации путем индукции;

к) температуру окружающей среды и материала;

л) условия вентиляции;

м) относительную влажность воздуха в помещении.

В ряде зарубежных руководств по борьбе со статическим электричеством указывается, что самой эффективной мерой является недопущение образования взрывоопасных концентраций (применение в резервуарах плавающих крыш, заполнение свободного пространства в аппаратах азотом или углекислотой через воздушники — «азотное дыхание» и т. п.). С этим безусловно необходимо согласиться, так как образование зарядов и их устранение зависит от очень многих переменных факторов.

На основании действующих в СССР правил по защите от статического электричества и вторичных проявлений молнии на предприятиях химической промышленности все вещества, имеющие удельное сопротивление более  $10^6 \text{ ом} \cdot \text{см}$  (см. табл. 3), требуют специальных мер защиты.

Таблица 3

Вещество	Удельное сопротивление, <i>ом/см</i>
Серебро . . . . .	$1,5 \cdot 10^{-6}$
Медь . . . . .	$1,7 \cdot 10^{-6}$
Разбавленная серная кислота . . . . .	1
Резина проводящая . . . . .	$2,0 \cdot 10^2 - 2 \cdot 10^3$
Графит . . . . .	$8 \cdot 10^2 - 1,4 \cdot 10^3$
Почва . . . . .	$6 \cdot 10^2 - 5 \cdot 10^5$
Дистиллированная вода . . . . .	$10^6$
Волокнистые вещества . . . . .	$10^9$
Искусственные смолы . . . . .	$10^9 - 10^{14}$
Натуральный каучук . . . . .	$10^{14} - 10^{15}$
Эбонит . . . . .	$10^{14} - 10^{15}$
Дерево сухое . . . . .	$10^{10} - 10^{16}$
Стекло . . . . .	$10^{13} - 10^{16}$
Сера . . . . .	$10^{17}$
Сероуглерод жидкий . . . . .	$10^{10} - 10^{18}$
Кварц . . . . .	$10^{18}$
Парафин . . . . .	$10^{18}$
Полистирол . . . . .	$10^{17} - 10^{18}$
Янтарь . . . . .	$10^{18}$

Для производств, где применяются или получаются вещества, удельное сопротивление которых не превышает  $10^6$  ом/см и которые практически не электризуются, специальные мероприятия по защите от статического электричества не требуются<sup>9</sup>.

Основными методами борьбы со статическим электричеством являются:

1. Заземление.
2. Увлажнение.
3. Антистатические вещества.
4. Ионизация воздуха.

## Заземление

Одним из наиболее ошибочно трактуемых вопросов промышленной электростатики является заземление. К числу ошибочных представлений о действии заземления относится уверенность в том, что накопление статического электричества не может иметь место, когда металлические части машин заземлены. Такое ошибочное представление обусловлено непониманием основных принципов электростатики. При заземлении металлических частей машин ни генерирование, ни накапливание зарядов не устраняется, так как скорость генерирования всегда превышает скорость перехода заряда в землю.

Спорным является вопрос о заземлении подшипников. Е. Гейдельбер<sup>4</sup> утверждает, что при плотном прилегании вала и подшипника пленка смазочного вещества систематически разрушается и, таким образом, не создает большого удельного сопротивления. Вследствие этого автор утверждает нецелесообразность наличия заземления. Мы считаем, что в данном случае имеется очень много причин, чтобы не согласиться с этим утверждением. По имеющимся данным, полученным лабораторией проф. Стекольниковой, только подземные резервуары, специально не защищенные изоляцией, не будучи заземлены, не накапливают опасных зарядов.

Однако на практике не учитывают, что изоляционный слой на поверхности или внутри аппаратов, резервуаров и трубопроводов (эмаль, покраска, осмоление стенок) делает заземление неэффективным, больше того — создает ложное впечатление о безопасности. Поэтому в этих случаях следует вместо антикоррозийной эмали применять футеровки из металлов, графитовых плиток или установить сроки чистки аппарата в зависимости от времени, когда заряды статического электричества становятся опасными. Требование своевременной чистки также относится к пневматическим сушилкам и пневмотранспорту, на стенках аппаратов и трубопроводов которых отлагается слой материала.

Сложной проблемой является заземление людей. Например, ранее на заводах взрывчатых веществ для этого устраивались заземленные свинцовые поля, по которым рабочие ходили босыми или в ботинках с проводящей промежуточной стелькой, соединен-



ной с цепочкой, которая волочилась за человеком. Однако это влекло за собой опасность падения. Наиболее удовлетворительным решением явилось использование обуви на проводящей резине или обуви с кожаной подошвой, пробитой медными заклепками, а также применением сухих настилов на полу из проводящих материалов, приведенных в табл. 4.

Таблица 4

Материал	Удельное сопротивление, ом·см
Асфальт . . . . .	$10^{12}$
Обожженная керамика . . . . .	$10^9 - 10^{12}$
Керамическая плитка . . . . .	$10^9 - 10^{11}$
Мозаичный пол . . . . .	$10^7 - 10^9$
Шпаклевочная масса . . . . .	$10^8 - 10^9$
Нормальный бетон толщиной 3 см . . . . .	$10^7$
Мозаичный пол электропроводящий . . . . .	$10^5$
Плитки из искусственного камня . . . . .	$10^4 - 10^5$
Резина электропроводящая . . . . .	$10^4$
Специальный бетон толщиной 5 см . . . . .	$10^4$
Пенобетон проводящий . . . . .	$10^4$

Свинцовые и алюминиевые полы обладают тем недостатком, что их продукты коррозии отличаются хорошей изолирующей способностью. Для того, чтобы полы из цемента Сотреля обладали надлежащей электропроводностью, они должны поддерживаться во влажном состоянии. Весьма важным мероприятием при изолированных полах являются заземление металлических ручек и укладка заземленных металлических листов перед входом. Целесообразно также оборудование около опасных зон заземленных трубчатых стояков. Перед подходом к опасным зонам руки накладываются на стояки, и заряд стекает. Это также периодически следует проделывать в том случае, когда заряд на человеке переходит от заряженных тканей и других предметов.

Заземляющие устройства для защиты от статического электричества и вторичных проявлений молнии могут быть общими. Величина сопротивления заземлителя в этом случае должна быть не более допускаемой для защиты от вторичных проявлений молнии (для объектов первой категории — не более 5 ом, для объектов второй категории — не более 10 ом)<sup>9</sup>.



Сопротивление заземляющего устройства, предназначенного только для защиты от статического электричества, учитывая малые величины разрядных токов (микроамперы), допускается до 100 ом.

Использование заземляющих устройств электрооборудования для защиты от статического электричества и вторичных проявлений молнии допускается, если сопротивление этих устройств не превышает необходимых величин.

## Увлажнение

Насколько известно, в литературе отсутствуют достаточно точные данные о минимальном значении относительной влажности, при котором отпадала бы опасность скопления электростатических зарядов.

Однако отмечается, что большинство воспламенений и взрывов от искр статического электричества происходит обычно в летние и зимние месяцы, когда относительная влажность воздуха низка. Действие увлажнения состоит в том, что на поверхности электризующихся материалов конденсируется пленка водяных паров, вследствие чего материал становится более электропроводным и образующиеся заряды постепенно стекают в землю.

За величину минимальной относительной влажности обычно принимается 70%. Однако увеличением относительной влажности воздуха не всегда удается полностью устранить статические заряды и приходится применять другие методы. Кроме того, при относительной влажности воздуха в 70% и более, конденсирующаяся пленка ухудшает качество материалов и ведет к браку продукции.

## Антистатические вещества

Во избежание пожаров и взрывов от разрядов статического электричества на некоторых химических производствах применяют антистатические вещества.

Так, при производстве высокомолекулярных пленок примесь таких сильнополярных веществ, как растворители — спирт, сложные эфиры, кетоны, у которых диэлектрическая проницаемость выражается числом от 20 до 40 и удельное сопротивление равно  $10^4$ — $10^7$  ом·см, значительно повышает электропроводность поверхности основы этих пленок<sup>5</sup>.

Покрытие основы пленки лаком, содержащим в своем составе какое-либо гигроскопическое вещество и электролит, с целью увеличения электропроводности основы за счет прочной адсорбции на ее поверхности влаги из воздуха и за счет проводимости электролита, дает положительный результат, если удельное сопротивление такой пленки при 20° и 60% относительной влажности будет ниже  $10^9$  ом·см.

Путем добавления антистатических веществ получена в последние годы электропроводящая резина.

При добавлении к легко электризующимся жидкостям антистатических жидкостей могут быть значительно снижены опасности разрядов и искрений.

Так, при добавлении к бензолу уксусной кислоты и токопроводящих солей (олеино-кислого магния) опасность возникновения зарядов снижается.

В химико-технологическом институте в Брауншвейге была проведена работа по проверке степени электризации углеводов в зависимости от добавок спирта, жирных кислот, аминов, меркаптанов<sup>6</sup>. Опытами установлено, что сила тока была пропорциональна электропроводности растворов, которая в зависимости от добавок составляла от  $10^{-18}$  до  $10^{-11}$   $\text{ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$ .

## Ионизация воздуха

Ионизацией называется процесс образования в нейтральном газе положительно и отрицательно заряженных атомов и молекул, которые называются положительными и отрицательными ионами<sup>7</sup>.

Согласно электронной теории строения атома, каждый электрон в атоме обладает вполне определенной величиной энергии и находится на определенном дискретном энергетическом уровне.

Процесс образования заряженного иона состоит в отрыве от атома одного из валентных электронов или присоединении лишнего электрона.

При ионизации атома вследствие удара об него электрона, затрачивается энергия, равная кинетической энергии движения электрона, которая должна быть для этого достаточно велика.

Энергия определяется следующим соотношением:

$$\frac{mv^2}{2} = eU,$$

где  $U$  — разность потенциалов;

$v$  — скорость движения электрона;

$m$  — масса электрона.

Каждый газ имеет определенный ионизационный потенциал  $U$ , который выражается в электрон-вольтах. Величина  $U_i$  определяется экспериментально.

При ионизации воздуха потоком электронов возможны два случая: а) упругое столкновение, когда электрон при столкновении не изменяет своей скорости; б) неупругое столкновение, когда столкновение сопровождается потерей определенной доли энергии, равной в среднем двухатомному отношению масс сталкивающихся тел.

Подобно ионизации атомов происходит ионизация молекул. Однако при неупругом столкновении электрона с молекулой происходит не только возбуждение электронов молекулы, но и изменение вращательного и колебательного уровней энергии молекул. На возбуждение этих уровней требуется значительно меньше энергии, чем на возбуждение и ионизацию электронных уровней.

Ионизационный потенциал молекул двухатомного газа ( $N_2$ ,  $O_2$ ) иной, чем ионизационный потенциал атомов того же газа.

Ионизация молекул, как правило, сопровождается их диссоциацией. При неупругом столкновении положительного иона с электроном происходит отрыв второго электрона и образуется двухкратный заряженный ион, а при столкновении двухкратно заряженного иона с электроном образуется трижды заряженный ион и т. д. Этот процесс называется многократной ионизацией. Потенциал многократной ионизации равен сумме потенциалов ионизации нейтрального атома.

Известны многие способы ионизации молекул воздуха, среди них:

- а) ионизация рентгеновскими и ультрафиолетовыми лучами;
- б) тепловая ионизация;
- в) ионизация энергией высоковольтных электрических полей;
- г) ионизация радиоактивными веществами.

Рентгеновские и ультрафиолетовые излучатели не нашли применения, так как они громоздки, дороги и неудобны. Электрическое оборудование для такой ионизации может представлять большую опасность, чем подлежащие устранению электрические заряды.

Сущность тепловой ионизации состоит в том, что при высокой температуре сильно увеличивается число быстро движущихся частиц газа, что может привести к переходу кинетической энергии движения частиц в энергию их ионизации.

Термически ионизированный газ представляет собой такую же термодинамическую равновесную систему, как насыщенный пар и жидкость или термически диссоциированный молекулярный газ. Поэтому к термической ионизации можно прилагать законы и формулы термодинамики. Эгерт и Сага<sup>7</sup>, применяя термодинамические расчеты к термической ионизации, вывели формулу для случая однократной ионизации, т. е. отщепления одного электрона,

$$\frac{\alpha^2 P}{1 - \alpha^2} = (2\pi m)^{3/2} \cdot R^{5/2} \cdot T^{5/2} \cdot e^{\frac{\epsilon_i}{RT}},$$

где  $\alpha$  — отношение числа ионизированных частиц к их первоначальному общему числу;

$P$  — сумма парциальных давлений нейтрального, ионного и электронного газов;

$\epsilon_i$  — энергия ионизации, равная произведению  $eU_i$ ;

$T$  — температура, °К;

$R$  — константа Больцмана, равная  $1,37 \cdot 10^{-16}$  эрг/°К.

Упрощая это уравнение, т. е. объединяя все физические константы и выражая  $P$  в барах ( $дн/см^2$ ), получаем

$$\frac{\alpha^2}{1 - \alpha^2} P = 1,33 T^{5/2} e^{\frac{eU_i}{RT}}.$$

Так как  $\alpha$  является малой величиной по сравнению с единицей, уравнение упрощается:

$$\alpha^2 = \frac{A}{P} T^{3/2} e^{\frac{-eUi}{RT}}.$$

$A = 1,33$  при  $P$  — в барах;  $A = 2,4 \cdot 10^{-4}$  при  $P$  — в мм.

Из этого уравнения видно, что значение  $\alpha$  зависит не только от  $T$ , но и от давления газа.

При малых значениях  $\alpha$  давление  $P$  можно принимать равным тому давлению, которое имело бы место при  $t=T$ , но при отсутствии термической диссоциации.

Термическая ионизация в виде газовых пламен нашла применение на бумажных и хлопчатобумажных фабриках. Этот способ не применим в большинстве случаев и особенно в химической промышленности из-за его пожароопасности.

Интерес представляет термоионизатор, предложенный Тартутским университетом под маркой РММ-2. На рис. 5 дана его схема.

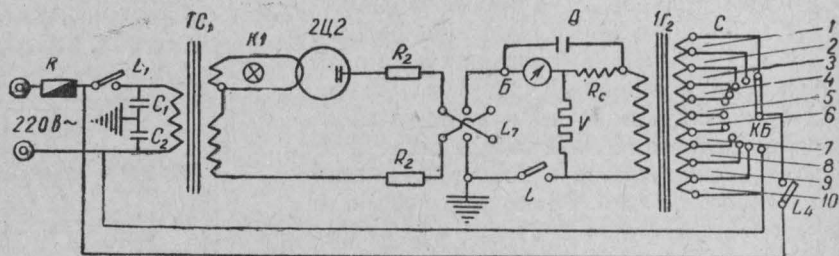
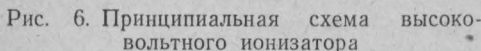


Рис. 5. Принципиальная схема термоионизатора.

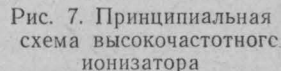
Источником ионизации является нихромовая спираль  $U$ , нагреваемая током низкого напряжения ( $10-30$  в и  $1-3$  а) до температуры  $900^\circ$ . Ток низкого напряжения и достаточной силы подается на спираль  $U$  от трансформатора  $1 r_2$ . Кроме того, со вторичной обмотки высоковольтного трансформатора  $Tc_1$  на эту спираль подается потенциал  $5000$  в, знак которого определяет полярность ионов, образующихся вокруг нихромовой спирали. В ионизатор вмонтирован вентилятор, который обдувает спираль и способствует, таким образом, уносу ионов. На расстоянии  $1$  м от ионизатора получается достаточная концентрация ионов порядка  $10^5$  ионов/см<sup>3</sup>.

Ионизация воздуха электрическим полем высокого напряжения частоты  $50$  гц и высокочастотным электрическим полем высокого напряжения для целей нейтрализации статического электричества очень эффективна и находит применение в текстильной и бумажной промышленности<sup>8</sup>. Принципиальная электрическая схема ионизатора высокого напряжения частоты  $50$  гц изображена на рис. 6. Она состоит из разрядника  $P$  с рядом остроконечных штифтов, подключенного ко вторичной обмотке высоковольтного трансформатора  $T$ .



Эти способы ионизации воздуха можно применять для нейтрализации статического электричества в тех отраслях промышленности, где имеются горючие и взрывоопасные газы, пары и пыль, при условии, что аппаратура для ионизации должна быть во взрывобезопасном исполнении. Иначе она может явиться сама причиной пожаров и взрывов.

150





мышленности рекомендуется применять единственно возможный метод ионизации воздуха радиоактивными изотопами.

Ионизация воздуха радиоактивными излучениями сводится в случае  $\alpha$ - и  $\beta$ -источников к ионизации путем неупругих соударений, а в случае  $\gamma$ -источников к фотоионизации<sup>7</sup>. Основными компонентами воздуха являются кислород и азот — двухатомные газы, поэтому при ионизации воздуха речь идет об ионизации и молекул и атомов. При излучении  $\alpha$ - или  $\beta$ -частиц в среду воздуха они сталкиваются с молекулами обоих газов, образуя свободные электроны и положительные ионы молекул кислорода и азота. Кислород легко и быстро образует ионы отрицательных молекул, вследствие чего все электроны связываются с молекулами кислорода. Доказано, что молекулярный азот не присоединяет к себе электроны и не образует отрицательных ионов. Таким образом, конечный результат пропускания  $\alpha$ - и  $\beta$ -частиц через воздух выражается в получении отрицательных ионов молекул кислорода и положительных ионов молекул азота.

Если сравнить источники  $\alpha$ -,  $\beta$ - и  $\gamma$ -излучения с точки зрения их ионизационной способности, то на первом месте стоят  $\alpha$ -источники, на втором —  $\beta$ -источники и на третьем —  $\gamma$ -источники.

Энергия  $\alpha$ -частиц целиком затрачивается на ионизацию воздуха, что же касается  $\beta$ - и  $\gamma$ -частиц, то большая часть их энергии затрачивается на процессы, не имеющие ничего общего с ионизацией: фотоэффект, эффект Комптона и др.

В лаборатории техники безопасности МИХМа были проведены исследования ионизационной способности  $\alpha$ - и  $\beta$ -источников. В качестве  $\alpha$ -источников были взяты препараты полония-210 и плутония-239, в качестве  $\beta$ -источников — стронций-90, таллий-204, радий. Оценка ионизирующей способности радиоактивных препаратов производилась по величине ионного тока.

Результаты исследований  $\beta$ -источников приведены в виде кривых зависимости ионного тока от расстояния между пластинами конденсатора и напряжении между ними (рис. 8).

Как показали исследования,  $\alpha$ -источники могут применяться для местной ионизации воздуха с целью нейтрализации статического электричества в месте его образования. Там же, где необходимо нейтрализовать образующееся статическое электричество в объеме аппарата, лучше всего использовать  $\beta$ -источники.

$\gamma$ -источники практического применения не находят вследствие малой своей эффективности и значительной опасности для персонала.

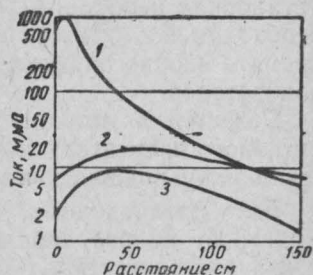


Рис. 8. Кривые зависимости ионного тока от расстояния между обкладками конденсатора для различных радиоактивных источников:

- 1 — 1,4 мг. Ra;
- 2 — 3 мс Sr=90;
- 3 — 1,6 мс Tl=204.



$\alpha$ -источники дают плотную ионизацию на пути в 7 см, и они могут быть использованы на расстоянии 3 ÷ 6 см от заряженной поверхности в зависимости от интенсивности статического электричества.

В  $\beta$ -источниках используется таллий-204, получаемый облучением обычного таллия медленными нейтронами, или стронций-90 в равновесии с иттрием-90, получаемые при расщеплении урана в реакторе.

Вторичные тормозные излучения, возникающие при прохождении  $\beta$ -лучей от указанных источников через различные преграды, настолько слабы, что ими можно пренебречь с точки зрения опасности для персонала, если работы ведутся с маломощными источниками.

При всех прочих равных условиях таллиевый нейтрализатор создает разрядный ток порядка 5 ÷ 10  $\mu\text{а}$  и 7 ÷ 20  $\mu\text{а/мС}$ .

Преимущество стронция перед таллием уменьшается на коротких расстояниях, если  $\beta$ -лучи могут образовать ионы с обеих сторон заряженного материала. Как видно из рис. 8, таллиевые нейтрализаторы эффективны на расстоянии 40 см, а стронциевые — 50—60 см.

Для практического применения радиоактивных излучателей в целях нейтрализации статического электричества в промышленных установках необходимо, во-первых, разработать методику расчета необходимой активности радиоактивного источника; во-вторых, принять вполне определенную конструкцию местных радиоактивных ионизаторов.

Разработка методики расчета необходимой активности радиоактивного излучателя велась относительно движущихся лент, полотен и тому подобных материалов.

Если предположить, что движущаяся со скоростью  $v$  лента при отрыве от ролика заряжается равномерно, то количество статического электричества, возникающее в единицу времени на ленте, определится по формуле

$$Q = \sigma \cdot v \cdot b \text{ к/сек},$$

где  $\sigma$  — плотность статического электричества, возникающего на ленте,  $\text{к/см}^2$ ;

$v$  — скорость движения ленты,  $\text{см/сек}$ ;

$b$  — ширина ленты,  $\text{см}$ .

Под действием радиоактивного источника в воздухе около ленты будут создаваться ионы:

$$N = 3,7 \cdot 10^7 \cdot A \frac{E}{I_n} \text{ пар ионов/сек.},$$

где  $A$  — активность радиоактивного источника, *милликюри*;

$E$  — энергия частиц, испускаемых радиоактивным источником, *электрон-вольты*;

$I_n$  — ионизационный потенциал воздуха, т. е. энергия, затрачиваемая одной  $\alpha$ - или  $\beta$ -частицей на образование одной пары ионов, *электрон-вольты*.

Эти образованные источником ионы не все участвуют в нейтрализации зарядов статического электричества, а только какая-то часть  $N_1$ , другая же часть ионов подвергается рекомбинации, т. е. вновь образуются нейтральные атомы и молекулы.

Зная, что заряд одного иона равен  $q = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ к}$ , и что число пар ионов, идущих на нейтрализацию зарядов статического электричества, составляет  $K$  (часть от общего числа  $N$ ), можно определить то количество электричества, которому они эквивалентны

$$Q = q \cdot K \cdot N \text{ к/сек.}$$

Подставляя в эту формулу ранее полученные значения, имеем следующие соотношения:

$$\sigma \cdot v \cdot b = 3,7 \cdot 10^7 \cdot A \frac{Eq \cdot K}{I_n}.$$

Отсюда находим выражение для определения активности радиоактивного источника:

$$A = \frac{\sigma \cdot v \cdot b \cdot I_n}{3,7 \cdot 10^7 EqK} \text{ милликюри.}$$

В этой формуле величины  $v$  и  $b$  легко определимы;  $E$ ,  $I_n$  и  $q$  — физические константы;  $\sigma$  определяется выше описанным прибором конструкции МИХМ или же расчет ведется по максимальной пробойной плотности зарядов для воздуха, равной  $2,9 \cdot 10^{-9} \text{ к/см}^2$ . Коэффициент  $K$  учитывает уменьшение активности за счет рекомбинации ионов, самопоглощения слоем радиоактивного источника и других причин, и принимается равным 0,25, что соответствует четырехкратному запасу надежности.

Конструктивно местные радиоактивные ионизаторы (нейтрализаторы) на основе  $\alpha$ - и  $\beta$ -источников выполняются в виде пластин — подложек, на которые наносится радиоактивный препарат. Подложка выполняется из нержавеющей стали или любого другого коррозионностойкого материала. Толщина материала выбирается от 0,5 до 2,0 мм с учетом возможности штамповки. Подложка выполняется в виде корытца с бортиками 2—5 мм; бортики величиной 5 мм делаются с торца для соединения отдельных подложек между собой.

Способ нанесения радиоактивного препарата зависит от типа излучателя, применяемого для этой цели.

Полоний-210 можно применять только в виде фольги, защищенной сверху слоем неактивного золота. Этот слой позволяет защитить

слой активного полония от сублимации в воздух, а следовательно, предохранить воздух от загрязнения аэрозолем полония, которая очень вредна для людей. Полониевая фольга до сих пор нашей промышленностью не выпускается, использовать же какие-либо другие покрытия не удалось, так как полоний очень химически активен, разрушает все покрытия.

Плутоний-239, применяющийся в виде двуокиси  $PuO_2$ , должен быть обязательно защищен слоем пластмассы типа полиэтилентерефталата с удельной плотностью  $1 \text{ мг/см}^2$ . Это позволит предохранить активный слой препарата от осыпания, предотвратить загрязнение воздуха и защитить обслуживающий персонал. Возможно использование  $Pu^{239}$  в виде эмалевого слоя. Если же удастся получить плутоний в виде фольги, то это будет самым лучшим решением вопроса о его применении в промышленности.

Таллий-204 и стронций-90 также лучше всего применять в виде активных фольг. Рационально электролитическое нанесение таллия или стронция на подложки из нержавеющей стали или алюминия, а также заключение их в алюминиевые капсулы.

Для транспортировки и хранения радиоактивных препаратов на металлической подложке с применением  $\alpha$ -излучателей используются плексигласовые контейнеры со съемной крышкой толщиной 6—8 мм. Для  $\beta$ -излучателей толщина применяемого плексигласа увеличивается до 12 мм вследствие большей проникающей способности  $\beta$ -частиц стронция и таллия.

Для защиты обслуживающего персонала от внешнего  $\beta$ -излучения при применении  $\beta$ -ионизаторов необходимо предусмотреть защитный кожух из листового алюминия или дюрала толщиной, необходимой для обеспечения полного отсутствия внешнего облучения по прибору КИД-1.

При опытном внедрении местной ионизации и ее испытании авторами были проведены следующие работы:

1) на рифайнерных вальцах (на заводе СК) возникали заряды до 10 000 в. В результате разрядов и образования искр происходили вспышки и пожары. Была установлена пластина с полонием-210 длиной 100 см и шириной 30 см с удельной активностью  $0,3 \text{ мк/см}^2$ . Заряды мгновенно нейтрализовались и в течение рабочего дня не возникали;

2) при отмывке стекловолокна от органического замасливателя на заводе «Стекловолокно» (Гусь-Хрустальный) стекло протягивалось через растворитель — бензин. При этой операции возникали заряды до 55 000 в. При разрядке искр произошел пожар. Для нейтрализации зарядов была установлена пластина с таллием активностью 400 мк. Пластина была защищена с трех сторон от  $\beta$ -излучений алюминием, лучи направлялись на место образования зарядов, которые полностью нейтрализовались. Установка работает бесперебойно;

3) на Казанской киноплочной фабрике в результате образования статического электричества возникал брак (засвечивание от

искр разрядов) и пожары. Были установлены пластины с положением 210 длиной 100 см, шириной 30 см и удельной активностью 0,3 мк/см<sup>2</sup>. Заряды до 250 000 в нейтрализовались мгновенно. Фотопленка не засвечивалась, так как пластины устанавливались на определенном безопасном расстоянии;

4) на обувной фабрике «Парижская коммуна» от искр статического электричества происходили пожары и взрывы паров бензина. Они были устранены после того, как был установлен таллиевый нейтрализатор под крышкой аппарата-клеемешалки. Стенки нейтрализатора обеспечивают защиту обслуживающего персонала от  $\beta$ - и вторичных  $\gamma$ -излучений.

Приведенные выше примеры наглядно показывают целесообразность и возможность применения радиоактивных изотопов для борьбы со статическим электричеством в различных отраслях промышленности особенно при использовании псевдооживленных процессов, эмалированных аппаратов и т. п. При этом, однако, следует учитывать, что  $\alpha$ - и  $\beta$ -излучатели на металлической подложке являются источниками местной ионизации и способны нейтрализовать статическое электричество только в месте его образования за счет местной ионизации воздуха. В ряде отраслей промышленности необходима объемная ионизация, т. е. ионизация всего объема воздуха в аппаратах или машинах. В иностранной литературе имеются указания на возможность применения объемной ионизации воздуха для целей борьбы со статическим электричеством в промышленности. При рассмотрении этого вопроса необходимо иметь в виду наличие двух понятий в этой области: а) униполярного воздуха, б) биполярного воздуха.

Униполярный воздух — это воздух, содержащий ионы одной полярности. Такой воздух способен полностью нейтрализовать заряды противоположного знака.

Биполярный воздух — это воздух, содержащий ионы обеих полярностей. Он способен нейтрализовать заряды статического электричества обоих знаков, но с меньшей эффективностью, чем униполярный воздух нейтрализует заряды противоположного знака.

Униполярный воздух получается из исходного биполярного воздуха путем применения механизма для разделения ионов. Биполярный воздух может быть получен самыми различными способами. Наиболее эффективным является использование  $\alpha$ - и  $\beta$ -излучений.

При выборе радиоактивного препарата для ионного генератора необходимо учитывать два важных фактора, а именно: период полураспада радиоактивного источника должен быть достаточно длительным, чтобы обеспечить относительно постоянный выход ионов; излучение не должно сопровождаться сильным испусканием  $\gamma$ -частиц, вредно действующих на обслуживающий персонал.

Этим требованиям наиболее отвечает из  $\alpha$ -излучателей плутоний-239, а из  $\beta$ -излучателей — стронций-90 и таллий-204.

Зная активность  $\alpha$ - или  $\beta$ -излучателя, можно легко вычислить образующееся количество ионов. Отношение фактического выхода

ионов к теоретически максимальной скорости образования ионов характеризует эффективность ионного генератора. Эффективность всегда будет ниже 100%. Максимальная теоретическая скорость образования ионов при активности излучателя  $A$  определяется уравнением

$$N_{\max} = 3,7 \cdot 10^7 \cdot A \frac{E}{I_n} \text{ пар ионов/сек,}$$

где  $A$  — активность излучателя, *милликюри*;

$E$  — энергия частиц излучателя, *электрон-вольты*;

$I_n$  — энергия, затрачиваемая  $\alpha$ - или  $\beta$ -частицей на образование одной пары ионов, *электрон-вольты*.

Зная размеры излучателя и примерную длину пробега  $\alpha$ - или  $\beta$ -частиц, можно рассчитать максимальную плотность или концентрацию ионов при спокойном состоянии воздуха.

$$n_{\max} = \frac{N_{\max}}{V} \text{ пар ионов/сек} \cdot \text{см}^3,$$

где  $V$  — объем воздуха над излучателем с учетом длины пробега  $\alpha$ - или  $\beta$ -частиц.

Фактическую концентрацию ионов в воздухе на различных расстояниях от излучателя и при разных скоростях движения воздуха можно определить специально сконструированным прибором, основанном на принципе цилиндра Фарадея (аспирационного конденсатора).

На рис. 9 показан ионный генератор биполярного воздуха, состоящий из трубы 1 металлической или плексигласовой, радиоактивного излучателя 2, вентилятора 3 и реостата 4, позволяющего изменить скорость просасывания воздуха.

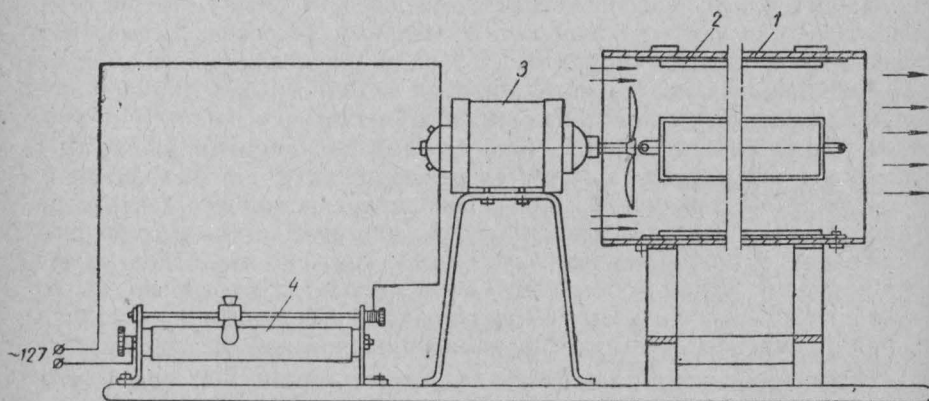


Рис. 9. Принципиальная конструкция ионного генератора биполярного воздуха.  
(Длина ионной трубы 1,5 м).



Радиоактивный излучатель (в данном случае  $\alpha$ -источник) крепится на трубе 1 по кольцу так, что создает равномерную ионизацию в объеме ионной трубы.

Простейшая конструкция ионного генератора униполярного воздуха представлена на рис. 10. Прибор состоит из пластмассового стакана 1, внутри которого расположен электрод 2, покрытый тонким слоем радиоактивного изотопа, испускающего  $\alpha$ - или мягкие  $\beta$ -лучи. В пластмассовой трубке 3 расположен другой электрод 4. Между электродами создается постоянное напряжение порядка 100 в, получаемое от миниатюрного селенового выпрямителя, расположенного в приборе. Стакан 1 имеет высоту, немного превышающую длину пробега  $\beta$ -частиц в воздухе. Электрод 4, имеющий положительную полярность, вытягивает из биполярной области отрицательные ионы. В трубку 3 вставлен вентилятор типа «фен», создающий воздушный поток, направленный перпендикулярно к направлению движения отрицательных ионов. При скорости воздушного потока большей скорости отрицательных ионов в направлении поля все отрицательные ионы выносятся из поля. Правила техники безопасности при применении  $\alpha$ - и  $\beta$ -ионизаторов даны в приложении 1.

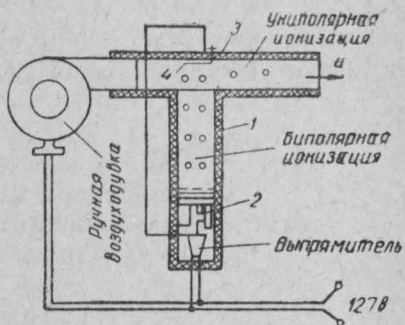


Рис. 10. Принципиальная конструкция ионного генератора униполярного воздуха

## Приложение 1

### Правила техники безопасности при применении $\alpha$ - и $\beta$ -ионизаторов

1.  $\alpha$ - и  $\beta$ -ионизаторы представляют опасность при попадании радиоактивных частиц на руки, одежду, приборы и в организм человека.

2.  $\alpha$ -ионизаторы должны применяться в безопасном виде (металлическая фольга, оксидные и эмалевые пленки и т. п.), исключая возможность осыпания, загрязнения при соприкосновении и образования аэрозолей и т. п.

3. Применение  $\alpha$ -ионизаторов в открытом виде без защиты недопустимо.

4.  $\beta$ -ионизаторы могут использоваться лишь в закрытом виде в алюминиевых капсулах, запаянных алюминиевой пленкой с соответствующей защитой от  $\beta$ - и вторичных  $\gamma$ -излучений. Открытое применение препаратов в виде лаковых пленок не допускается.

5. Ионизационные пластины при установке проверяются на загрязненность и в случае обнаружения загрязнений бракуются с составлением акта.



6. Для проверки загрязненности ионизаторов на предприятии должен иметься прибор типа ТИСС.

7. Периодически через каждые 3 месяца проверяются цельность пластмассовых пленок, защищающих пластины, и их загрязненность.

8. При применении  $\beta$ -ионизаторов необходимо принять меры против возможности облучения рабочих  $\beta$ - и вторичным  $\gamma$ -излучением в соответствии с санитарными правилами, утвержденными 25 июня 1960 г. за № 333—60<sup>10</sup>.

9. Хранение, учет радиоактивных изотопов и обращение с ними должны соответствовать вышеуказанным санитарным правилам.

## Приложение 2

### Характеристика источников $\beta$ -излучений, изготавливаемых промышленностью и поставляемых трестом «Союзреактив» в 1959—1961 годах

#### I. Прометий-147

Период полураспада . . . . .	2,66 года
Энергия излучения, мэв . . . . .	0,223

Источники в виде пластин

Активность источника, мкюри . . . . .	100, 200, 500, 1000
Размер активной части пластины, мм . . . . .	50×150

#### II. Таллий-204

Период полураспада . . . . .	5,26 года
Энергия излучения, мэв . . . . .	0,765 (98%)

Источники из таллия-204 изготавливаются в виде пластинок и дисков из листового таллия (толщиной 0,5 мм), вложенного в конверты из алюминиевой фольги толщиной 0,2 мм

Активность источника, мкюри . . . . .	60, 120, 300
Размеры источника, мм . . . . .	20×60

#### III. Стронций-90 и иттрий-90

Изотоп . . . . .	Sr-90	Y-90
Период полураспада . . . . .	2,7 года	61 час
Энергия излучения, мэв . . . . .	0,61	2,18

Источники в виде диска

Активность источника, мкюри . . . . .	5, 10, 20, 50, 100
Диаметр активной части, мм . . . . .	10, 20, 30, 40, 50
Диаметр корпуса источника, мм . . . . .	22, 32, 42, 52, 62

1. П. Бенинг, Zeitschrift der Techn. Physik, № 10, 385 (1953).
2. W. M. Bustin и др., Oil and Gas Journal, 55, 50, 89 (1957).
3. Н. Г. Дроздов, Статическое электричество в промышленности, 1949.
4. E. Heidelberg, Die Berufsgenossenschaft, august, 1957.
5. К. К. Подгородецкий, Теория получения высокомолекулярных пленок, Искусство, 1947.
6. Chemical Engineering Techn., 5 (1957).
7. Н. А. Капцов, Электрические явления в газах и вакууме, Гостехиздат, 1950.
8. В. Н. Егоров, Электричество, 12 (1956).
9. Правила защиты от статического электричества и вторичных проявлений молний в производствах химической промышленности, Госхимиздат, 1958.
10. Санитарные правила работы с радиоактивными веществами, № 333—60, 1960.

## ГОРЮЧЕСТЬ ПЛЕНОК ЛАКОВ

*Таубкин С. И.*

Была определена степень горючести пленок лаков следующих марок: «ХСЛ» (ВТУ МХП 2255—50), «ВХЛ-4000» (ТУ МХП 2647—51), «НЦ-312» (ВТУ МХП П-15—56), «ТК» (ТУ 624—55), «ЭКЛ-1» (ВТУ МХП 2375—50), поливинилацетатного (ТУ МХП 1376—50), шеллачного (ТУ МХП 2264—50), масляно-смоляного (ГОСТ 5470—50) и идитольного (ТУ МХП 176—40).

Окрашенные лаками образцы картона и жести испытывались на скорость распространения пламени и горения при расположении их под углом 45°. Результаты испытаний приведены в таблице.

Материал, имеющий показатель горючести\* меньше 0,5, относится к группе трудносгораемых; от 0,5 до 2,1 — к группе трудновоспламеняемых; больше 2,1 — к группе сгораемых.

На основании приведенных испытаний сделаны следующие выводы:

1. Пленки всех проверенных лаков относятся к группе сгораемых материалов. Исключение составляют лаки «ХСЛ» и «ВХЛ-4000», которые являются трудновоспламеняемыми.

2. По степени горючести пленки лаков распределяются следующим образом (от более горючих к менее горючим): при нанесении лаков на картон — 1) пленка лака «ТК», 2) пленка лака «НЦ-312»; 3) пленка поливинилацетатного лака; 4) пленка шеллачного лака; 5) пленка лака «ЭКЛ-1»; 6) пленка идитольного лака; 7) пленка масляно-смоляного лака; окраска картона перечисленными лаками повышает его горючесть; при нанесении лаков на металл — 1) пленка лака «ТК»; 2) пленка лака «НЦ-312»; 3) пленка лака «ЭКЛ-1»; 4) пленка шеллачного лака; 5) пленка идитольного лака; 6) пленка масляно-смоляного лака; 7) пленка поливинилацетатного лака.

\* Показателем горючести называется отношение количества тепла, выделяемого испытуемым материалом, к количеству тепла, поступающего извне от источника загорания.

Наименование лака	Характеристика состава пленки	Вес 1 м <sup>2</sup> пленки, г	Показатель горючести пленки	Скорость распространения пламени, м/мин	Скорость горения, г/мин	Длительность действия пламени горелки, сек	Потери веса*, %	Окрашиваемый материал
"ХСЛ"	Смола СПС класса Б и совол	410—440	1,01	0**	—	120	13,9	картон
"ВХЛ-4000"	Смола СВХ-40	420—450	0,72	0**	—	120	12,5	"
"НЦ-312"	Коллоксин, циклогексаноформальдегид, смола, трикрезилфосфат, кастероль	400—430	>2,1	0,57 0,24	6,6 5,0	2 5	82,3 69,6	" жест
"ТК"	Коллоксин, окситерпеновая смола, эфир гаршуа	406—450	>2,1	0,5 0,47	11,9 7,1	2 2	87,7 77,6	картон жест
"ЭКЛ-1"	Этилцеллюлоза К-100 и К-150 и трикрезилфосфат	385—418	>2,1	0,1 0,09	3,8 1,8	5 15	91,5 77,6	картон жест
Поливинилацетатный	Поливинилацетат	385—450	>2,1	0,25 0**	5,3	5 120	84,1 19,7	картон жест
Шеллачный	Шеллак и канифоль	400—447	>2,1	0,17 0,06	4,3 1,2	5 30	83,0 71,4	картон жест
Масляно-смоляной	Алкидная смола, обработанная растительным маслом, фталевый ангидрид, канифоль, пентаэритрит	460—530	>2,1	0,16 0**	3,3 —	5 120	76,3 33,8	картон жест
Идигольный	Идигольно-фенольная смола и канифоль	416—485	>2,1	0,3 0**	3,4 —	5 15	41,7 36,3	картон жест

\* Для картона указана потеря веса образцом, для жести — потеря веса пленкой.

\*\* Самостоятельно не горят даже в вертикальном положении.

# О НОРМИРОВАНИИ ОСЛАБЛЕННЫХ ПРОЕМОВ ДЛЯ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Годжелло М. Г., Коршак З. В.

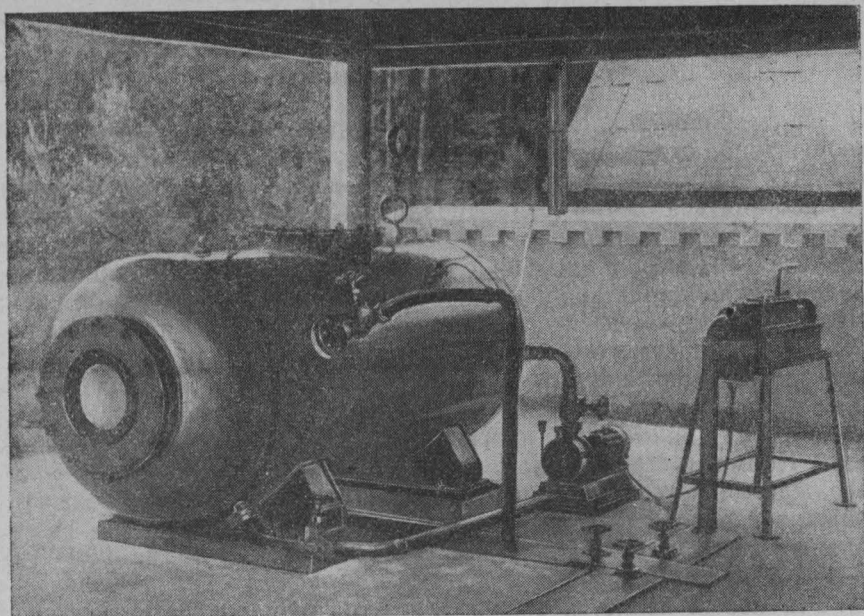
Предохранение в случае взрыва от разрушения промышленных сооружений, отдельных строительных конструкций, кабин, испытательных стендов и крупного технологического оборудования может осуществляться путем стравливания образующегося при взрыве давления через свободные или ослабленные, так называемые «вышибные» проемы. В большинстве случаев такими ослабленными проемами являются кровля или панели ограждающих конструкций. Нормы проемов обычно выражаются отношением их площади к объему защищаемого помещения ( $\text{м}^2/\text{м}^3$ ;  $\text{см}^2/\text{м}^3$  или  $\text{м}^2/100 \text{ м}^3$ , а в зарубежной практике — в  $\text{фут}^2/100 \text{ фут}^3$ ;  $\text{фут}^2/15 \text{ фут}^3$ ;  $\text{фут}^2/80 \text{ фут}^3$  и т. п.).

В СССР применение противовзрывных устройств регламентировано Нормами строительного проектирования Н 102-54 (п. 49) для ограждающих конструкций зданий производств, отнесенных по пожарной опасности к категории А. Причем площадь легко сбрасываемых панелей покрытий принята не менее  $0,05 \text{ м}^2$  на  $1 \text{ м}^3$  (или  $5 \text{ м}^2/100 \text{ м}^3$ ) помещения.

Эта норма является общей для всех взрывоопасных газо-паровоздушных сред, которые могут встретиться в производствах, относящихся по пожарной опасности к категории А, но экспериментально она не обоснована. Для того, чтобы проверить норму опытным путем и уточнить ее для наиболее важных взрывчатых сред, в течение ряда лет проводились экспериментальные работы на специально построенной для этой цели опытной установке.

## Экспериментальная проверка норм ослабленных проемов

В 1954 г. была спроектирована и смонтирована полигонная установка со стальной взрывной камерой емкостью  $2 \text{ м}^3$ , общий вид которой показан на рис. 1, а схема расположения проемов переменного сечения — на рис. 2. Установка состоит из камеры, испарителя для горючих жидкостей, вакуум-насоса и воздуходувки. Взрывная камера — сварной конструкции, обечайка диаметром  $1000 \times 13 \text{ мм}$ , штампованные днища толщиной  $16 \text{ мм}$ . В камере устроено 4 проема с диафрагмами переменного сечения, которые на время дозирования и перемешивания заготовленной парогазо-воздушной смеси уплотняются бумажной калькой. Испаритель состоит из бачка с масляной электронагревательной баней. Для создания в камере необходимого разряжения при дозировке газов или паров применялся ротационный, кольцевой водонаполненный вакуум-насос РМК-2 с электромотором. Воздуходувка производительностью  $500 \text{ л/мин}$  используется для перемешивания паров или газов с воздухом в замкнутом контуре после дозирования их в камеру.



ис. 1. Общий вид полигонной установки со стальной взрывной камерой емкостью 2 м<sup>3</sup>

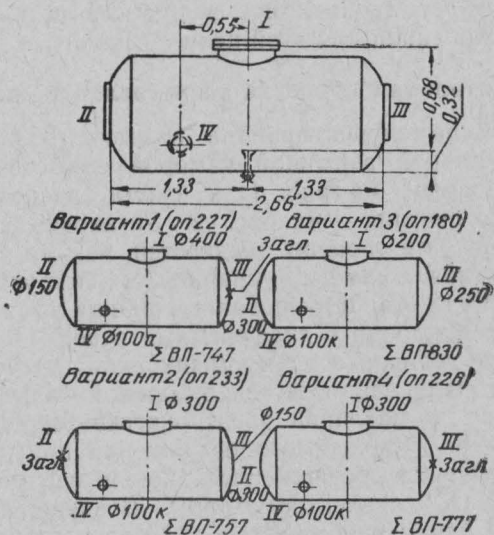


Рис. 2. Схема взрывной камеры и варианты взаимного расположения проемов



Подготовка камеры к взрыву сводится к следующим операциям:

1. Закрываются свободные калиброванные проемы (диаметрами от 100 до 400 мм) лакированной калькой или алюминиевой фольгой. Причем, самый малый проем IV (см. рис. 2) диаметром в свету 100 мм, закрытый калькой, имеет сопротивление на срез по периферии около  $0,3 \text{ кг/см}^2$ .

В зависимости от заданного отношения площади проемов к объему камеры в проемах I, II, III и IV монтируются следующие диафрагмы:

проем I диаметры в мм . . . . .	400, 300 и 200
» II » » » . . . . .	300, 250, 200 и 150
» III » » » . . . . .	250, 200, 150 и 100
» IV » » » . . . . .	100

При необходимости в любом проеме можно установить стальную заглушку или мембрану из листового алюминия или фольги любой толщины.

2. Проверяется источник зажигания (искровой или спираль накала) и устанавливается внутри камеры по центральной оси на расстоянии 320 мм от дна. Проверка источника зажигания в целях безопасности производится непосредственно после закрытия проемов перед наполнением камеры взрывчатой смесью.

3. В подготовленной камере с закрытыми калькой проемами производится дозирование паров исследуемой жидкости из испарителя или горючего газа непосредственно из баллона. Для дозирования по методу парциальных давлений вакуум-насосом в камере создается некоторое разрежение (по ртутному манометру) несколько больше расчетного. Затем пары жидкости из испарителя медленно перепускаются в камеру, а после окончания дозировки камера сообщается с атмосферой до выравнивания давления в камере. Перемешивание паров с воздухом производится не менее 20—30 мин.

Производство взрыва. По окончании перемешивания подготовленной паро-воздушной смеси отключаются все дозировочные приборы и механизмы и дается зажигание.

За критерий, удовлетворяющий требованиям нормы, условно принято такое соотношение установленных проемов и объема камеры, при котором после взрыва остается неповрежденной контрольная мембрана из кальки диаметром 100 мм (в проеме IV или в проеме III). Конструкция проемов камеры дает возможность варьировать величину ослабленных проемов в пределах от 300 до  $1320 \text{ см}^2/\text{м}^3$  (или от 3 до  $13,2 \text{ м}^2/100 \text{ м}^3$ ).

Контроль давления на оболочку камеры при взрывах производился по мембранным манометрам, по прогибам или срабатыванию калиброванных алюминиевых мембран, а также по разрушениям алюминиевых мембран, устанавливаемых в одном из проемов.



## Результаты экспериментальной проверки норм на установке ЦНИИПО

В течение 1955—57 гг. было произведено 234 опытных взрыва и проверены нормы ослабленных проемов в широком диапазоне концентраций (от нижних до верхних пределов взрываемости) для следующих взрывчатых сред:

метан + воздух  
пропан + воздух  
этилен + воздух  
пары бензола + воздух  
пары толуола + воздух  
пары ацетона + воздух  
пары спирта этилового + воздух

Результаты опытов сведены в общий график, показывающий зависимость отношения площади проемов к объему камеры от концентрации горючих газов или паров в воздухе (рис. 3).

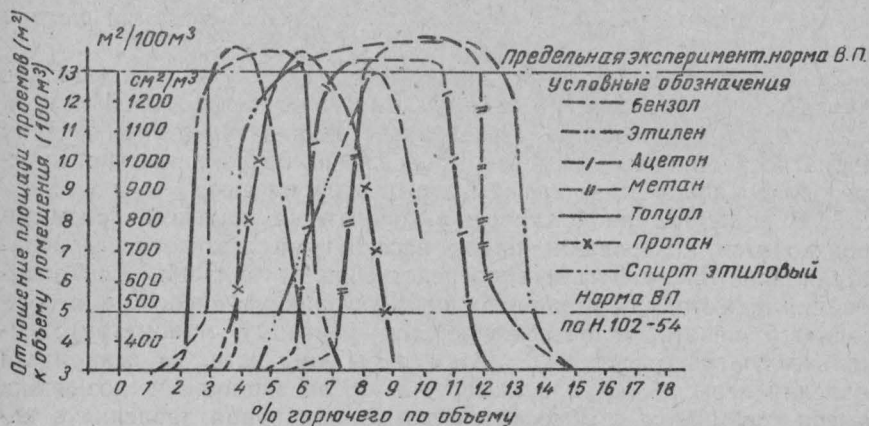
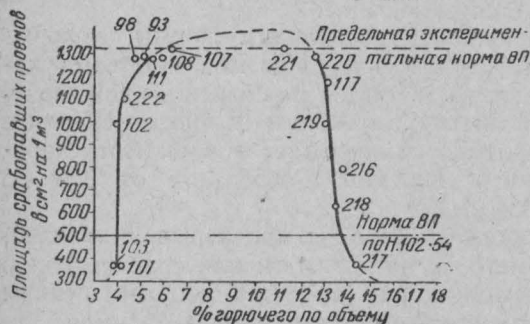


Рис. 3. Зависимость отношения площади проемов к защищаемому объему помещения от содержания горючих газов (метана, пропана, этилена) и паров (бензола, толуола, ацетона, этилового спирта) в смеси в воздухе

Этилен



По оси ординат отложены площади проемов в  $\text{см}^2$ , отнесенные к  $1 \text{ м}^3$  объема, а по оси абсцисс — проценты содержания горючего в смеси.

Рис. 4. Зависимость площади ослабленных проемов от содержания этилена в смеси с воздухом

На другом графике (рис. 4) отдельно показана эта же зависимость для смеси этилена с воздухом. Экспериментальная кривая ограничивает ту область соотношений площади проемов и объема, в которой при любой концентрации горючего и соответствующей ей норме ( $\text{см}^2/\text{м}^3$ ), при взрыве в процессе срабатывания давления в камере создается давление, не превышающее  $0,3 \text{ кг/см}^2$ . Например, при концентрации этилена 13,5% удовлетворительным соотношением является  $624 \text{ см}^2/\text{м}^3$ , а при концентрации 13,8% соотношение  $788 \text{ см}^2/\text{м}^3$  (точка расположена вне контура, ограниченного кривой). Следует обратить внимание на большую крутизну восходящей (левой) ветви кривой, что указывает в данном случае на то, что норма ослабленных проемов, регламентированная нормами строительного проектирования ( $500 \text{ см}^2/\text{м}^3$ ), оказывается надежной для концентрации этилена, меньших 4% по объему. При увеличении же концентрации эта норма должна быть увеличена до  $1000 \div 1100 \text{ см}^2/\text{м}^3$ .

Аналогичную зависимость можно констатировать и для других взрывчатых сред, за исключением паров этилового спирта, для которых, как видно из графика (рис. 3), угол наклона восходящей ветви кривой к оси абсцисс значительно меньше. Если на графике (рис. 3) провести линии, параллельные оси абсцисс, на уровнях норм в  $500 \text{ см}^2/\text{м}^3$  и  $1100 \text{ см}^2/\text{м}^3$  и сопоставить соответствующие этим нормам концентрации горючего со значениями нижних пределов взрываемости, то получим соответственно допустимые превышения концентрации от нижних пределов, что показано в табл. 1.

Таблица 1

Наименование горючего	Нижний предел взрываемости, % объемные	Значения концентраций горючего, соответствующих норме соотношения площади проемов к объему		Допустимые превышения концентрации от нижнего предела, % объемные	
		500 $\text{см}^2/\text{м}^3$	1100 $\text{см}^2/\text{м}^3$	500 $\text{см}^2/\text{м}^3$	1100 $\text{см}^2/\text{м}^3$
Метан . . . . .	5	7,3	8,0	2,3	3,0
Пропан . . . . .	2	3,7	4,7	1,7	2,7
Этилен . . . . .	2,75	4,0	4,3	1,25	1,55
Бензол . . . . .	1,1	2,8	2,9	1,7	1,8
Толуол . . . . .	0,92	2,27	2,4	1,35	1,48
Ацетон . . . . .	2,6	5,0	5,5	2,4	2,9
Спирт этиловый . . .	3,3	5,3	7,2	2,0	3,9
Средний % . . . . .				1,8	2,5

Из этих данных видно, что норма в  $500 \text{ см}^2/\text{м}^3$  удовлетворительна для всех исследованных сред только при их концентрациях, близких к нижнему пределу или превышающих его не более, чем на 1,8%, а при превышении на 2,5% норма должна быть примерно удвоена. Таким образом, норму в  $500 \text{ см}^2/\text{м}^3$  следует считать недостаточной. Это подтверждают также измерения давлений на корпус камеры при неизменном отношении площади проемов к объему, равному  $532 \text{ см}^2/\text{м}^3$ , но при различных концентрациях пропана. Из графика (рис. 5) видно, что в области концентраций, близких к нижнему пределу (от 2 до 5,3%), и у верхнего предела (от 7,7 до 9%) давления не превышают 1 атм, а в области концентраций порядка 6% давление на оболочку камеры скачкообразно возрастает до 7,4 атм.

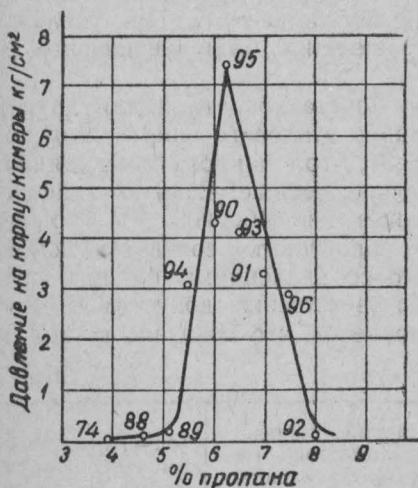


Рис. 5. Зависимость давления взрыва на корпус стальной камеры от содержания пропана в смеси с воздухом при неизменном отношении площади проемов к объему —  $532 \text{ см}^2/\text{м}^3$ .

В табл. 2 приведены выборочные опытные данные по определению норм соотношения площади ослабленных проемов и защищаемого объема.

При других соотношениях площади проемов и объема камеры в процессе истечения продуктов взрыва были зарегистрированы давления на оболочку следующего порядка (табл. 3).

В ряде случаев под конец истечения продуктов взрыва в камере создавался вакуум порядка  $0,75 \text{ кг/см}^2$ .

Как видно из схемы (рис. 2), при фиксированном расположении источника искрового зажигания (на расстоянии 0,32 м от дна камеры) ближайшим к нему проемом является проем I. До момент, пока взрывная волна достигнет одного из ослабленных

проемов, можно рассматривать, что распространение взрыва происходит аналогично условиям взрыва в замкнутом сосуде. Вслед за этим происходит вскрытие или ближайшего, или наибольшего сечения проема (в зависимости от их прочности) и истечение продуктов взрыва. Наиболее короткий пробег для ударной волны — это путь от источника зажигания до проема I (вверх). Поскольку это расстояние равно 68 см, то, например, при скорости горения метано-воздушной смеси концентрации 10,5%, равной 37 см/сек, на этот пробег будет затрачено 1,8 сек. К тому же, поскольку в нижней части камеры проемов нет, то в результате действия отра-

Таблица 2

№№ опытов	Концент- рация горючего, %	Проемы в камере: диаметры (мм); материал мембран, установленных в проемах, к—калька, а—алюминий (толщина в мм)				Отношение площади сработав- ших проемов к объему, см <sup>2</sup> /м <sup>3</sup>	Давление при взрыве, кг/см <sup>2</sup>
		I	II	III	IV		
152	Метан 10,6	400к	150к	250а (0,5)	100а (0,015×4)	788	3,8
226	10,1	300к	300к	250а (0,5)	100к	777	Около 1,0
227	10,5	400к	150к	250а (0,5)	100а (0,12)	747	3,9
231	10,5	400к	250а (0,5)	100к	100а (0,12)	993	5,0
233	10,0	300к	250а (0,5)	150к	100к	757	Около 5,0
234	10,7	400к	250а (0,5)	150к	100к	1044	Больше 5,0
95	Пропан 6,3	200к	300к	100а (0,5)	—	532	7,4
102	Этилен 4,0	300к	300к	250к	100к	992	Меньше 0,3
216	13,8	200к	300к	250к	100а (0,12)	788	1,1
218	13,5	300к	300к	250к	100к	624	Меньше 0,3
221	11,3	400к	300к	250к	100к	1320	Больше 0,3

№№ опытов	Концент- рация горючего, % объемные	Проемы в камере: диаметры (мм); материал мембран, установленных в проемах, к—калька, а—алюминий (толщина в мм)				Отношение площади сработав- ших проемов к объему, $\text{см}^2/\text{м}^3$	Давление при взрыве, $\text{кг}/\text{см}^2$
		I	II	III	IV		
222	4,3	400к	300к	250к	100к	1100	Около 0,3
230	11,0	400к	250а (0,5)	100к	100а (0,17)	737	3,8
	Бензол						
180	5,5	200к	300к	250к	100к	830	Больше 1,8
181	5,5	200к	300к	250к	100к	830	Больше 1,8
183	5,0	200к	300к	250к	100а (0,12)	790	1,7
185	6,0	200к	300к	250к	100а (0,12)	790	2,4
190	6,0	400к	300к	250к	100а (0,05)	1320	Больше 0,95
199	5,5	400к	300к	250к	100а (0,12)	1280	Больше 0,3--0,5
	Ацетон						
156	7,65	400к	300к	250к	100а (0,015×4)	1320	Больше 0,5
158	8,55	400к	150к	250а (0,5)	100а (0,015×4)	788	3,8



Наименование горючего	Концентрация горючего, % объемные	Соотношение площади проемов и объема, $\text{см}^2/\text{м}^3$	Давление при взрыве, $\text{кг}/\text{см}^2$
Метан . . . . .	10,0÷10,7	750÷1000	4,0
Этилен . . . . .	11,0	750÷1000	3,8
Бензол . . . . .	5,0÷6,0	750÷1000	1,7÷2,4
Метан } . . . . .	Стехиометрические	ок. 1300	0,3—0,5
Этилен }			
Бензол }			

женной волны известная часть объема продуктов сгорания также будет направляться к проему I.

Из этого простого анализа сущности явления истечения продуктов взрыва через проемы можно предположить, что и в реальных условиях — в зданиях и промышленных сооружениях несколько удлиненной (не кубической) формы, решающее значение в защите от разрушающего действия взрыва принадлежит ослабленным проемам, расположенным в верхнем перекрытии.

Высказанное положение подтверждается рядом наших наблюдений при опытах и последовательностью вскрытия проемов, зафиксированных фотокиносъемкой.

Рассмотрим некоторые опытные взрывы, условия проведения которых показаны на схемах (рис. 2), а результаты приведены в табл. 2.

Опыт № 227. Среда — метан, концентрация — 10,5%. Один из горизонтальных проемов заглушен прочной алюминиевой мембраной диаметром 250 мм, толщиной 0,5 мм. Давление в процессе истечения продуктов взрыва было зафиксировано  $3,9 \text{ кг}/\text{см}^2$ . Это показывает, что норма  $747 \text{ см}^2/\text{м}^3$  недостаточна даже при наличии максимального по сечению проема I (диаметр 400 мм).

Опыт № 233. Среда — метан, концентрация — 10,0%. Этот опыт отличался от предыдущего тем, что проем I был сокращен до диаметра 300 мм. В процессе истечения продуктов взрыва давление превысило  $5 \text{ кг}/\text{см}^2$ , в результате чего заглушка сработала. Площадь сработавших проемов была  $757 \text{ см}^2/\text{м}^3$ .

Опыты №№ 180, 181, 183 и 185. Среда — бензол, концентрации — 5,0—6,0%. Эти опыты проводились при отсутствии заглушек в проемах I, II и III (заполненных во всех случаях калькой). Сечение проема I сокращено до диаметра 200 мм. В процессе истечения продуктов взрыва через ослабленные проемы были зафиксированы



давления в пределах от 1,7 до 2,4 кг/см<sup>2</sup>, что может быть объяснено затрудненным выхлопом через верхний проем I сокращенного сечения, соответствующего диаметру 200 мм.

Опыт № 226. Среда — метан, концентрация — 10,1%. Сечение в проеме по горизонтальной оси камеры, расположенное против заглушки, увеличено с диаметра 150 мм до диаметра 300 мм. Это оказалось в известной мере эффективным даже при наличии в проеме I мембраны диаметром 300 мм, поскольку в процессе истечения продуктов взрыва давление не превысило 1 кг/см<sup>2</sup>.

Норма 777 см<sup>2</sup>/м<sup>3</sup> для метано-воздушных смесей при концентрации 10,1% неудовлетворительна.

Фотографированием процесса истечения продуктов взрыва на киноленту ускоренной съемкой было установлено, что при взрыве метано-воздушной смеси при концентрации метана 10,6% (опыт № 152) время истечения составляет 0,5 сек., причем через проем I (диаметр 400 мм) — 0,3 сек., а через проем II (диаметр 150 мм) — 0,2 сек. Давление при этом достигало 3,8 кг/см<sup>2</sup>.

В дополнение к высказанному ранее предположению, что решающее значение имеют проемы в верхнем перекрытии, можно сделать пока предварительный (до опытной проверки в более крупном масштабе) вывод о том, что при проектировании проемов по возможности следует избегать сосредоточения проемов на одной из продольных или поперечных стенок, оставляя противоположную стену глухой (монолитной конструкции).

## Выводы

По результатам экспериментальной проверки норм отношения площади ослабленных проемов к объему помещения можно сделать следующие предварительные выводы:

1. Существующая (единая для всех взрывчатых сред) регламентируемая Н 102-54 норма ослабленных проемов для промышленных зданий категории А в 0,05 м<sup>2</sup>/м<sup>3</sup> (500 см<sup>2</sup>/м<sup>3</sup> или 5 м<sup>2</sup>/100 м<sup>3</sup>) может рассматриваться достаточной лишь для взрывчатых сред с концентрациями горючего, близкими к пределам взрываемости. При концентрациях, близких к стехиометрическим, эта норма для всех исследованных 7 взрывчатых сред должна быть повышена примерно вдвое. При концентрации горючих газов и паров, лишь незначительно превышающих нижний предел взрываемости (на 2÷2,5%), могут применяться промежуточные значения норм.

2. Целесообразным является введение классификации сред по степени взрывоопасности с подразделением на четыре класса — слабой, средней, повышенной и чрезвычайной опасности, и соответствующих этим классам дифференцированных норм. Примерная классификация по исследованным средам дается в приложении.

3. В соответствии с дифференцированной нормой ослабленных проемов целесообразно производить подсчет концентрации горючих газов или паров жидкостей, которые могут образоваться в производственном помещении в аварийных случаях (во всем объеме или локально, в ограниченной зоне помещения).

Приложение

Примерная классификация взрывоопасности сред и дифференцированные нормы ослабленных (вышибных) проемов для производственных помещений категории А

Класс	Степень взрывоопасности газо- или паро-воздушной среды	Газы или жидкости, относящиеся к данному классу	Пределы применимости по концентрации		Рекомендуемая норма, мг/100 м <sup>3</sup>
			наименование горючего	концентрац., % объемн.	
I	Слабая	Горючие газы и легковоспламеняющиеся жидкости, применяемые в количествах, которые могут образовать концентрации, близкие к нижнему пределу взрываемости и меньшие, но не обеспечивающие требуемого 50%-ного запаса надежности	Ацетон	1,3—2,6	3÷5
			Бензол	0,55—1,1	3÷5
			Толуол	0,45—0,92	3÷5
			Спирт этиловый	1,5—3,3	3÷5
			Метан	2,5—5,0	3÷5
			Пропан	1,0—2,0	3÷5
			Этилен	1,4—2,75	3÷5
II	Средняя	Легковоспламеняющиеся жидкости, применяемые в количествах, которые в аварийных случаях могут образовать взрывоопасные соотношения с воздухом с превышением нижнего предела взрываемости не более, чем на 1,2% (исключая толуол)	Ацетон	3,8	5÷7
			Бензол	2,3	5÷7
III	Повышенная	Горючие газы и легковоспламеняющиеся жидкости, применяемые в количествах, которые в аварийных случаях могут образовать взрывоопасные концентрации с превышением нижнего предела взрываемости не более, чем на 1,5%	Ацетон	4,1	7÷11
			Бензол	2,6	7÷11
			Толуол	2,4	7÷11
			Метан	6,5	7÷11
			Пропан	3,5	7÷11
			Этилен	4,3	7÷11

Класс	Степень взрывоопасности газо- или паро-воздушной среды	Газы или жидкости, относящиеся к данному классу	Пределы применимости по концентрации		Рекомендуемая норма, $\text{м}^3/100\text{м}^3$
			наименование горючего	концентрация, %	
IV	Чрезвычайная	а) горючие газы и легковоспламеняющиеся жидкости, применяемые в количествах, которые в аварийных случаях могут образовать взрывоопасные концентрации, близкие к стехиометрическим;	Ацетон	6,0+5—1	11+13
			Бензол	3,0±0,5	11+13
			Толуол	4,0±1	11+13
			Метан	10,5±1	11+13
			Пропан	5+2—1	11+13
			Этилен	7,0+5—2	11+13
		б) горючие газы и пары, обладающие скоростями горения в воздухе свыше 35 см/сек (ацетон, бензол, метан, эфир этиловый, пропан, этилен, окись углерода, водород, ацетилен и др.) при концентрациях, близких к стехиометрическим;	—	—	Более 13, максимально практически достижимые
			—	—	
			—	—	
		в) горючие газы, находящиеся под давлением и применяемые в количествах, которые в аварийных случаях могут мгновенно образовать взрывоопасные концентрации.	—	—	
			—	—	
			—	—	

## ЗАЩИТА АЦЕТИЛЕНОВЫХ ТРУБОПРОВОДОВ ОТ РАЗРУШЕНИЯ

Стрижевский И. И., Бородулин А. А., Канер Б. Л.

Планом развития народного хозяйства на 1959—65 гг. намечено резкое увеличение производства ацетилена. В связи с большими масштабами его производства возникает необходимость в проектировании ацетиленовых трубопроводов больших диаметров.

Благодаря наличию тройной связи между углеродными атомами и эндотермичности ацетилен склонен к взрывному и детонационному распаду даже при отсутствии воздуха или кислорода. Сравнительные данные, характеризующие ацетилен как взрывчатое вещество, приведены в табл. 1.

Наименование веществ	Тепло, выделяемое при взрыве, ккал/кг	Объем выделяемых газов, м <sup>3</sup> /кг
1. Ацетилен . . . . .	2070	860
2. Нитроглицерин . . . . .	1455	715
3. Нитроцеллюлоза (13% N <sub>2</sub> ) . . . . .	1025	765
4. Пикриновая кислота . . . . .	1000	675
5. Нитротолуол . . . . .	950	690
6. Нитрат аммония . . . . .	347	980

Распад ацетилена может произойти по ряду причин. Внешние источники могут привести к воспламенению ацетилена, выходящего через вентиль при продувке или неплотностях в аппаратуре. Возникшее пламя может вызвать распад ацетилена внутри аппарата или трубопровода. Однако такого рода опасности хорошо известны, и для их предупреждения принимаются соответствующие меры.

Вероятными внутренними источниками распада могут явиться искры, возникающие при электростатическом разряде, ацетиленыды металлов, пирофорные металлы, неустойчивые химические соединения типа перекисей. В ряде случаев воспламенение возможно при нарушении технологического процесса и, в особенности, в результате попадания в систему воздуха<sup>1</sup>.

В СССР<sup>2</sup> и за рубежом<sup>3</sup> существуют официальные правила, регламентирующие основные меры безопасности при производстве газообразного ацетилена для газопламенной обработки металлов и, в частности, требования к устройству ацетиленопроводов. Обычно диаметры ацетиленопроводов в этих случаях составляют 30—50 мм, а давление ацетилена в пределах 0,05—1,5 кг/см<sup>2</sup>.

Учитывая специфические свойства ацетилена, разработка устройств, обеспечивающих безопасную эксплуатацию ацетиленопроводов большего диаметра и значительной протяженности, имеет весьма важное значение.

В СССР исследования в области горения и детонации в трубах были проведены Я. Б. Зельдовичем, С. М. Когарко, К. И. Шелкиным, В. А. Поповым, Я. К. Трошиным, А. С. Соколиком и др.

## Взрывные и детонационные явления в трубопроводах

При воспламенении горючей смеси или распаде ацетилена в закрытом трубопроводе скорость распространения пламени непрерывно возрастает. Впереди фронта пламени создается массовый поток газа. Вследствие этого распространение пламени происходит не в неподвижном, а в быстро перемещающемся газе, причем характер этого движения тесно связан с процессом распространения пламени<sup>4</sup>. Скорость взрыва становится настолько велика, что соседний слой не успевает удалиться, так как волна газа может упруго удаляться лишь со скоростью распространения звука. Возникает адиабатическое сжатие слоя, приводящее к его самовоспламенению, что вызывает сжатие и самовоспламенение впереди лежащих слоев. В результате химическая реакция протекает более интенсивно и в значительно меньший период времени, чем при обычном взрыве. Такое явление называется детонацией.

Распространение пламени с дозвуковой скоростью обусловлено главным образом передачей тепла от слоя к слою благодаря теплопроводности, тогда как распространение пламени со сверхзвуковой скоростью является следствием особого рода ударного адиабатического сжатия газа.

При нормальном горении скорость распространения пламени обычно не превышает нескольких метров в секунду. При детонационном горении эта скорость оказывается очень высокой — порядка 1—3 км/сек. В случае детонации сгоревшие газы благодаря инерции столба этих газов перемещаются в направлении несгоревшего газа, и давление горящих газов оказывается значительно больше, чем давление свежих газов.

Основное различие между нормальным горением и детонацией состоит в том, что при нормальном горении газообразные продукты оттекают от фронта пламени и обладают меньшей плотностью и меньшим давлением, чем плотность и давление несгоревших газов.

При детонации возникает волна давления, которая перемещается в направлении несгоревших газов. Для того, чтобы газообразная смесь могла детонировать, скорость сгорания ее должна быть настолько велика, чтобы реакция завершилась или почти завершилась в фронте волны. Если это условие не осуществляется, то возможно быстрое горение, однако ударная волна детонационного типа не возникает.

Преддетонационный период характеризуется двумя основными величинами: так называемой длиной преддетонационного периода и продолжительностью преддетонационного периода. Обе эти величины определяют среднюю скорость пламени до возникновения детонации<sup>5</sup>. Длина преддетонационного периода зависит от следующих факторов.

1. С увеличением давления сокращается длина преддетонационного расстояния. На рис. 1 приведены приближенные пределы



преддетонационных расстояний в зависимости от начального давления ацетилена в трубах. Если длина ацетиленопровода больше преддетонационного расстояния, то можно, пользуясь графиком на рис. 1а, ориентировочно определить наибольшее давление, возможное при детонации<sup>6</sup>.

2. Если длина ацетиленопровода меньше преддетонационного расстояния, то возникший в начальный (взрывной) период распад ацетилена не сможет перейти в детонацию. Если длина трубы достаточна для возникновения детонации, то дальнейшее увеличение

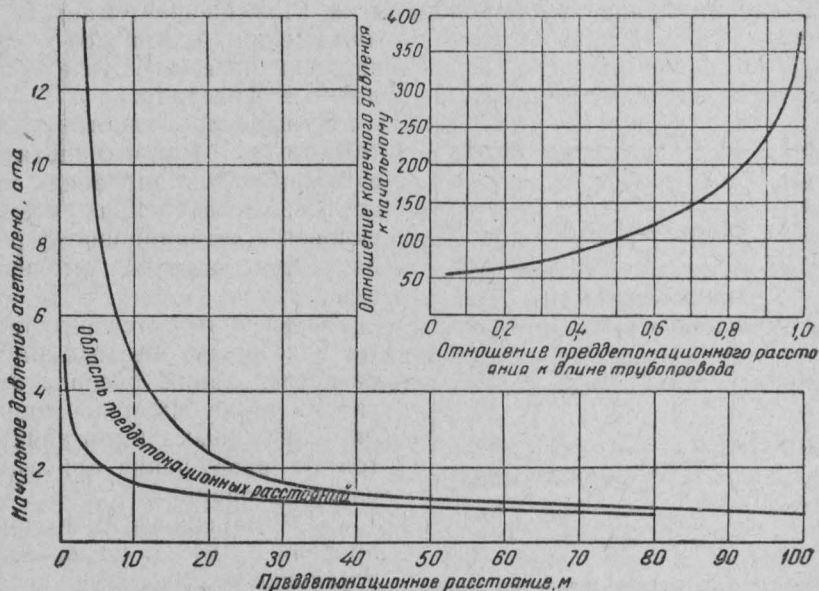


Рис. 1. Зависимость преддетонационного расстояния от начального давления ацетилена (на рис. 1а изображен график для определения конечного давления при детонации)

длины вызывает удлинение преддетонационного расстояния, так как удлинение трубы создает перед фронтом больший объем газа, и это замедляет повышение плотности и температуры свежего газа при его поджатии за счет прореагировавшей части<sup>5</sup>.

3. Увеличение диаметра трубы приводит к значительному возрастанию преддетонационного периода, причем это возрастание примерно линейно зависит от диаметра трубы.

Шероховатость внутренней поверхности трубы, сужение трубопровода или наличие решетчатого экрана также могут ускорить переход взрывного распада ацетилена в детонационный<sup>7</sup>.

Величина преддетонационного периода соответствует первой (взрывной) стадии распространения. Когда ударная волна до-

стигает плоской неподвижной преграды (например, торца трубы), расположенной нормально направлению распространения волны, то от преграды распространяется отраженная волна. Эта волна будет распространяться в обратном направлении внутри области падающей ударной волны, что является причиной дополнительного сгущения. Вследствие этого в месте отражения происходит значительное увеличение давления по сравнению с давлением в падающей волне<sup>8, 9</sup>.

На рис. 2 приведены предельные давления взрывного и детонационного распада ацетилена в зависимости от диаметра трубопровода при длине трубопровода 30 м. Повышение температуры ацетилена в небольшой степени увеличивает предельное давление его распада.

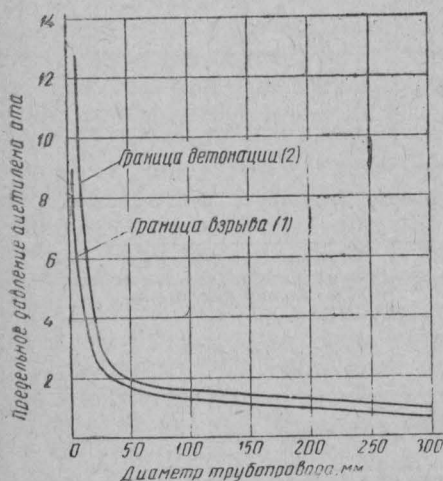


Рис. 2. Предельные давления взрывного и детонационного распада ацетилена в зависимости от диаметра трубопровода (длина трубопровода 30 м)

Приведенные данные свидетельствуют о том, что ацетилен в длинных трубопроводах при небольших давлениях весьма склонен к детонационному распаду при наличии источника зажигания.

Ниже приводятся результаты некоторых опытных работ по исследованию распада ацетилена в трубах и по защите их и связанных с ними аппаратов от разрушений при взрывах и детонации.

В. Римарский и М. Коншак провели в 1940 г. на опытной установке в Грисгейме исследование взрывного и детонационного распада ацетилена в длинных трубах различных диаметров. Работа была принята в связи с проектировавшимся в Германии ацетиленопроводом диаметром 450 мм, протяженностью до 83 км.

Опыты были проведены с трубами диаметром 25, 50, 100, 200, 300 и 400 мм. Толщина труб соответственно составляла 2,5; 3; 4; 5,5; 7,75 и 10 мм. Длина каждой трубы была равна 30 м. Опытные трубы были уложены в вырытые параллельно траншеи, с расстоянием между ними в 4 м; ширина траншей составляла 0,8 м, длина 30 м, глубина траншей для труб диаметром до 200 мм включительно составляла 1 м, а для труб диаметром 300—400 мм — 1,5 м. Ацетилен подавали в трубы из баллонов; содержание ацетилена в газе было в среднем равно 99%. Температура ацетилена была в пределах 5—11°C. Распад ацетилена вызывался с помощью

трех платиновых проволок диаметром 0,15 мм при силе тока в 15 а (при нагреве их до расплавления).

Опыты с трубой диаметром 25 мм. До начального давления в 2,5 кг/см<sup>2</sup> хотя и происходил распад ацетилена, однако распространение его прекращалось на расстоянии 1 м от места зажигания. При давлении 2,75 кг/см<sup>2</sup> происходила детонация, причем преддетонационное расстояние составляло 20 м. В конце трубы давление равнялось 200 кг/см<sup>2</sup>. При испытании трубы с двумя S-образными изгибами детонация происходила при давлении 3 кг/см<sup>2</sup>.

Опыты с трубой диаметром 50 мм. При давлении 0,4 кг/см<sup>2</sup> распад ацетилена не имел места. При давлениях в пределах 0,6—1,75 кг/см<sup>2</sup> происходил распад, однако взрывная волна не достигала конца трубы; крешерными приборами были измерены незначительные давления. При давлении 2 кг/см<sup>2</sup> происходила детонация. Преддетонационное расстояние составляло 5 м. В области взрывного распада давление было в пределах 19—27 кг/см<sup>2</sup>, в области детонации — 100—200 кг/см<sup>2</sup>.

При проведении опытов с трубами диаметром 25 и 50 мм зажигание производилось внутри труб. При проведении последующих опытов к трубам присоединялись камеры диаметром 200 мм и длиной 2 м; зажигание производили внутри этих камер. Это изменение условий опыта обусловило возникновение детонации в трубе диаметром 25 мм при давлении 0,5 кг/см<sup>2</sup>, а в трубе диаметром 50 мм — при 0,4 кг/см<sup>2</sup>.

Опыты с трубой диаметром 100 мм. В пределах давлений от 0,4 до 0,6 кг/см<sup>2</sup> хотя и происходил распад ацетилена, однако детонация не возникала. При давлении в 0,6 кг/см<sup>2</sup> детонационный распад возникал в конце трубы. При некоторых опытах давление составляло 350—600 кг/см<sup>2</sup>. Вследствие возникновения высоких давлений при детонации происходил разрыв болтов, прогиб крышек, отрыв фланцев и др.

Опыты с трубой диаметром 200 мм. Детонация началась при давлении 0,5 кг/см<sup>2</sup>. С увеличением начального давления ацетилена сокращалось преддетонационное расстояние. При давлениях 0,5; 0,6—1,0 и 1,3—2,0 кг/см<sup>2</sup> преддетонационное расстояние составляло соответственно 25, 15 и 10 м.

Опыты с трубами диаметром 300 и 400 мм. Детонация наступала при начальном давлении 0,5 кг/см<sup>2</sup>. Ниже этого давления происходило только выделение сажи у запального устройства без распространения распада. Детонация возникала в конце трубы. При проведении опытов часто отрывались фланцы с крышками и куски трубы, при этом поднималось облако сажи и светящееся пламя длиной в несколько метров.

Помимо описываемых опытов, были проведены также опыты со смесями ацетилена с азотом в трубах диаметром 100 и 200 мм.

В трубе диаметром 100 мм при содержании в смеси 30% азота и давлении 1 кг/см<sup>2</sup> распад ацетилена не происходил, а при давлении 2 кг/см<sup>2</sup> распад не сопровождался детонацией. В смесях, содержащих 50% азота, соответствующие положения достигались при давлениях 3 и 4 кг/см<sup>2</sup>. В смеси, содержащей 50% азота, при давлении 4 кг/см<sup>2</sup> происходил взрывной распад ацетилена. При давлении 8 кг/см<sup>2</sup> взрывной распад переходил в детонацию. В интервале давлений между 4 и 8 кг/см<sup>2</sup> опыты не проводились. При содержании в смеси 25% азота детонация возникала уже при давлении 2 кг/см<sup>2</sup>.

На основании полученных результатов был сделан вывод, что в длинных ацетиленопроводах большого диаметра при давлениях ацетилена, превышающих 0,3 кг/см<sup>2</sup>, возможно возникновение детонации. Если применять смеси, содержащие 50% азота, то детонация может возникнуть при давлениях более 3 кг/см<sup>2</sup>. В связи с этим от строительства трубопровода протяженностью 83 км окончательно отказались<sup>10</sup>.

Для предотвращения взрыва в ацетиленовых трубопроводах были испытаны фильтры из проволочных плетенок. Опыты были проведены в трубе длиной 30 м и диаметром 200 мм. Проволочные плетенки хотя и препятствуют мгновенному распаду после включения запального устройства, однако, вследствие постепенного разогрева после длительного промежутка времени (до 20 мин.), вызывают взрывной или даже детонационный распад ацетилена, находящегося за проволочными плетенками. Указанные фильтры-насадки могут обеспечить защиту от детонации лишь при заполнении ими всего трубопровода с малыми промежутками. Однако такое устройство неприемлемо из-за большого сопротивления газовому потоку<sup>11</sup>.

С уменьшением диаметра трубы значительно возрастает предельное давление, при котором возникает распад ацетилена. В связи с этим в качестве средства для защиты трубопроводов от распада ацетилена был испытан пучок трубок. Труба длиной 30 м, диаметром 100 мм была заполнена тринадцатью трубками диаметром 12,5 мм и шестью трубками диаметром 10 мм; с каждой стороны были оставлены незаполненные пространства длиной в 300 мм; одно — в качестве камеры зажигания, а другое — для размещения измерительных приборов. При начальном давлении ацетилена, равном 3—4 ата, заполнение трубками предотвратило детонацию и позволило задержать взрывной распад в середине трубы. При более высоких начальных давлениях ацетилена (4,5 и 6 ата) происходил прорыв, и конечное максимальное давление достигало 120 атм. Концы трубок лишь умеренно нагревались. Эффективность пучка трубок для задержания взрывного распада снижается с увеличением отложений сажи. Однако даже в закопченных трубках распад протекает медленно. Эффективность защитного действия восстанавливалась полностью после чистки трубок. Материал, из которого изготовлены узкие трубки, и его теплопровод-

ность не имеют существенного значения для торможения распада ацетилен<sup>12</sup>.

Локализирующее действие узких трубок на распад ацетилен<sup>12</sup> зависит от начального давления ацетилена.

На рис. 3 показана зависимость предельного давления взрывного распада ацетилена от диаметра трубок. При соответствующих диаметрах трубок и давлениях ацетилена взрывной распад ацетилена не может распространяться<sup>13</sup>.

Защитные устройства в виде пучков трубок, заполняющих весь трубопровод, не нашли широкого применения из-за относительной сложности и значительного увеличения стоимости. Ниже приведены случаи аварий ацетиленопроводов.

Известен случай разогрева изгиба ацетиленопровода (без внешних видимых причин) в течение 15 мин. до красного каления, после чего в этом месте образовалась трещина<sup>7</sup>.

От взрывов ацетилена получил сильные повреждения химический завод «Гюльс» (ФРГ) в 1954 г. На этом заводе ацетилен, получаемый электрокрекингом газообразных углеводородов, направляется по трубопроводу в цех очистки от высших ацетиленов (путем вымораживания). Затем ацетилен нагнетается в отделение сероочистки и далее поступает в газгольдер низкого давления (300—400 мм вод. ст.). От газгольдера питается установка по производству ацетальдегида. В установки по производству хлористого винила и тетрахлорэтана поступает сухой ацетилен непосредственно после очистки от высших ацетиленов. Внезапное резкое понижение температуры воздуха вызвало разрыв трубопровода сырого ацетилена. Вытекающий из трубопровода газ воспламенился, вероятно, вследствие электризации. Воспламенение нарушило работу цеха тетрахлорэтилена, где начала развиваться нежелательная реакция хлора с ацетиленом, что вызвало взрывы в ацетиленопроводах диаметром от 100 до 700 мм. Взрывы разрушили две секции цеха очистки, отделение сероочистки, газгольдер и трубопроводы очищенного ацетилена. Пострадало 33 человека<sup>14, 15</sup>.

В связи с аварией на заводе «Гюльс» были проведены опытные работы по определению эффективности огнепреградителей, детонационных барьеров различных типов и разрывных мембран применительно к ацетиленопроводам<sup>16</sup>. Стальная трубка длиной 20 м,

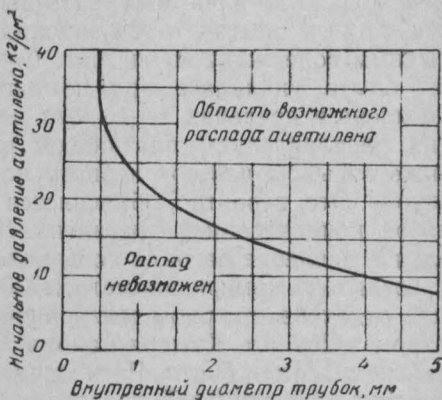


Рис. 3. Предельные давления взрывного распада ацетилена в зависимости от диаметра трубок



диаметром 300 мм с толщиной стенки 15 мм была зарыта в грунт на глубину 1 м. В начале и в конце трубы были вырыты приемки, выложенные железнодорожными шпалами. У одного закрытого конца трубы было вмонтировано запальное устройство. Другой конец трубы был закрыт стальной мембраной толщиной в 1 мм. В оба конца трубы были вмонтированы хромоникелевые термпары в качестве указателей наличия или отсутствия распада. Перед каждым опытом труба продувалась азотом, затем трубу вакуумировали до давления в несколько мм рт. ст. После этого трубу заполняли ацетиленом, полученным электрокрекингом. Газ имел следующий состав: 97—98%  $C_2H_2$ ; 0,6—0,8% высших ацетиленов; остальные примеси  $N_2$  и  $CH_4$ . Ацетилен был насыщен водяным паром на 60—80%. В некоторых опытах труба заполнялась ацетиленом из баллонов с обычным содержанием ацетона. Сажа, осевшая в трубе после каждого опыта, удалялась при помощи вентилятора. При давлениях ацетилена в пределах 1—1,4 ата не удалось вызвать распад ацетилена расплавлением платиновой или вольфрамовой проволоки, а также взрывом навесок черного пороха, азиды свинца и тринитротолуола. Это, вероятно, объясняется наличием водного пара, а также низкой концентрацией ацетилена (97—98%), благодаря чему предельное давление распада повышалось. В связи с этим к трубе была присоединена камера диаметром 300 мм и длиной 300 мм. Камера была отделена от трубы мембраной толщиной в 0,3—0,4 мм и диаметром в 250 мм. Камера наполнялась ацетиленом из баллонов до давления 2,5 или 5 ата. Распад ацетилена в камере вызывался расплавлением платиновой проволоки диаметром в 0,4 мм и длиной в 10 мм при напряжении в 40 в. Энергия, выделяемая при распаде ацетилена в камере, составляла при 2,5 ата — 126 ккал.

Результаты опытов приведены в табл. 2.

Таблица 2

Давление ацетилена в трубе, ата	Энергия воспламенения, ккал	Температура ацетилена, °С	Концентрация ацетилена, %	Примечания
1,4	253	14	97,0	Детонация
1,06	253	13	97,5	Взрыв
1,2	253	14	97,5	.
1,3	253	14	96,5	Детонация
1,06	126	13	98,5	.
1,5	126	14	96,5	Взрыв
1,2	126	13	98,5	Детонация
1,06	126	13	98,2	Взрыв

Давление ацетилена в трубе, ата	Энергия воспламе- нения, ккал	Темпера- тура ацетилена, °С	Концентрация ацетилена, %	Примечания
1,05	253	17	98,5	Взрыв
1,05	126	15	98,2	.
1,1	126	15	99,0	Детонация
1,1	253	24	98,3	Взрыв
1,05	91	23	98,9	.
0,98	151	19	98,5	.

Отсутствие закономерности в возникновении взрывов и детонаций объясняется, вероятно, различным содержанием влаги в ацетилене. При взрывном распаде возникали давления, превышающие первоначальные в 10—12 раз. Скорость распространения взрыва составляла несколько *м/сек*. Мембрана в конце трубопровода более или менее сильно деформировалась. При детонационном распаде измеренные давления превышали первоначальные давления примерно в 100 раз. Взрывные и детонационные давления измерялись трехшлейфовым осциллографом с пьезокварцевым датчиком в соединении с усилителем. Скорость детонационной волны составляла 2000 *м/сек*\*. Мембрана в конце трубы при детонации в каждом случае разрушалась. Энергия вылетающей мембраны была настолько велика, что мембрана насквозь пробивала 5 мм стальной лист и проникала в грунт на глубину 1 м.

Опыты показали, что при значительной энергии воспламенения возникает распространяющийся распад ацетилена при атмосферном давлении.

\* Эти данные соответствуют результатам, полученным Е. Пенни<sup>18</sup>, который установил, что при начальном давлении ацетилена в 8 ата, скорость детонации в трубах диаметром 12,7 мм и 25,4 мм и длиной 9,15 м каждая составляет соответственно  $1817 \pm 7$  *м/сек* и  $1870 \pm 22$  *м/сек*.

Основываясь на этих данных, Е. Пенни, воспользовавшись методом расчета, предложенным Я. Б. Зельдовичем<sup>19</sup>, определил, что скорость детонации ацетилена в трубе бесконечно большого диаметра составит  $1923 \pm 30$  *м/сек*. Расчет по Чепмену-Жуге дал величину 2053 *м/сек*.

При использовании в качестве инициатора 3 г тетрила был вызван детонационный расход сухого ацетилена в трубе диаметром 76 мм, длиной 16 м при давлении ацетилена ниже атмосферного (0,8 ата), скорость распространения детонации достигла 1817 *м/сек*.

Миллер<sup>20</sup> установил, что в трубе диаметром в 1 дюйм при начальном давлении ацетилена 7,8 ата при инициировании взрыва расплавлением платиновой проволоки давление достигает 310 ат, а скорость 2000 *м/сек*.

При испытании трубопровода с крестовиной (рис. 4), к концу 20-метровой трубы была присоединена крестовина 1 с мембранами 2 и 3. К одному из фланцев крестовины была присоединена труба 4 длиной в 5 м, расположенная под углом в  $90^\circ$  к основной трубе. Результаты проведенных испытаний показали, что разрывные мембраны не обеспечивают локализации распада ацетилена. Следует отметить, что в большинстве случаев при детонации разрушалась только та разрывная мембрана, которая была расположена перпендикулярно направлению распространения детонационной волны, в то время как другая мембрана только деформировалась. Так как

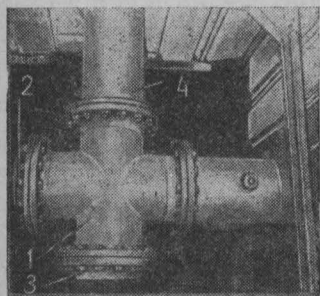


Рис. 4. Участок трубопровода с крестовиной

мембрана при разрыве может нанести повреждения людям, аппаратуре и зданию, то рекомендуется устанавливать на расстоянии 2—3 м от вылетающей мембраны ящик с песком для ее улавливания. Была проверена возможность локализации распада ацетилена путем установки водной преграды. Ко второму концу основной трубы на крестовине была присоединена еще одна труба длиной 5 м. К одной из 5-метровых труб, расположенных перпендикулярно по отношению к основной трубе, были вмонтированы две пары сопел, расстояние между каждой парой сопел было равно 3 м. Подача воды

составляла 300—400 л/час на каждую пару сопел.

При проведении ряда опытов детонационный распад распространялся по трубе, включая орошаемый участок без заметного торможения.

При взрывном распаде результаты были не воспроизводимы: в одних случаях взрывы локализовались водной преградой, а в других проходили через нее. Проскок взрывного распада не зависел от начального давления ацетилена.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что водяная преграда не является вполне надежным средством локализации распада ацетилена.

Следующая серия опытов имела целью определить эффективность пучка труб для задержания распада ацетилена.

Позади первой крестовины был вмонтирован пучок труб длиной 1,1 м, диаметр пучка — 300 мм. Внутренний диаметр каждой трубки — 10 мм. Было проведено 14 опытов по распаду ацетилена, из которых 4 носили характер детонации. При тринадцати опытах распад был задержан пучком труб. При последнем, четырнадцатом опыте детонационная волна прошла через пучок труб и разрушила мембрану в конце трубы. Применение трубок меньшего диаметра привело бы к росту сопротивления газовому потоку и засорению их продуктами полимеризации.

Использование короткого пучка труб в качестве защитного средства требует дальнейшей проверки.

В качестве средства для локализации взрывной или детонационной волны была применена орошаемая водой колонна, заполненная кольцами Рашига. Схема установки показана на рис. 5. Колонна 1 присоединялась к крестовине 2, снабженной разрывной мембраной 3. Диаметр колонны 500 мм, высота заполнения колонны кольцами (диаметром 35 и 50 мм) составляла 1 м. Вода подавалась через находящееся в верхней части колонны сопло со скоростью 1000 л/час, циркуляция воды осуществлялась с помощью насоса. Взрывные испытания производились после насыщения воды ацетиленом.

Всего было проведено 19 опытов, во всех случаях орошаемая колонна локализовала взрывной и детонационный распад ацетилена. При возникновении детонации часть колец сплющивалась и нуждалась в замене.

Были также проведены опыты в потоке ацетилена. Циркуляция ацетилена осуществлялась через колонну со скоростью 0,6—0,7 м/сек с помощью центробежного вентилятора. Остальные условия опытов были такие же, как и в предыдущем случае. Из проведенных 10 опытов, в двух случаях произошла детонация. При всех 10 опытах орошаемая колонна надежно локализовала распад ацетилена.

Испытаниям подвергалась и неорошаемая колонна, заполненная кольцами Рашига, которая при большой высоте заполнения также надежно локализовала распространение взрывного распада.

На основании опытов, проведенных заводом «Гюльс», предложены следующие рекомендации.

### Орошаемая колонна

- а) Высота наполнения кольцами — не менее 2 м.
- б) Скорость движения ацетилена в колонне 0,6—0,7 м/сек. В том случае, если размер колец составляет 35×35 мм, диаметр колонны должен быть не менее 500 мм.
- в) Размер колец — не более 50×50 мм; кольца должны быть стальными.

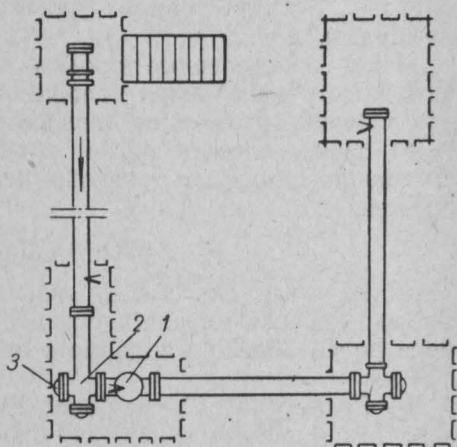


Рис. 5. Схема опытного трубопровода

г) Количество поступающей в колонну воды — в пределах между 2,5 и 5  $\text{м}^3/\text{час}$  на 1  $\text{м}^2$  сечения колонны. Водоподводящие сопла следует устанавливать таким образом, чтобы все сечение колонны орошалось равномерно.

Движение ацетилена может быть параллельно потоку воды или идти навстречу ему.

д) Вход в колонну и выход из нее следует располагать крестово. На крестовинах устанавливают торцовые разрывные мембраны.

Через определенные промежутки времени необходимо проверять высоту наполнения колонны кольцами с тем, чтобы избежать образования объемов, незаполненных кольцами из-за коррозии.

е) Нужно следить за тем, чтобы через сальники насосов, перекачивающих воду для орошения, воздух не мог попасть в ацетиленовые провода.

### Неорошаемая колонна

а) Минимальная высота заполнения кольцами Рашига — 4 м. Скорость движения ацетилена в башне — 0,6—0,7  $\text{м}/\text{сек}$ . При размере колец  $35 \times 35$  мм диаметр колонны должен быть не менее 500 мм.

б) Размер колец — не более  $35 \times 35$  мм; чем меньше размер колец, тем надежнее защитное действие колонны.

В остальном указания примерно те же, что и для орошаемых колонн.

Колонны с кольцами Рашига рекомендовалось располагать преимущественно при входе и выходе из зданий и установок, а также в отдельных местах длинных ацетиленопроводов.

Ю. Хасигуси и Т. Фудзисака<sup>20</sup> указывают, что скорость ацетилена в трубопроводах не должна превышать 2  $\text{м}/\text{сек}$ .

Представляет интерес исследование не определенных до настоящего времени условий образования зарядов статического электричества в заземленных газопроводах при транспортировке в них ацетилена при больших скоростях (15—30  $\text{м}/\text{сек}$ ).

Желательно также установление влияния скорости потока ацетилена на преддетонационное расстояние.

Испытаны быстродействующие запорные устройства, которые срабатывают через 0,02—0,04 сек. после резкого повышения давления. Возникающий импульс освобождает сжатую пружину, под действием которой тарельчатый клапан прижимается к седлу. Импульс передается гидравлически. Однако для надежного поддержания взрывной волны и пламени потребовалось установить впереди клапана-отсекателя устройство, замедляющее их распространение, в виде неорошаемой колонны с кольцами Рашига высотой 1 м. Практически применение указанных клапанов-отсекателей не всегда целесообразно, так как они весьма сложны и дороги, в особенности для трубопроводов большого диаметра, тем более, что установка колонны при этом не исключается.



Как уже указывалось, способность к взрыву влажного ацетилена значительно ниже, чем сухого, и уменьшается по мере увеличения влажности. Предельные взрывные давления смесей ацетилена с водяным паром в зависимости от температуры приведены на рис. 6.

Для повышения безопасности ацетилен, насыщенный водяным паром при повышенной температуре, можно транспортировать по теплоизолированным трубопроводам. Однако необходимость последующего отделения водяного пара во многих случаях затрудняет применение этого способа. В целях повышения безопасности было предложено при поступлении в газопровод ацетилена вводить в него в виде взвеси мелкораздробленные твердые вещества, например окись цинка, окись магния и др. или их смеси с размерами частиц от 10 до 800 мк. Для того, чтобы поддерживать турбулентное движение и предупредить оседание взвеси в трубопроводе, скорость перемещения взвеси должна быть от 0,6 до 3 м/сек. В месте потребления ацетилена взвесь следует удалить. Если ацетилен потребляется для химической переработки путем парофазного катализа, то в качестве твердого материала предпочтительно использовать вещество, являющееся катализатором<sup>21</sup>.

При разбавлении ацетилена, например природным газом, предельное давление распада ацетилена значительно повышается. И. И. Стрижевский и В. П. Зайцева<sup>22</sup> исследовали стабилизирующее действие на ацетилен азота, природного газа и технического пропана под давлением в 15—20 ата. Установлено, что стабилизирующее действие на ацетилен насыщенных углеводородов возрастает с увеличением числа углеродных атомов в молекуле. Если объемное содержание пропана в смеси с ацетиленом, оказывающее стабилизирующее действие, принять за единицу, то соответствующие объемные содержания природного газа и азота для смесей, находящихся под тем же начальным давлением, составят соответственно 1,5 и 2. При локальном нагреве смеси ацетилена с насыщенным углеводородом тепло, выделяемое при распаде небольшого количества ацетилена, расходуется на эндотермическое разложение углеводорода, а в случае смеси с азотом — лишь на нагрев последнего. Кроме того, имеет значение большая теплоемкость углеводородов по сравнению с азотом. Тепло, поглощаемое при разложении метана, пропана и бутана, соответственно

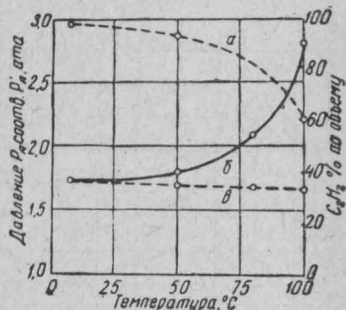


Рис. 6. Предельные давления взрывного распада ацетилена в смеси с водяным паром в зависимости от температуры: а — содержание  $C_2H_2$  в смеси с водяным паром; б — предельные взрывные давления; в — парциальное давление  $C_2H_2$  ( $P'_A$ );  $P_A$  — общее давление

составляет 17,9; 24,8 и 29,8 ккал/г · моль. На рис. 7 показаны кривые, характеризующие границы раздела областей взрывающихся и невзрывающихся смесей ацетилена с азотом, природным газом и техническим пропаном.

В производстве виниловых эфиров ацетилен приводят во взаимодействие со спиртовым раствором щелочи при повышенных температурах и давлениях. При таких и аналогичных процессах рекомендуется разбавление ацетилена азотом или предварительное насыщение ацетилена, подаваемого по трубопроводу парами спирта, что снижает его взрывоопасность.

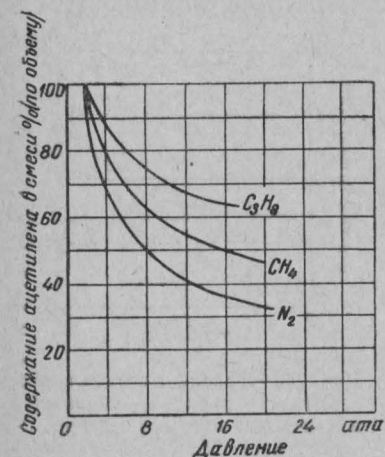


Рис. 7. Предельные давления взрывного распада ацетилена в смеси с  $C_3H_8$ ;  $CH_4$  и  $N_2$  в зависимости от начального давления

Если детонационное давление настолько велико, что может вызвать разрыв трубопровода, то этот разрыв будет происходить в нескольких местах по мере движения волны по трубопроводу. В таких случаях детонационная волна окажется разорванной в каждом месте повреждения трубопровода, в связи с чем потребуется известный преддетонационный период для того, чтобы вновь было достигнуто максимальное давление детонации. Такого рода перемещение детонации в производственных трубопроводах может привести к большим разрушительным последствиям. Спуск давления не защищает от детонации. При постепенном повышении давления в аппаратах и трубопроводах предохранительные клапаны и разрывные мембраны надежно защищают от чрезмерного повышения давлений. Однако при взрыве и детонации клапаны не защищают трубопровод от возникновения максимального давления, так как клапаны открываются лишь после того, как вершина волны уже прошла. Если трубопровод, защищенный разрывными мембранами, подвергается детонации, то в нем может развиваться максимальное давление детонации независимо от толщины разрывной мембраны.

Был проведен ряд опытов по детонации в трубах, защищенных различными разрывными мембранами. При всех опытах конечное давление было одно и то же, несмотря на различия в прочности разрывных мембран. В одном случае разрывная мембрана была заменена бумагой, причем максимальное давление в трубопроводе было такое же, как и при прочных разрывных мембранах<sup>14</sup>. Однако разрывные мембраны могут явиться вспомогательным средством обеспечения безопасности при правильном сочетании их с детонационными барьерами, причем мембраны должны устанавливаться перпендикулярно направлению распространения вол-

ны. Детонационный барьер должен иметь насадку из прочного материала с большой удельной поверхностью и малыми промежутками. Вместе с тем насадка не должна оказывать большого сопротивления газовому потоку. В некоторых случаях насадочная колонна или скруббер могут выполнить функции детонационного барьера наряду с основным производственным назначением.

### Испытания колонн с насадкой, проведенные «Гипрокаучуком»

Для проведения опытов был смонтирован трубопровод с внутренним диаметром 294 мм и толщиной стенки 16 мм. Трубопровод был собран из звеньев и соединен при помощи фланцев, длина каждого звена — 10 м. Трубопровод был укреплен при помощи хомутов на бетонных опорах высотой 600 мм. В трубопровод были вварены штуцеры, в которых были укреплены разрывные мембраны диаметром 200 мм из алюминиевой фольги толщиной 0,5 мм. Штуцеры для мембран были обращены вниз; расстояние между штуцерами составляло 5 м. В верхнюю часть трубопровода были вварены штуцеры для присоединения измерительных приборов и арматуры.

Опытный трубопровод «Гипрокаучука» с защитной колонной показан на рис. 8. Первоначальные опыты проводились следующим образом. К трубопроводу (рис. 9) длиной 20 м или 40 м была при помощи крестовины присоединена неорошаемая колонна 1 диаметром 400 мм и высотой 5 м, колонна была заполнена кольцами Рашига размером 30×37 мм, толщина стенки колец — 2,5—3 мм. К выходному штуцеру колонны был присоединен участок трубы 2 длиной 10 м. Из трубопровода при помощи насоса типа РМК-2 был удален воздух до остаточного давления 65—70 мм рт. ст. После этого в трубопровод подавали азот и продували его до тех пор, пока содержание кислорода в выходящем азоте не снижалось до 1%. Азот отсасывали до остаточного давления 65—70 мм рт. ст., после чего трубопровод заполняли ацетиленом из баллонов до избыточного давления в 500 мм рт. ст. Перед заполнением трубопровода ацетилен подвергался очистке от паров ацетона активным углем. После этого для удаления остатков азота ацетилен отсасывали из трубопровода до остаточного давления 100 мм рт. ст.

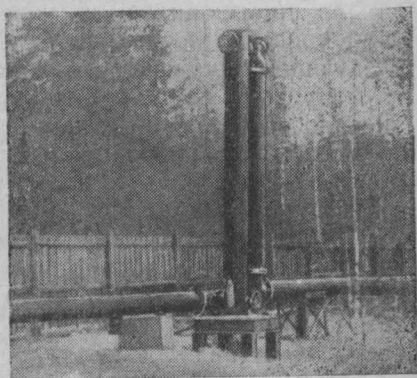


Рис. 8. Опытный трубопровод «Гипрокаучука» с защитной колонной.

и вновь наполняли его ацетиленом до избыточного давления в 500 мм рт. ст. После отбора проб ацетилена для анализа давление снижали до 400 мм рт. ст. Для измерения давления при распаде ацетилена внутри трубопровода, вблизи от колонны, устанавливался вкладной крешерный прибор. Площадь поршня прибора была расположена перпендикулярно направлению распространения волны. Распад ацетилена инициировали расплавлением восьми вольфрамовых проволочек диаметром 0,1 мм, длиной 300 мм каждая.

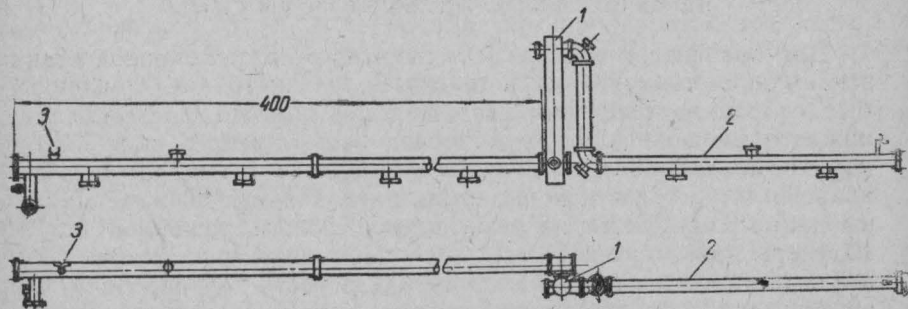


Рис. 9. Схема опытного трубопровода «Гипрокаучука» с неорощаемой колонной

Вольфрамовая проволока в запальном устройстве 3 расплавлялась переменным током от электросети напряжением 220 в. Включение запала производилось из укрытия на расстоянии 200 м. Сажа из трубопровода после опыта удалялась промывкой водой с последующей продувкой воздухом для удаления влаги, после чего трубопровод подготавливали к следующему испытанию, как указано выше.

Всего было проведено 9 опытов, из них 4 опыта с трубопроводом длиной 20 м от запального устройства до колонны и 5 опытов с трубопроводом длиной 40 м от запального устройства до колонны. Распад ацетилена сопровождался сильным звуковым эффектом, а также выбросом пламени и сажи при разрыве торцевых мембран, установленных на входе в колонну. Несколько мембран, установленных по длине трубопровода, разрывались, но большая часть их оставалась целой.

Опыты, проведенные с заглушенными штуцерами для установки мембран по длине трубопровода и с наличием только торцевых мембран, показали, что мембраны, устанавливаемые по длине трубопровода, являются практически излишними. Распад ацетилена распространялся по всей длине трубопровода до колонны; в трубопроводе за колонной никаких признаков распада ацетилена (сажи, разрушения мембран и пр.) ни в одном из опытов не наблюдалось. В результате взрывного распада после каждого опыта наблюдались нарушение герметичности фланцевых соединений и растяжка болтов, свидетельствующие о значительных осевых давлениях при взрывах.

Давления внутри трубопроводов, измеренные крешерным прибором, имели следующие значения: 30, 20, 20, 30, 60, 70, 72, 150 и 92 кг/см<sup>2</sup>. Хотя давление определяется крешерным прибором с большой погрешностью, можно полагать, что в отдельных случаях происходил детонационный распад ацетилена. Проведенные опыты имели целью получить лишь предварительные данные об эффективности колонн с металлическими кольцами Рашига в сочетании с защитой трубопроводов разрывными мембранами.

Опыты по изысканию эффективных средств защиты ацетиленопроводов будут продолжены с применением более совершенных измерительных приборов, позволяющих изучать характер распада ацетилена в ацетиленопроводах большой протяженностью и больших диаметров.

## Выводы

1. Описанные выше опытные работы свидетельствуют о том, что из испытанных детонационных барьеров наиболее надежными являются орошаемые и неорошаемые колонны, заполненные металлическими кольцами Рашига в сочетании с разрывными мембранами, устанавливаемыми на колоннах и на торцах трубопровода.

2. Неорошаемые колонны, заполненные металлическими кольцами Рашига при большей высоте заполнения их, не уступают по своей надежности орошаемым колоннам.

3. На ацетиленопроводе протяженностью до 40 м, на котором проводились испытания, установка мембран (радиальных) вдоль трубопровода представляется нецелесообразной.

4. Колонны с кольцами Рашига следует устанавливать преимущественно при выводе ацетиленопровода из здания и при вводе его в здание или сооружение, а также на входе и выходе из газгольдера.

5. Наряду с экспериментальными поисками эффективных средств защиты ацетиленопроводов и связанных с ними зданий и сооружений от взрывного распада ацетилена необходимо более глубоко изучить характер его распада (взрыв, явления аналогичные быстрому горению, детонация и др.) при различных давлениях, диаметре и длине труб.

## ЛИТЕРАТУРА

1. И. И. Стрижевский, С. Г. Гузов и В. А. Ковальский, Ацетиленовые станции, 1959.
2. Правила техники безопасности и производственной санитарии при производстве ацетилена, кислорода и газопламенной обработке металлов, 1958. Производство ацетилена для газопламенной обработки металлов. Справочные материалы. Вып. 14, 1958.



3. National fire Codes. flammable liquid end explosives, Boston, 289—305. 1945.
  4. В. А. Попов, Изучение перехода нормального горения к детонации в трубах. Диссертация, МГУ, 1951.
  5. Л. Н. Хитрин, Физика горения и взрыва, 1957.
  6. H. B. Sargent, Chemical Engineering, № 2, 2509 (1957).
  7. P. Hölemann, R. Hasselmann, G. Dix, Die Messung von Flamen und Detonationschwingkeiten beider explosiven Zersetzung von Acetylen in Rohren, 1957.
  8. А. Ф. Беляев, Отражение и столкновение ударных волн. Сборник работ, Оборонгиз, 1940.
  9. О. Е. Власов, Основы теории действия взрыва, 1957.
  10. I. W. Copenhagen, M. H. Bigelon, Acetylen and Carlon Monoxide Chemistry, 1949.
  11. Химия ацетилена. Сборник. Перевод с английского и немецкого, 1954 г., стр. 70.
  12. Ю. Х. Шаулов, Распространение пламени через пористые среды, Баку, 1954.
  13. P. Hölemann, R. Hasselmann, G. Dix. Untersuchunden über die thermische Zundung von explosiblen Acetylen zersetzung in kapillaren, 1954.
  14. Chemical and Engineering News, 32, 20, 2038, 1954.
  15. Chemie—Ingenieur — Technik, № 10, 677, 1956.
  16. H. Smidt, K. Haberl. Technische Überwachung, № 12, 1955.
  17. Е. Ренпу, Discussion of the Faradey Sociеky, № 22, 1057 (1957).
  18. Я. Б. Зельдович, Журн. эксперим. и теор. физики, 10, 542 (1940).
  19. S. A. Miller, International chemical Engineering and Process Industrial 32, № 10, 476 (1951).
  20. Ю. Хасигуси, Т. Фудзисака, Кочно Кагаку Дзасси (яп.), 61, № 5, 515, 518, 1958.
  21. Патент США 2. 730. 438, 1956.
  22. И. И. Стрижевский и В. П. Зайцева, Труды ВНИИавтоген, вып. V, 1959, стр. 229.
  23. R. E. Duff, H. T. Knight, H. R. Wright, Journ, Chem. Plus., 22, 1618 (1954).
-

# ПРИМЕНЕНИЕ НЕГОРЮЧИХ ГАЗОВ И ПАРОВ ДЛЯ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ВЗРЫВОВ И ПОЖАРОВ

Годжелло М. Г.

За последние годы в различных отраслях народного хозяйства все более широкое применение получает способ предотвращения взрывов и пожаров емкостей с легковоспламеняющимися и горючими жидкостями путем заполнения их свободного объема негорючими газами.

В качестве примеров практического осуществления этого способа можно указать следующие.

1) При проектировании спиртовых хранилищ для ликеро-водочного завода емкостью 30,0 тыс. *дкл* предусмотрено заполнение свободного пространства цистерн инертными (топочными) газами. Содержание свободного кислорода в газо-паро-воздушной смеси топочных газов допускается не выше 10% по объему. Защита спиртохранилищ необходима при температурах в паровой фазе цистерн в пределах от 11 до 40° (область температурных пределов взрываемости паров спирта). Обращено внимание на необходимость тщательной очистки топочных газов от вредных примесей и осушки газов.

2) На ряде нефтебаз производится защита цистерн с остатками нефти и бензина на время проведения ремонтных сварочных работ выхлопными дизельными газами. Продувка цистерн выхлопными газами двигателя автомашины продолжается 18 час. Ремонт во всех случаях проходит успешно и стоимость его значительно снизилась по сравнению с обычным способом ремонта (с предварительной зачисткой цистерн). Остаточное содержание кислорода в смеси не превышает 5% по объему. Состав дизельных выхлопных газов четырехтактного двигателя поддается регулировке работой двигателя под нагрузкой.

3) Товаро-транспортное управление проводит электросварочные ремонтные работы резервуаров емкостью до 5 тыс. *м<sup>3</sup>* без предварительной их зачистки, пропарки и дегазации. Полная безопасность производства сварочных работ достигается путем заполнения резервуаров охлажденными дымовыми газами до создания в паровом пространстве резервуара концентрации углекислого газа не менее 10%, кислорода не более 5% по объему.

4) Сухой размол плавленной серы в вибромельницах проводится в токе углекислого газа или азота путем подачи инертного газа в замкнутый контур установки. Загрузочный бункер имеет шлюзовую затвор. Норма содержания углекислого газа в воздухе экспериментально установлена в 90% по объему, что соответствует предельному содержанию кислорода в смеси не более 2% по объему. Учитывая повышенную взрывоопасность пыли серы, наиболее целесообразным является мокрый размол серы в виде водной суспензии.

5) Мантуровым Н. И. предложен (авторское свидетельство № 98456) способ тушения пожаров в закрытых складах, трюмах судов и крупных производственных емкостях (бункерах, силосных башнях и т. п.) с применением дымо-паро-газогенератора. Производительность такого генератора при использовании в схеме вентилятора типа ЭВР-6 может быть достигнута около  $10\,000\text{ м}^3/\text{час}$ . Для получения продуктов сгорания может быть использован городской газ или пропан из баллонов, а также жидкое горючее. К дымовым газам предусмотрено добавление паров огнегасительных жидкостей, например четыреххлористого углерода или бромистого этила, путем испарения их в испарителе, обогреваемом продуктами сгорания.

За рубежом уделяется большое внимание защите емкостей с легковоспламеняющимися и горючими жидкостями инертными (дымовыми) газами, а также использованию этих газов для тушения пожаров.

Можно отметить следующие установки и способы, описанные в зарубежной литературе.

1) Генератор инертного газа (США), рекомендованный для химических процессов [Ind. gas., 1954, 33, № 2, 10, 21 — 24], в котором сжигаются горючие газы.

Состав получаемого газа:

$\text{CO}_2$  — 12—13%;  $\text{N}_2$  — ок. 60%; пары воды — 17%;  $\text{CO}$  — ок. 5%;  $\text{O}_2$  — до 5%; негорючих — ок. 90%.

2) Способ противопожарной защиты цистерн с горючим (США). Топочные газы подаются вентилятором в скруббер адсорбции сернистого газа, затем в аппарат, где кислород обращается в углекислый газ (дожигание). Установка снабжена автоматическим газоанализатором на углекислый газ.

3) Противопожарное устройство для сушки ила в США [Public Works, 84, № 12, 72—73 (1953)]. Устройство для хранения биологического ила состоит из четырех бункеров с подачей углекислого газа. При самовозгорании удобрений содержимое загоревшегося бункера перегружается в соседний, предварительно заполненный углекислым газом.

4) Корабельная противопожарная установка с использованием продуктов сгорания дизельного топлива в генераторе (Англия). Установка смонтирована на борту линейного корабля «ОТИ». Газогенератор имеет огнеупорную камеру сгорания с охлаждающей водяной рубашкой и охлаждательную газовую камеру. Топливо поступает в масляную горелку с воздушным дутьем. Вентилятор и топливный насос обслуживается одним масляным двигателем. Газогенератор имеет габаритные размеры  $2,8 \times 1,24 \times 2,2\text{ м}$  и размещается между палубами. Состав газа: кислорода — 0,1%, углекислого газа — 14—15%, азота — ок. 85% (остальное — негоревшие углеводороды — менее 0,1% и окись азота — 0,01—0,015%). Производительность генератора  $980\text{ м}^3/\text{час}$ .

Заполнение наибольшего по объему трюма, наполовину загруженного грузом, происходит в течение 30 мин. со снижением содержания кислорода до 12,5%, в течение 1,5 час. со снижением до 6,3% и в течение 2,5 часов со снижением содержания кислорода до 3,5% по объему. Снижение содержания кислорода до 13% является достаточным для тушения большинства пожаров, но для тушения тлеющих материалов содержание кислорода необходимо еще несколько снизить.

На основе обобщения опыта защиты негорючими газами емкостей с легковоспламеняющимися и горючими жидкостями от взрывов и пожаров, а также проведения соответствующих экспериментальных работ рекомендуется соблюдать следующие основные требования при оборудовании емкостей и аппаратов защитными устройствами.

1. Предельное содержание кислорода в большинстве газовых смесей допускается не более 10%; для некоторых из них оно должно быть понижено до 3% (например, для воздушно-водородной смеси). Производство электросварочных ремонтных работ без удаления остатков нефтепродуктов предполагает применение дымовых газов, содержащих не более 5% кислорода.

2. Применяя для защиты емкостей чистый углекислый газ (из баллонов), необходимо систематически контролировать его содержание в газо-паро-воздушной смеси и поддерживать на уровне не ниже 25%. Если в емкости имеются неплотности, через которые возможны утечки газа, то обеспечивается запас надежности не ниже 1,5. Величина утечки газа за счет подсоса воздуха или при избыточных давлениях внутри емкости практически может быть вычислена по формуле

$$K = 2,303 \frac{V}{t} \lg \frac{R_0}{R_t},$$

где  $K$  — величина утечки,  $\text{м}^3/\text{мин}$ ;

$V$  — объем сосуда,  $\text{м}^3$ ;

$t$  — время утечки, мин.;

$R_0$  — начальное содержание углекислоты, % по объему;

$R_t$  — содержание углекислоты по истечении  $t$  минут, % по объему;

$R_0$  и  $R_t$  — определяют путем анализа на углекислоту через заданные промежутки времени по прибору Орса.

3. Дымовые и дизельные газы (если возможна их утечка в рабочие, жилые или складские помещения) очищаются с учетом предельно-допустимых концентраций ядовитых газов и паров в воздухе рабочей зоны помещений по ГОСТ 1324—47 (см. табл.).

Наименование вредных примесей	Максимально допустимые концентрации	
	по ГОСТ 1324—47, мг/л	в % к объему*
Оксид углерода . . . . .	0,03	0,02
Сероводород . . . . .	0,01	0,01 — 0,02
Сернистый газ . . . . .	0,02	0,01

\* Данные о максимально допустимой концентрации в процентах по объему приведены из «Технической энциклопедии» (т. IV, стр. 84).

При работе в загазованной атмосфере не более 1 часа допустимая концентрация ядовитых газов и паров может быть повышена до 0,05 мг/л, при длительности работы в 15—20 мин. (в гаражах) — до 0,2 мг/л. Для помещений гаражей предельно-допустимая концентрация окиси углерода принимается как среднечасовая; при этом увеличение концентрации допустимо до 0,12 мг/л в продолжение не более 15 мин.

4. Технические дымовые (топочные) и дизельные газы, используемые для защиты закрытых емкостей, должны подвергаться очистке с последующим охлаждением их до температуры не выше  $+30^{\circ}$ .

5. Если в схеме использования выхлопных газов нет скруббера с водяным орошением, то устанавливается искроуловитель или водяной затвор.

6. Контроль состава защитных газов следует проводить путем периодического отбора проб газа из свободного пространства емкости (резервуара, цистерны, сосуда) и определения по прибору ОРС наличия в них кислорода и углекислого газа. Целесообразно вводить автоматический контроль состава газов с применением газоанализатора на кислород или углекислый газ.

7. Применяя выхлопные дизельные газы четырехтактных двигателей, следует отбирать их при возможно более высокой нагрузке дизеля — 60%. На работу двигателей отбор газов из выхлопного коллектора практически влияния не оказывает, так как сопротивление выхлопным газам в глушителе выхлопной трубы при работе установки уменьшается.

Способ защиты инертными (негорючими) газами может быть широко использован в химической промышленности. В этом отношении многое зависит от проектирующих организаций, которые должны предусматривать применение защиты инертными газами на наиболее пожароопасных участках производства.



Целесообразно разработать конструкцию типовой портативной (стационарной и передвижной) установки для получения инертного газа или дымо-паро-газовой смеси для тушения пожаров, в первую очередь, в закрытых складах, боксах, бункерах с твердым топливом и т. п.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Безопасный способ ведения огневых ремонтных работ на нефтеналивных емкостях, Министерства морского и речного флота СССР, Техническое управление. Водтрансиздат, 1953.
2. М. Г. Годжелло, Н. И. Мантуров, Применение паров и газов для защиты закрытых емкостей от пожаров и взрывов, Изд-во МКХ РСФСР, 1955.
3. П. Н. Моченов, И. М. Пономарев, В. А. Аникин, Пароэжекторная дымоагнетательная станция, Изд-во Морского транспорта, 1956.

### ПРИМЕНЕНИЕ АЗОТО-ВОЗДУШНЫХ СМЕСЕЙ ДЛЯ ПЕРЕДАВЛИВАНИЯ ГОРЮЧИХ ЖИДКОСТЕЙ, В ЧАСТНОСТИ ИЗОПРОПИЛОВОГО СПИРТА

*Розловский А. И., Ройзен И. С., Суцев П. Г.*

На различных химических заводах применяются операции передавливания горючих жидкостей, например на друкфильтрах, а также в пневмотранспорте. В соответствии с действующими правилами противопожарной техники такие процессы не должны производиться с помощью сжатого воздуха ввиду опасности образования взрывчатых паровоздушных смесей, которые могут быть подожжены разрядами статического электричества.

До последнего времени такие операции выполнялись с помощью сжатого азота, что значительно удорожает производство. Так, на процессы передавливания изопропилового спирта на Дорогомиловском химическом заводе ежедневно расходуется 200 баллонов азота стоимостью около 2000 руб.; кроме того, сильно загружается транспорт, т. к. вес сжатого азота составляет всего 10% от веса тары.

Имеется возможность значительно удешевить процесс передавливания горючих жидкостей путем замены части азота воздухом в пределах образования невзрывчатых смесей (с горючим). В литературе имеются данные о сокращении концентрации области распространения пламени для ряда горючих, в основном углеводородов, при добавлении к воздуху инертных компонентов<sup>1</sup>. В большинстве случаев поджигание прекращается после обогащения исходного воздуха 40—45% азота, причем содержание кислорода в предельной смеси снижается до 11—12,5%. Двуокись углерода оказывает несколько более сильное флегматизирующее действие за счет ее большой теплоемкости, однако она не всегда применима.

Непосредственная задача настоящего исследования заключалась в решении вопроса о возможности экономии азота для процессов переадавливания изопропилового спирта и определения границ взрывобезопасного режима работы с воздушными смесями его паров, флегматизируемыми добавками азота. При этом было необходимо определить в достаточно жестких условиях эксперимента область поджигания смесей паров спирта с воздухом при различных разбавлениях азотом.

Опыты проводились в сферической стальной бомбе объемом 6,2 л, снабженной электроподогревающим устройством. Зажигание производилось в центре бомбы путем пропускания разряда от катушки Румкорфа между концами электродов авиационных свеч, ввинченных в корпус бомбы. Катушка Румкорфа питалась переменным током при напряжении 60 в. Наблюдение за распространением пламени проводилось через щель, прорезанную в крышке бомбы и закрытую окном из плексигласа, герметичность достигалась с помощью прокладки и прижимающего окна фланца. Поджигание регистрировалось по видимому распространению пламени, а также по скачку давления в бомбе при взрыве.

Для проведения опыта в газометре предварительно составлялась необходимая смесь азота с воздухом, после чего эта смесь стояла не менее 2 час. для перемешивания. Дозировка производилась путем измерения объема вытекшей воды при доведении давления в газометре до атмосферного. Вентиль, через который в бомбу подавалась азото-воздушная смесь, соединялся короткой каучуковой трубкой со стеклянным дозатором (рис. 1), предназначенным для подачи в бомбу жидкого горючего.

Бомба, предварительно нагретая до 45°, эвакуировалась и промывалась исследуемой азото-воздушной смесью, после чего в дозатор заливалось с помощью пипеток и микробюретки необходимое количество горючего через верхний отросток, закрывающийся шлифованным колпачком. При пуске смеси в бомбу ее поток вносил с собой и горючее. Для предотвращения

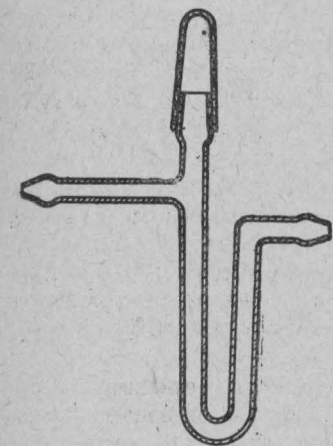


Рис. 1. Дозатор для жидкого горючего

потерь дозатор осторожно обогревался небольшим пламенем, что гарантировало испарение остатков жидкости в горячем газовом потоке.

После ввода компонентов горючей смеси производилась выдержка в течение 30 мин. для достижения полноты испарения спирта и перемешивания его паров с воздухом. Опыт показывает, что за это время давление возрастало не более чем на 2—3%.

Отсюда можно сделать вывод, что жидкость в основном успевала испариться за время составления смеси. Нагревание бомбы до  $45^\circ$  обеспечивало возможность получения всех желаемых концентраций паров спирта. При соблюдении описанной методики опытов результаты хорошо воспроизводятся.

На рис. 2 представлена зависимость критических концентраций спирта  $x_{кр}$  на верхнем и нижнем концентрационных пределах от

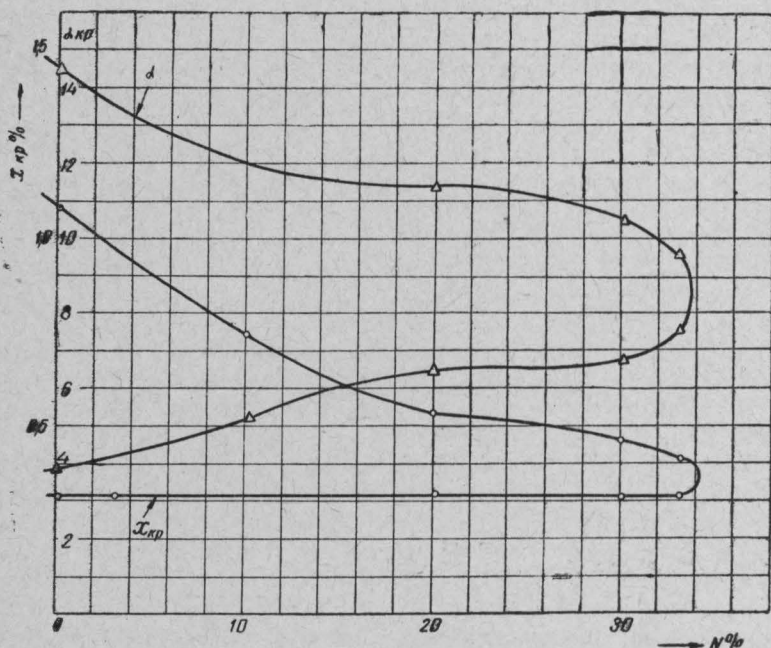


Рис. 2. Критические условия поджигания азото-воздушных смесей изо-пропилового спирта:

$x_{кр}$  — критическое содержание горючего на пределе поджигания, объемные %;  
 $\alpha$  — критическое значение коэффициента избытка окислителя

содержания добавочного азота и исходной азото-воздушной смеси  $N$  (в % %). Критическая кривая разграничивает области горючих и негорючих составов. Значения  $x_{кр}$  в смеси с небогащенным азотом воздухом — 3,1 и 10,8% — удовлетворительно согласуются с имеющимися в литературе данными. По Коварду и Джонсу<sup>1</sup>, границы поджигания воздушных смесей  $n$ -пропилового спирта составляют 2,15 и 13,5%; у изопропилового спирта нижний предел лежит при 2,5—2,65%. По другим данным<sup>2</sup>, пределы взрываемости воздушных смесей  $n$ -пропилового спирта равны соответственно — 2,02 и 13,55%, изопропилового — 2,25 и 11,65%. Несколько завы-

шенное значение нижнего концентрационного предела в наших опытах без добавочного азота (3,1%), очевидно, обусловлено влиянием примесей в спирте, полученном нами на Дорогомиловском химическом заводе.

Как и у других горючих, нижний предел поджигания слабо повышается при увеличении содержания добавочного азота, тогда как верхний предел при этом быстро уменьшается, и уже при  $N \approx 34\%$  линии верхнего и нижнего пределов соединяются (мысл области поджигания), поджигание прекращается при любых содержаниях горючего. Для иллюстрации изменения свойств горючей смеси с увеличением содержания добавочного азота на графике даны также значения коэффициента избытка окислителя  $\alpha = 4.5 \text{ O}_2/x^*$ .

Поскольку добавление к воздуху 35% азота делает негорючим его смеси с парами изопропилового спирта, можно считать допустимым передавливание изопропилового спирта 50%-ной смесью воздуха с азотом, что значительно удешевит и упростит производственные операции. При этом обязательно надежное перемешивание газов и автоматическое определение содержания кислорода в потоке после смешения с азотом. Для этого определения можно воспользоваться магнитным анализатором кислорода марки МГК, выпускаемым ОКБ автоматики Государственного комитета Совета Министров СССР по химии. Целесообразна также организация автоматического отключения воздушного потока при прекращении или уменьшении подачи азота.

Фактический «запас надежности» увеличивает то обстоятельство, что область горючих смесей быстро сужается с увеличением концентрации добавочного азота, и уже при  $N = 20\%$  лежит между 3,1 и 4,7% спирта. Горение смесей, содержащих от 20 до 34% добавочного азота, не только ограничено узкой зоной концентраций спирта, но и в пределах этой зоны весьма флегматично.

Предлагаемый метод применения азото-воздушных смесей, дающих негорючие смеси с парами органических жидкостей, может быть с успехом использован и для других веществ.

## Выводы

1. Определена концентрационная область, в пределах которой происходит поджигание смесей паров изопропилового спирта с воздухом, обогащаемым азотом.

2. Установлено, что поджигание смесей изопропилового спирта любой концентрации прекращается при добавлении к исходному воздуху 35% азота.

3. Применение 50%-ной смеси воздуха с азотом для операций передавливания изопропилового спирта гарантирует взрывобезопасность процесса при значительной экономии сжатого азота.

---

\* $\text{C}_3\text{H}_8\text{O} + 4,5\text{O}_2 = 3\text{CO}_2 + 4\text{H}_2\text{O}$ .

1. H. F. Coward and G. W. Jones, Limits of Flammability of Gases and Vapors, Bureau of Mines, Bull. 503, 1952.
2. М. Г. Годжелло, П. Г. Демидов, Е. М. Джалалов, З. В. Коршак, И. В. Рябов, Легковоспламеняющиеся и горючие жидкости, Изд-во МХ РСФСР, 1956.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПЛАСТМАСС И СИНТЕТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ БОРЬБЫ С ПОЖАРО- И ВЗРЫВООПАСНОСТЬЮ ПРОИЗВОДСТВ

*Ройзен И. С.*

За последние годы в химической и других отраслях промышленности находят все более широкое применение пластмассы и другие синтетические материалы, в частности для обеспечения взрыво- и пожаробезопасности химических производств.

Согласно статистическим данным, большинство взрывов в производственных условиях происходит в результате нарушения герметичности оборудования, вызванного коррозией. Наиболее надежным материалом для уплотнения (прокладок, сальников, манжет и т. п.) являются фторопласты — производные этилена, в которых все атомы водорода замещены фтором. Наиболее высокими показателями по химической стойкости обладает фторопласт-4 (политетрафторэтилен). Из него, кроме прокладочного материала, изготавливаются весьма стойкие трубы, вентили и т. п. На рис. 1 показан сильфон из фторопласта-4 диаметром 62 мм, при толщине в 1 мм, выдерживающий 500 000 циклов сжатия и растяжения. На рис. 2, 3, 4, 5 и 6 даны различные весьма надежные уплотнения из фторопласта. На рис. 7 изображен предохранительный клапан, в котором, во избежание попадания взрывоопасных и ядовитых газов в воздух при коррозии седла клапана, установлена фторопластовая предохранительная мембрана.

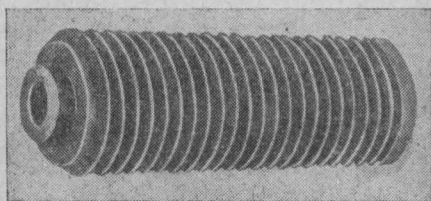


Рис. 1. Сильфон из фторопласта-4

Низкомолекулярные фторопроизводные, являющиеся основным сырьем в производстве фторопластов, имеют широкие самостоятельные области применения в качестве взрывобезопасных и не ядовитых хладагентов-фреонов, а также смазочных фтороргани-



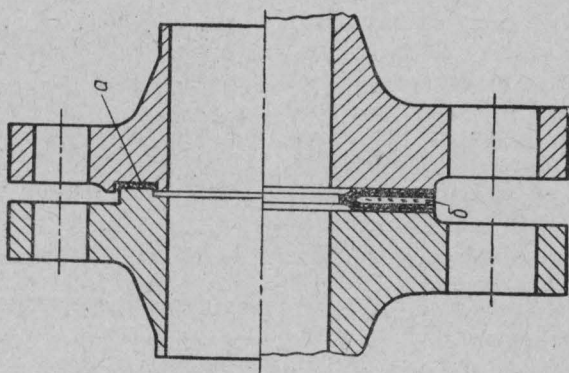


Рис. 2. Уплотнение фланцев:  
 а — для высокого давления; б —  
 для низкого давления (тефлон,  
 внутри асбест)

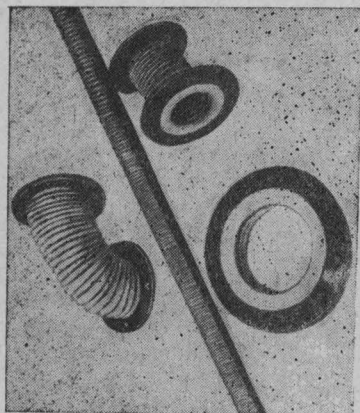
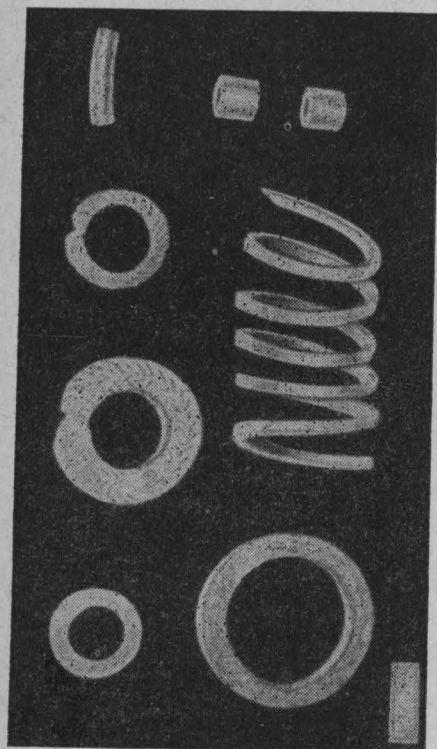


Рис. 3 и 4. Уплотнения из фторопласта

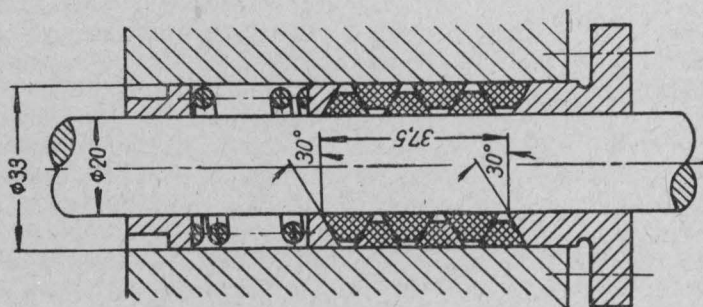


Рис. 5. Надежное уплотнение сальника

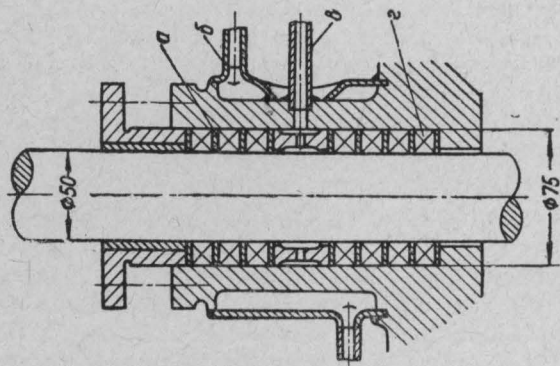


Рис. 6. Сверхнадежное уплотнение сальников:

а — 1,5 мм кольца из тефлона; б — охлаждающее; г — противодавление азотом; г — наполнитель между тефлоном

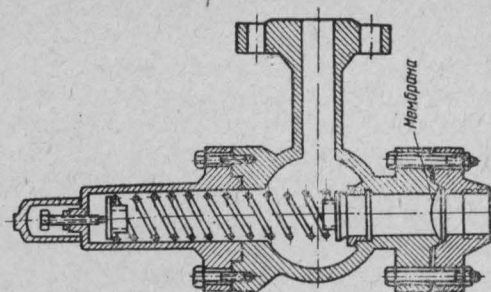


Рис. 7. Предохранительный клапан с фторопластовой мембраной

ческих масел. В лаборатории техники безопасности Московского института химического машиностроения (МИХМ) были испытаны фторорганические масла в аппаратах с окислами азота, азотной кислотой под давлением до 100 атм и температуре до 60° в смеси с кислородом; масла оказались стойкими и взрывобезопасными. Эта работа реализована на ряде химических заводов. С переходом на смазку фторорганическими маслами практически будут совершенно исключены взрывы воздушных, кислородных компрессоров, разделительных кислородных колонн, баллонов, трубопроводов и т. п.

Изделия из фаолита (композиция фенолформальдегидной смолы с асбестовым наполнителем) также обеспечивают надежную герметизацию и являются термостойкими (до 160°).

Так как большинство пластмасс — диэлектрики, то отвод зарядов статического электричества от аппаратов и трубопроводов, изготовленных из них, весьма затруднен. Материалы АТМ (композиции из фенолформальдегидных смол с графитовым наполнителем) не являются диэлектриками. Вследствие этого они пригодны для изготовления сосудов, работающих под давлением выше атмосферного, в которых применяются огнеопасные вещества, вызывающие необходимость отводить заряды статического электричества во избежание возникновения искр.

Таковыми же свойствами обладают графито-формальдегидные композиции, которые используются взамен эмали. По коррозионной стойкости они не уступают эмалям. В эмалированных аппаратах и трубопроводах, в которых протекают легко воспламеняющиеся жидкости, возникают электростатические заряды, вызывающие при разрядах образование искр и как следствие — взрывы. Отвод зарядов в землю невозможен, так как при заземлении наружной стенки возникающий внутри жидкости заряд из-за изоляционных свойств эмали не отводится. Графитовое покрытие является прекрасным проводником, и опасность взрыва полностью устраняется. Кроме того необходимо добавить, что теплопроводность графита в 5—6 раз выше, например, хромоникелевой стали 1Х18Н9, поэтому при необходимости нагрева или охлаждения аппаратов достигается большая экономия. Графитомасляная смазка с применением небольших количеств кремнеорганических масел служит взрывобезопасным смазочным материалом для воздушных компрессоров. Из материалов АТМ изготавливаются коррозионностойкие и взрывобезопасные центробежные насосы, аппараты, холодильники, противовзрывные мембраны и т. п. Широко внедряются трубы, вентили, насосы, изготовленные из графитовых материалов. На рис. 8 показан перегонный аппарат из графита, разработанный в МИХМ.

Применение цветных металлов (свинца, меди) в аппаратах, особенно предназначенных для химической, фармацевтической и

пищевой промышленности, может привести к образованию ядовитых соединений. Общеизвестно также, что работа со свинцом связана с возможностью профессиональных заболеваний. Одним из лучших заменителей свинца, как и ряда других цветных металлов, а также легированных сталей, является винипласт (непластифицированный поливинилхлорид), выпускаемый в виде пластин, листов, стержней, труб, арматуры и т. п. Винипласт хорошо сваривается и склеивается; будучи армирован металлическим листом, он становится механически прочным. В среднем 1 т винипласта позволяет сэкономить 3—5 т свинца. Винипластовые трубопроводы в настоящее время широко внедряются в химической, угольной и других отраслях промышленности. Эти трубы в ряде случаев оказываются надежнее металлических. Винипластовые трубы не горят, а только обугливаются; при этом выделяется хлористый водород, обладающий дугогасящими свойствами. В связи с этим рекомендуется использовать винипласт также в дугогасящих аппаратах.

Вентиляторы, изготовленные из пластмасс, являются взрывобезопасными, так как при ударе крыльев вентилятора о кожух исключена возможность искрообразования. В связи с этим они могут широко применяться на взрывоопасных производствах и в угольных шахтах.

Использование винипласта для изготовления соединений, вентилях, смотровых фонарей, труб холодильников (рис. 9, 10, 11, 12, 13) исключает возможность проникновения газов в воздух помещений. Особенно герметичны винипластовые мембранные вентилях (рис. 14).

Большие перспективы имеют пластмассы в строительстве газопроводов и нефтепроводов, для которых требуются высокопрочные трубы больших диаметров.

С точки зрения безопасности газопроводов и нефтепроводов из пластмасс обладают следующими преимуществами по сравнению с металлическими:

- а) они не подвержены почвенной коррозии, не требуют гидроизоляции и сложной электрозащиты;
- б) инертны к углеводородам и коррозионно устойчивы при транспортировании газа и нефти, включая сернистые нефти;
- в) более долговечны и не требуют ремонта, связанного с опасностью отравления и взрывов.

С экономической точки зрения эти трубопроводы также более выгодны, т. к. их вес в 6—7 раз меньше, монтаж проводится быстрее и пропускная способность на 12—15% выше, чем у металлических труб.

Широкое распространение за рубежом получили трубы из полиэтилена, которые могут выдерживать давление до 20 атм. В США применяются также трубы из поливинилхлорида, сополимеров стирола. В 1960 г. выпуск труб из пластмасс, большая часть которых пойдет для газопроводов и нефтепроводов, достигнет в США 50 тыс. т, что равнозначно 350 тыс. т металлических труб.

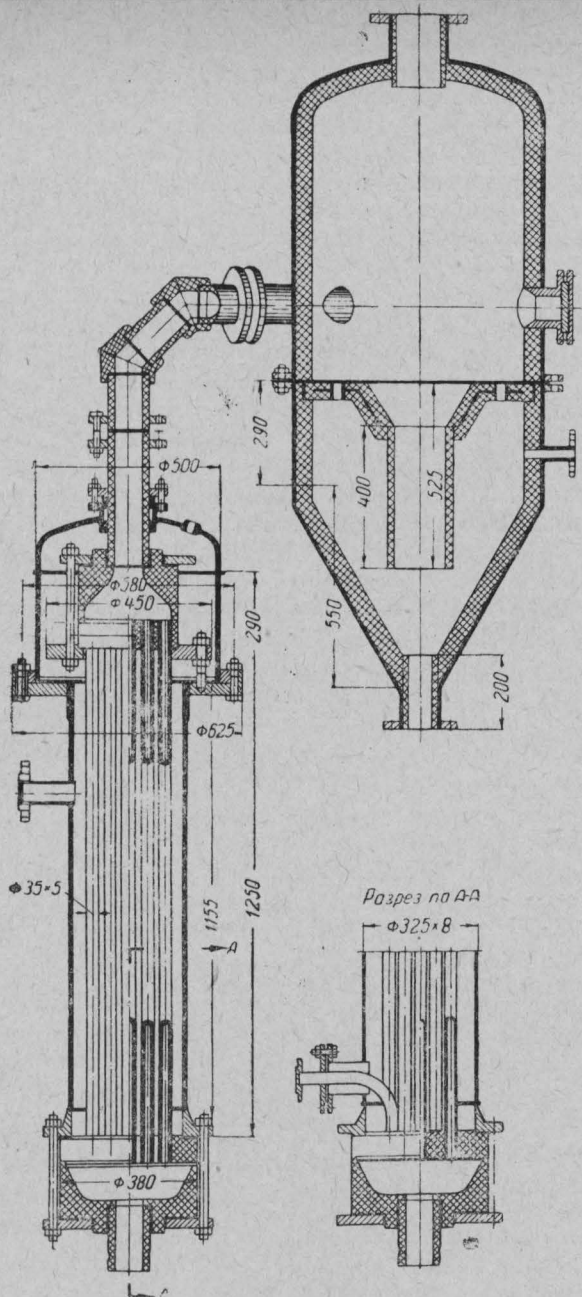


Рис. 8. Перегонный аппарат из графита



В СССР выпускают трубы из винипласта, полиэтилена, фаолита, текстолита.

В лаборатории анизотропных структур АН СССР из синтетических смол и стеклянного волокна разработан стекловолокнистый

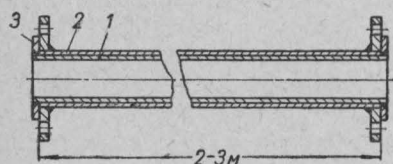
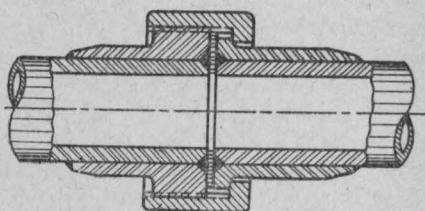


Рис. 9. Бронированная винипластовая труба:

1 — винипластовая труба; 2 — стальная труба; 3 — кольцо из листового винипласта



Стальная гайка

Рис. 10. Соединение винипластовых труб с накидной гайкой

анизотропный материал СВМ, предел прочности которого при удельном весе 1,42 достигает  $22 \text{ кг/см}^2$ .

Наиболее высокими показателями по прочности обладают трубы из пластмасс на основе эпоксидных смол; при удельном весе 1,20 материалы из эпоксидной стекломассы имеют прочность на разрыв  $28 \text{ кг/см}^2$ . Изготовленные на Ленинградском заводе слоистых пластиков образцы труб диаметром 250 мм из стеклопластмассы со стенками толщиной 4 мм выдерживали давление 30 атм, при этом не было обнаружено признаков разрушения трубы и диффузии газа через ее стенки.

Одним из прогрессивных методов является изготовление труб с одновременной их укладкой канавокопателем в грунт<sup>7</sup>.

По ходу канавокопателя происходит выдавливание готовой трубы из шнекмашины, в которую загружается гранулированный полиэтилен. Эта же машина укладывает трубу в землю и засыпает ее. Такой агрегат обслуживается всего лишь двумя рабочими.

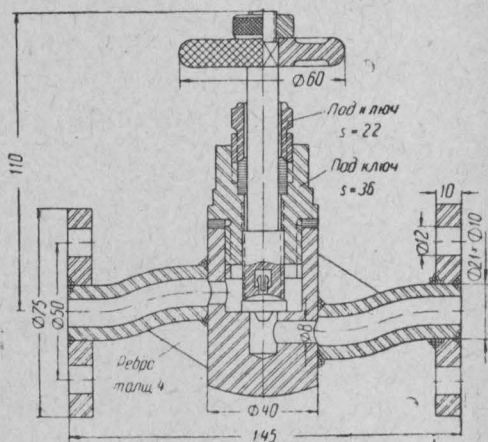


Рис. 11. Винипластовый вентиль с диаметром прохода  $D_y = 8 \text{ мм}$

Большое значение с точки зрения надежности и безопасности имеет также защита металлических нефте- и газопроводов пластическими массами. Полиамидные пленки ПК-4 оказались щелочно стойкими, хорошо сохраняющими свои параметры в нефти и воде. При толщине 50  $\mu$  они выдерживают нагрузку до 2,3 кг/см и в 5—7 раз превосходят прочность полиэтиленовых и поливинилхлорвиниловых пленок. Катодная поляризация не уменьшает прочности пленки. Покрытия из этих пленок рекомендуется делать двухслойными, чтобы дефекты первого слоя всегда перекрывались вторым слоем<sup>8</sup>.

Использование пластмасс в качестве фрикционных и антифрикционных материалов также имеет большое значение для техники безопасности.

Безопасность многих машин обеспечивается быстрым торможением. Из композиции синтетических смол и каучуков на основе

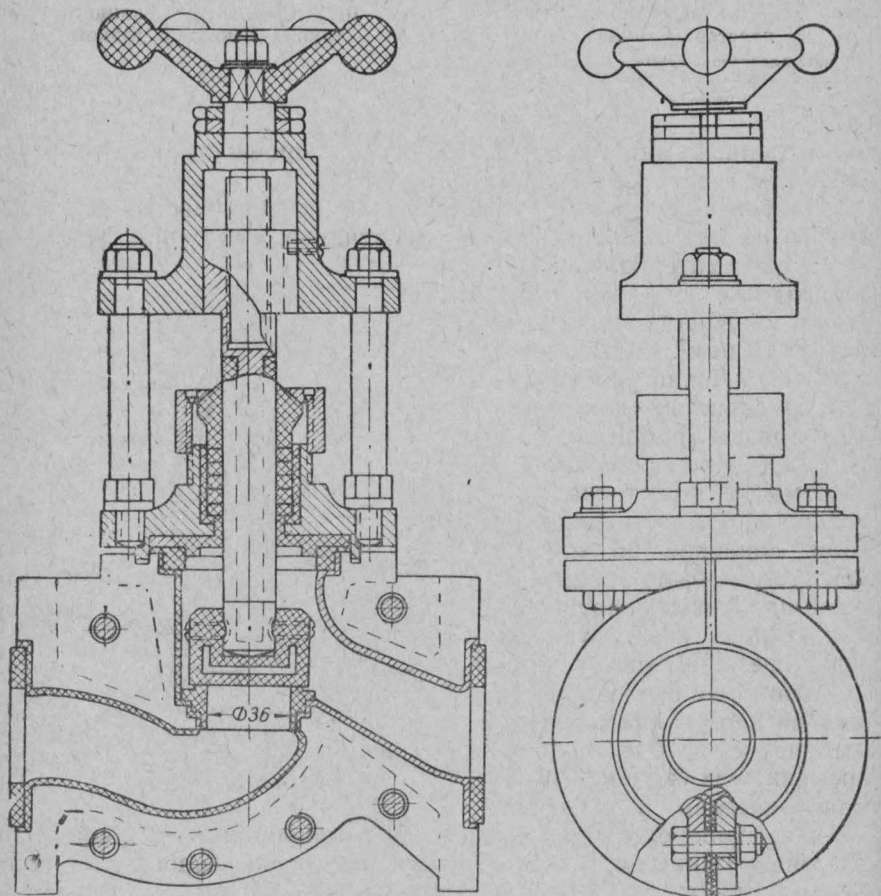


Рис. 12. Винипластовый вентиль в чугунной броне

асбеста изготовляют тормозные колодки для шахтных подъемников, вагонов метрополитена, трамвая, железных дорог, легковых автомашин, эскалаторов и других машин. Как показали испытания, стойкость и надежность тормозных колодок из этих материалов для железнодорожных вагонов в 8—12 раз выше, чем из чугунных. Детали из композиций на основе полимерных связующих веществ создают не только высокий тормозной эффект, но и вы-

держивают повышение температуры и ударные нагрузки. Эти детали и сопрягаемые с ними металлические детали мало изнашиваются, например, при замене деревянных тормозных колодок пластмассовыми в шахтных подъемных машинах

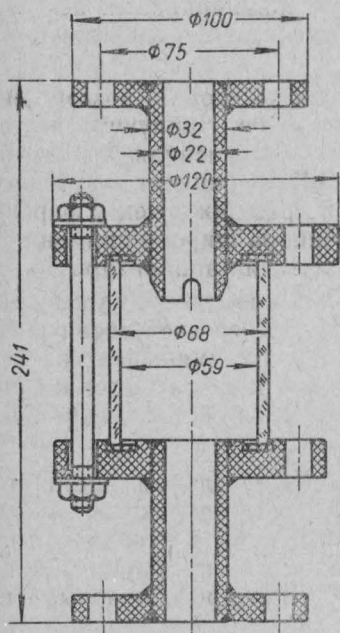


Рис. 13. Смотровой фонарь с цилиндрическим стеклом

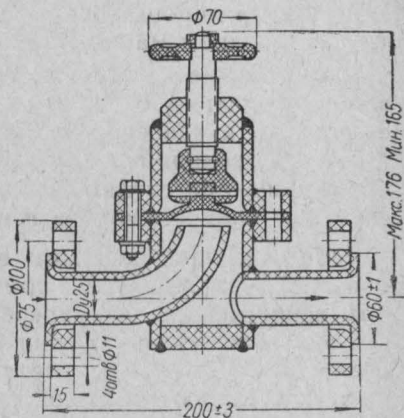


Рис. 14. Винилпластовый мембранный вентиль

срок службы колодок может быть удлинён от 1,5 до 15—20 лет, а регулирование тормозной системы можно производить реже.

Подшипники, втулки быстроходных машин, прокатных станов часто становятся источником пожаров и аварий вследствие нагревания масла. При применении же подшипников из пластмассы вообще не требуется специальной смазки, они охлаждаются водой, причем опасное повреждение шеек валов практически исключается. Добавление графита в прессованные композиции устраняет опасность образования статического электричества при трении, что особенно важно для машин и аппаратов, перерабатывающих взрывоопасные вещества. Лабораторией пластмасс и резины МИХМ совместно с конструкторским бюро Московского завода насосов им М. И. Калинина разработаны резино-металлические подшипники, представляющие сочетание профилей резиновой

втулки с металлической обоймой. В качестве смазочного и охлаждающего средства в таких подшипниках применяется вода. Благодаря эластичности резины попадающие в них твердые частицы угля, песка и т. п. вдавливаются в резину, перекатываются и по желобкам вымываются потоком воды. Эти подшипники имеют следующие преимущества: они весьма прочны, коррозионно стойки, бесшумны в работе и не требуют пожароопасных смазок. Эти же достоинства присущи текстолитовым и другим пластмассовым шестерням. Насосы с резино-металлическими подшипниками используются в шахтах. Они могут широко применяться и в химической промышленности.

Большое значение для предупреждения ожогов и возгораний имеет теплоизоляция аппаратов и трубопроводов. Наилучшим материалом для этих целей является мипора (вспененная мочевиноформальдегидная синтетическая смола). Коэффициент ее теплопроводности такой же, как у пробки, и в 50 раз ниже, чем у фарфора. Кубометр мипоры весит всего 15 кг. Мипора широко применяется в кислородном машиностроении для изоляции аппаратуры.

Изготовление кузовов шахтных вагонеток из стекломассы позволяет увеличить срок их службы в 2 раза за счет увеличения коррозионно- и износостойкости и, помимо того, уменьшает их вес на 25%. Благодаря применению этих вагонеток исключается искробразование при столкновениях и ударах, что имеет большое значение при наличии метана в воздухе.

Работами, проведенными во Всесоюзном угольном институте, доказано, что пластики, армированные стекловолокном, могут быть использованы как крепежные конструкции в угольной промышленности, поскольку они имеют следующие преимущества по сравнению с лучшими сортами дерева: пожаробезопасные, не гниют и обладают большой прочностью. По своей прочности они превосходят стали марки 30 ХГ СА.

В ряде случаев низкая теплопроводность и хорошая жаростойкость армированных пластмасс позволили применить эти материалы при кратковременном воздействии температур, значительно превышающих температуру плавления металлов. Так, согласно опубликованным в ГДР данным<sup>10</sup>, из армированных пластмасс изготавливают, например, клапаны жидкостно-реактивных двигателей, подвергающихся в течение нескольких минут действию температуры 2500°, а также стабилизаторы стартовых ракет, на которые кратковременно воздействует температура 1300°, и конусы баллистических ракет, нагревающиеся до 400° в течение 30 мин. В этом отношении очень хорошие свойства показали армированные пластмассы на основе фенольных смол и асбеста. Кремнеорганические армированные пластмассы выдерживают температуру 600° в течение продолжительного времени и температуру 2200° в течение нескольких десятков секунд. В ракетах дальнего действия применяется защитная теплоизоляционная оболочка из

армированной пластмассы, которая сгорает слоями, что защищает ракету и приборы от аварий<sup>10</sup>.

В США из армированных пластмасс изготавливают баллоны для сжатых газов, защитные каски и пружины. Как известно, в практике нередки случаи разрушения металлических пружин предохранительных клапанов и выпуск при этом ядовитых и взрывоопасных газов в атмосферу. Прочность металлических пружин нарушается при часто меняющихся температурах. Пружины же из искусственных смол, армированных стеклянным волокном, выдерживают температуру от  $-20$  до  $+70^\circ$ , не меняя своих свойств, а по прочности не уступают стали.

В настоящее время выпускаются клиновидные ремни из синтетических материалов для одиночного и группового привода. Одна из таких передач показана на рис. 15. С применением клиновидных ремней значительно сокращается расстояние между центрами шкивов, увеличивается эффективность передачи и уменьшается образование статического электричества.

Зубчатые ремни являются дальнейшим усовершенствованием клиновидных ремней. Одним из наиболее перспективных и вместе с тем самым дешевым и прочным каучуком для изготовления таких ремней и транспортерных лент оказался хлоропреновый синтетический каучук, успешно вытесняющий натуральный.

Для изготовления лент, предназначенных к транспортировке горячих материалов, пригодны также весьма прочные бутадиен-нитрильные каучуки. Прежде транспортерные ленты изготавливались сравнительно короткими, предельная их длина составляла несколько десятков метров. В настоящее время промышленность вырабатывает ленты, которые можно монтировать на многие километры.

На рис. 16 показана одна из таких транспортерных лент, применяемая на открытой угольной разработке. Длина этой ленты 7 км, пропускная способность 7 тыс. т материала в сутки. Лента наклонного типа допускает транспортировку груза со скоростью до 250 м/мин. В отношении обеспечения пожарной безопасности важное значение имеют и другие резино-технические изделия.

Для защиты водомерных трубок на паровых котлах, смотровых стекол аппаратов широко применяется органическое стекло (полимер метилового эфира метакриловой кислоты).

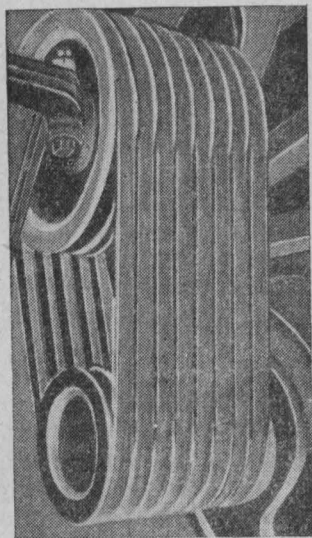


Рис. 15. Клиновидная много-ремешковая передача



Модифицированные акриловые полимеры находят все большее применение как небьющееся стекло.

В борьбе с отравлениями, травмами, пожарной опасностью в машиностроении имеет большое значение замена сварки и пайки склеиванием. Выделяющиеся при сварке и пайке пары кислот, вызывающие ожоги, взрывы газов, электротравмы делают эти процессы опасными при малейшем нарушении технологического режима. В настоящее время применяются следующие склеивающие вещества: каучукообразные, фенольные, формальдегидные, эпоксидные и т. п.

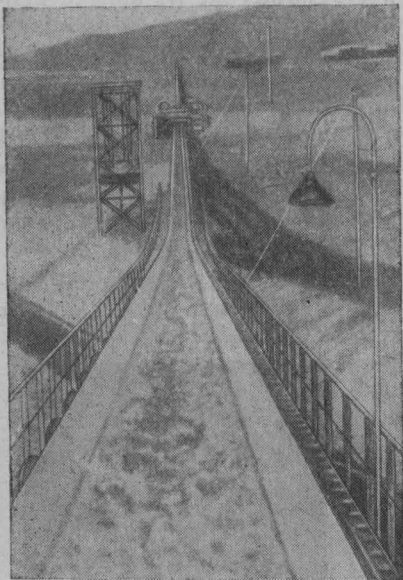


Рис. 16. Гигантская транспортная лента на открытых угольных разра-  
ботках. Длина ленты — 7 км

надежность работы машин и аппаратов. Весьма важно с точки зрения безопасности использование кремнеорганических жидкостей в буферных системах, демферах и т. п. Широкое распространение эти жидкости получили для устранения вибраций указательных стрелок различных приборов. Для этого капля жидкости помещается в подпятники стрелок.

Одной из важнейших областей применения кремнеорганических жидкостей является покрытие ими таких деталей как прокладки, манжеты и т. п., для достижения гидрофобности. Этими жидкостями рекомендуется также покрывать поверхности смотровых стекол для улучшения видимости и повышения устойчивости их к атмосферным воздействиям. Вспенивание жидкостей в реакторах затрудняет наблюдение через регарды за ходом химического процесса. Высокая поверхностная активность кремнеорганических

Для склеивания металлов широко используется эпоксидная смола в форме порошка или палочек. Смола размягчается при  $40-50^{\circ}$ . Поэтому ее легко наносить на горячие поверхности металлов (при  $70-100^{\circ}$ ) до их соединения.

Эпоксидной смолой можно также склеивать металлы при комнатной температуре, что особенно важно в аварийных условиях и взрывоопасных цехах, где подогрев невозможен. Для склеивания на холоде применяют также резоциноформальдегидные клеи.

Применение гидравлических кремнеорганических жидкостей (полиметилсилоксановых, полиэтилсилоксановых) гарантирует

жидкостей дает возможность использовать их для предотвращения образования пены.

Кремнеорганические пластики обладают большой механической прочностью, высоким электрическим сопротивлением и устойчивостью при высоких температурах. Получены кремнеорганические фторопласты, выдерживающие температуру до  $400^{\circ}$ . Совершенно незаменимы кремнеорганические материалы в электрооборудовании, предназначенном для работы в условиях высокой температуры и влажности (врубные машины в угольной, центрифуги в химической, насосы в нефтяной промышленности и др.). Для получения теплоустойчивой изоляции в трансформаторах применяются неорганические материалы типа стекла или асбеста в сочетании с полиорганосилоксановыми смолами. Подводящие кабели изолируются кремнеорганической резиной. Изоляция класса СВ всех остальных деталей трансформатора представляет собой различные кремнеорганические смолы и стекла, — способные длительно выдерживать температуру  $180^{\circ}$ . Конструктивные детали трансформаторов с изоляцией класса СВ показаны на рис. 17. Огнестойкость изоляции из стекловолокна на полиорганосилоксановых смолах была проверена следующим образом: катушка подвергалась действию пламени кислородно-ацетиленовой горелки с температурой  $2760^{\circ}$  в течение времени, которого было бы достаточно, чтобы этим пламенем разрезать стальную плиту толщиной 50 мм на расстоянии нескольких сантиметров. Действие пламени сказалось только на двух слоях стеклотекстолита на полиорганосилоксановой смоле. Для определения влияния воды на трансформатор с полиорганосилоксановой изоляцией, катушка и сердечник в течение 40 мин. подвергались действию двух

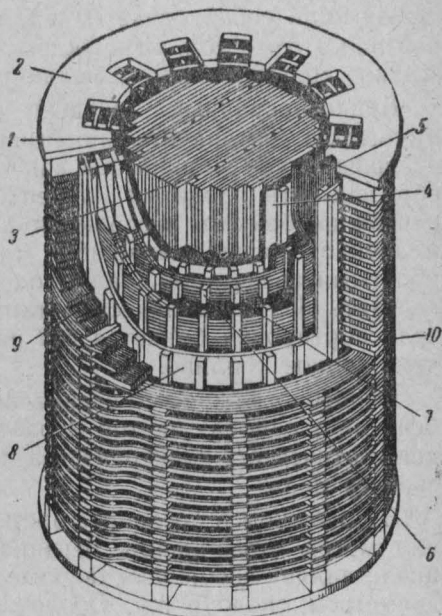


Рис. 17. Конструктивные детали трансформатора с изоляцией класса СВ:

1 — сердечник; 2 — опорное кольцо; 3 — осевые прокладки; 4 — барьер для изоляции обмоток от сердечника — стеклотекстолит на кремнийорганической смоле с прослойками из стеклоткани, пропитанной кремнийорганической резиной; 5 — провод с двойной кремнийорганической стекловолнистой изоляцией; 6 — продольные прокладки; 7 — межслойная изоляция обмотки низкого напряжения; стеклолакоткань на кремнийорганической основе; 8 — барьер для изоляции из стеклотекстолита на кремнийорганической смоле; 9 — обмотка высокого напряжения (изоляция провода из стекловолкна с кремнийорганической смолой); 10 — фарфоровые радиальные прокладки.

струй воды от разбрызгивателей, причем трансформатор находился под напряжением 2400 в. Измерение сопротивления изоляции мегомметром после действия воды показало бесконечность.

Одной из важнейших проблем пожарной безопасности является отверждение легковоспламеняющихся жидкостей, так как при их хранении и транспортировании возникает опасность образования в таре взрывоопасной паровоздушной смеси и возникновения искр разрядов статического электричества. Среди отвержденных веществ первое место занимает в настоящее время твердый бензин, представляющий собой брикеты, в которых содержится 95% жидкого бензина и 5% смол. Отвержденный бензин переводится обратно в жидкое состояние путем механического раздавливания в прессах.

Брикетируемый твердый бензин имеет следующие преимущества: он значительно безвреднее и безопаснее в пожарном отношении, чем жидкий, так как не обладает текучестью и не может образовывать ядовитых концентраций; упругость паров над ним ничтожна: брикеты загораются с трудом; пламя распространяется медленно; воспламенившиеся брикеты можно быстро погасить простыми средствами, даже водой; брикеты можно хранить и перевозить без металлической тары, что дает большую экономию; транспортировка брикетов в 2 раза меньше загружает транспорт, чем жидкое топливо.

Особенно важное значение приобретает применение твердого бензина в районах вечной мерзлоты, где заземление и отвод зарядов статического электричества невозможен из-за диэлектрических свойств льда.

За рубежом в последнее время большое распространение получил метод отверждения бензина капсულიрованием. Этот бензин представляет собой полутвердые шарики с прозрачной оболочкой диаметром около 5 мм. Оболочка-капсула изготавливается из полиэтилена. Из капсул бензин легко извлекается при раздавливании и центрифугировании. Оболочка капсулы по весу составляет всего 2%, остальные 98% — жидкий бензин. При таком способе полностью исключается попадание вредных паров в воздух при хранении и транспортировке.

В результате исследовательских работ, проводившихся в АН СССР проф. Б. И. Лосевым<sup>7</sup>, для получения пакетируемых углеводородов применяются типичные полимерные вещества, дающие устойчивые эмульсии, которые затем отверждают. Использована смесь нескольких эмульгаторов, в состав которых входят мочевиноформальдегидная смола, поливиниловый спирт и казеин. Казеин и поливиниловый спирт отверждаются формалином, мочевиноформальдегидная смола — щавелевой кислотой. Топливо, отвержденное таким способом, может применяться без раздавливания непосредственно в виде брикетов. Брикет поджигается спичкой и медленно горит ровным пламенем. 1 кг отвержденного бензина дает 10 000 ккал тепла. Отвержденное топливо получило высокую

оценку в экспедициях на Памире, Заполярье и Антарктике при температуре минус 50—70° и давлении наружного воздуха 465 мм рт. ст. Наиболее рациональным и безвредным видом упаковки твердого бензина оказалась крафтбумага в сочетании с легкими деревянными решетками. Твердый бензин можно хранить без упаковки в засыпанных ямах, на открытых площадках, в речных и морских водоемах и неотапливаемых хранилищах.

Проблема отверждения пожароопасных жидкостей особенно важна для химической промышленности.

## ЛИТЕРАТУРА

1. М. И. Гарбер, Пластические массы в народном хозяйстве, Госхимиздат, 1958.
2. Фторопласты, Госхимиздат, 1954.
3. К. А. Андрианов, Теплостойкие кремнийорганические диэлектрики, Госэнергоиздат, 1957.
4. Химическая наука и промышленность, 3, 3 (1958).
5. Пластмассы в медицине, Медгиз, 1957.
6. В. Ваум, L. Н. Wartman, Structure and mechanism of dehydrochlorination of polyvinylchloride, Journal of polymer science, 28, 118, 1958.
7. Б. И. Лосев, Твердый бензин, Пожарное дело, 1 (1959).
8. Строительный журнал предприятий нефтяной промышленности, 6 (1958).
9. Строительство трубопроводов, 9 (1958).
10. Strubel plaste und Kautschuk, 4, 443 (1957).
11. Адгезии, клей, цементы, Изд. иностранной литературы, 1957.

## НОВЫЙ СПОСОБ ОЧИСТКИ СЕРОУГЛЕРОДНЫХ РЕЗЕРВУАРОВ ОТ ШЛАМА

Годжелло М. Г.

Сероуглерод относится к числу легковоспламеняющихся жидкостей. По своим свойствам и характеристикам сероуглерод является веществом повышенной пожарной опасности, которую определяют следующие показатели: низкая температура вспышки, исключительно низкая температура самовоспламенения паров (107°), широкие пределы взрываемости паров в воздухе. Скорость горения паров сероуглерода превышает скорости горения таких газов, как метан и окись углерода, и легковоспламеняющихся жидкостей, как ацетон, диэтиловый эфир и бензин. Пары сероуглерода хотя и тяжелее в 2,6 раза воздуха, но обладают довольно большой скоростью диффузии, несколько превышающей диффузию паров диэтилового эфира и бензола.

При хранении сероуглерода-сырца с течением времени на дне резервуаров накапливается довольно значительное количество шлама (по данным одного из заводов — до 3 т на 1000 т выработанного сероуглерода). При работе на сере, содержащей трехсер-

нистый мышьяк, шлама еще больше в связи с тем, что мышьяк уносится сероуглеродом-сырцом. В шламе кроме трехсернистого мышьяка (растворимого в аммиаке) содержится чистая сера, окислы железа и сульфиды железа — продукты коррозии. Шлам лежит в резервуарах очень плотным слоем и пропитан сероуглеродом, содержание которого достигает 40%. Очистка сырцевых резервуаров от шлама вызывает на всех заводах большие затруднения и обычно сводится к выгрузке его и удалению с водой в канализацию. Операция эта крайне тяжелая, вредная для здоровья рабочих (проводится в противогазах, которые имеют весьма ограниченный срок годности) и опасная в пожарном отношении. На одном из заводов удобное расположение сырцевых цистерн позволяет спускать шлам в специальные шламовые аппараты и отгонять из него сероуглерод. Этот способ освобождения резервуаров от шлама был положен в основу вновь проектируемых заводов. Вместе с тем подобное сочетание сероуглеродных резервуаров со специальными шламовыми аппаратами, располагаемыми обычно в отдельной пристройке к складу, значительно удорожает и усложняет оборудование.

В 1958 г. разработан новый проект склада сероуглерода-сырца с использованием способа выпарки сырцевых (сероуглеродных) резервуаров и очистки их от шлама (Алексеев Ю. Г. Медведев В. И., Ольхин А. П. и Лопатин Г. А.) По этому проекту предусматривается отгонка сероуглерода из шлама с паром непосредственно из сырцевых резервуаров. Способ этот был проверен на опытной установке по следующей схеме (рис. 1). К резервуару 1,

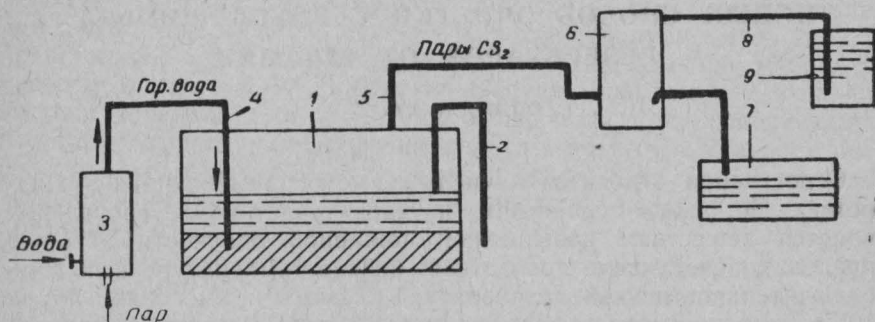


Рис. 1. Схема опытной установки для отгонки сероуглерода от шлама

в котором отгонялся сероуглерод из шлама, присоединялась сифонная трубка 2 так, чтобы она не доставала дна примерно на 600 мм. По трубке 2 удалялась излишняя вода и обеспечивалось наличие слоя воды около 15—20 см над шламом. В смесителе 3 вода подогревалась паром до 70—80° и по сифонной трубке 4 поступала в резервуар. Сероводород и пары сероуглерода уходили по трубопроводу 5 в холодильник 6. Сконденсировавшийся серо-



углерод собирался в бочке 7 под слоем воды. Газы по трубопроводу 8 проходили гидравлический затвор 9 с раствором соды или щелочи для поглощения сероводорода.

Проект установки по отгонке сероуглерода из шлама при складе сырца приведен на рис. 2. Технологической схемой предусматривается следующий процесс отгонки сероуглерода из шлама. После накопления шлама в резервуаре 1 слоем примерно 600 мм из него выдавливается весь сероуглерод, вода удаляется с помощью переносного резинового шланга, причем над шламом должно оставаться воды не менее 1600—1700 мм по высоте. По перфорированной трубе, введенной в резервуар (см. узел 3), подается острый пар. Температура в начальный момент должна быть не выше 50°, а в конце отгонки может доводиться до 80—90°. Пары сероуглерода и воды по газопроводу 5 поступают в холодильник. Сконденсированная вода и сероуглерод из холодильника поступают в резервуар для приема переливов. После окончания отгонки сероуглерода в резервуар по резиновому шлангу подается вода для охлаждения шлама. После охлаждения шлама и воды производят удаление шлама, для чего резервуар полностью заполняют водой, устанавливают рядом с отсеком подвижной насос 7, соединяют его трубой 6 с резервуаром и через трубопровод для шлама 8 — с коробкой для отбора шлама, после чего включают насос. В коробке установлены перфорированные бункеры, в которых шлам задерживается, а вода уходит в канализацию. Шлам из бункера перегружается на грузовые машины.

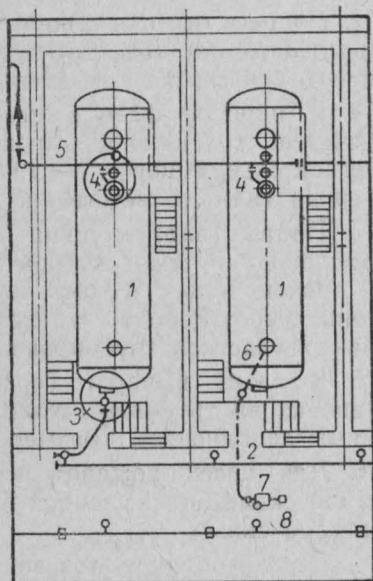


Рис. 2. Проект установки по  
отгонке сероуглерода от шлама  
при складе сырца

Проектом предусмотрены следующие указания по монтажу и эксплуатации установки.

1. Участок трубопровода 4, предназначенного для отгонки сероуглерода, монтируется при приварке к резервуару штуцера 3, после чего снимается и хранится отдельно. Перед отгонкой сероуглерода эта деталь монтируется у соответствующего резервуара.

2. Трубопровод для пара 2 с отводом у каждого отсека склада монтируется одновременно, причем все отводы заглушаются. Участки паропроводов, показанные пунктиром (см. рис. 2) монтируются перед отгонкой сероуглерода, а после отгонки демонтируются.

3. Все постоянные и временные трубопроводы для подачи пара и для паров сероуглерода тщательно изолируются. Температура поверхности изоляции должна быть  $+45^{\circ}$ .

Пожарная безопасность процесса обеспечивается следующими мероприятиями.

1. В реконструируемом складе сероуглерода-сырца предусматривается размещение лишь по одному резервуару в каждом отсеке.

2. Процесс отгонки сероуглерода начинается с  $50^{\circ}$ ; температура острого пара под конец отгонки допускается не выше  $90^{\circ}$  (низшая температура самовоспламенения сухих паров сероуглерода  $112^{\circ}$ ).

3. В паровой фазе в процессе отгонки сероуглерода будет обеспечено содержание паров воды, значительно превосходящее огнегасительную норму\* —  $1,95 \text{ кг}$  воды на  $0,45 \text{ кг}$  паров сероуглерода (или соответственно  $12,75 \text{ л}$  на  $3,785 \text{ л}$ ).

4. Подача пара должна осуществляться по изолированному паропроводу с температурой на поверхности изоляции не выше  $45^{\circ}$ , причем только к тому резервуару, из которого производится отгонка сероуглерода, что исключает возможность перегрева отдельных участков трубопроводов.

5. В схеме выпарки сероуглерода из шлама проектируется установка за трубчатым холодильником огнепреградителя с гравийным заполнением (размер зерен гравия  $3\text{--}5 \text{ мм}$ ).

6. Для целей пожаротушения предусматривается обеспечение отсеков склада распыленной водой, подаваемой из перфорированных труб снизу.

7. Отсеки оборудуются вентиляцией с отсосами снизу.

Новый способ чистки сероуглеродных резервуаров от шлама наряду со значительным экономическим эффектом обеспечивает пожарную безопасность операции отгонки сероуглерода.

## **ВЫБОР ЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ВЗРЫВОБЕЗОПАСНЫХ ВЕНТИЛЯТОРОВ**

*Розловский А. И., Ройзен И. С., Сущев П. Г., Феррари Е. А.*

Для вентиляции производственных помещений, в атмосфере которых содержатся горючие газы и пары, необходимо пользоваться вентиляторами, изготовленными из взрывобезопасных материалов. Это относится как к технологической, так и к санитарной вентиляции. Соударение деталей этих вентиляторов, возможное при их

---

\* По литературным экспериментально проверенным данным.

поломках и неисправностях, не должно приводить к такому искрообразованию, которое может вызвать поджигание горючих паро- и газо-воздушных смесей.

В качестве материала для изготовления взрывобезопасных вентиляторов, универсальных по отношению к любым горючим газовым смесям, нами был предложен алюминий и его сплавы (дюрал), не дающие искр при истирании<sup>1</sup>. Однако, несмотря на достоинства алюмо-дюралевых вентиляторов, их применение имеет и отрицательные стороны.

Так, во взрывобезопасных алюминиевых вентиляторах недопустимо использование стали, кроме защищенного вала и подшипников. Это требует аккуратности при эксплуатации и обеспечении невозможности контактов алюминия со сталью при случайных нарушениях правил техники безопасности.

В алюминиевый вентилятор не должны попадать твердые энергичные окислители в дисперсном состоянии, например, нитросоединения, которые, оседая, могли бы накапливаться на внутренних деталях. Их совместное с алюминием истирание создает угрозу поджигания горючих смесей. Поэтому алюминиевые вентиляторы не могут быть рекомендованы к использованию, например, в производстве нитролаков и красок.

Необходимо полностью исключить попадание в вентилятор ржавчины из трубопроводов, создающей в алюминиевом вентиляторе, возможность опасного искрообразования. Это обстоятельство требует тщательного контроля за состоянием подводящего газопровода\*.

Для ряда производств, на которых возможно образование горючих газовых смесей, не относящихся к наиболее взрывоопасным ( $C_2H_2$ ,  $C_2H_4$ ,  $H_2$ ,  $CO$  и  $CS_2$ ) было бы желательно изготавливать вентиляторы из более дешевых материалов, чем алюминий и дюраль. Все перечисленные обстоятельства делали целесообразным подыскание, кроме алюминия, и других материалов для изготовления взрывобезопасных вентиляторов. В связи с этим нами была исследована возможность поджигания горючих смесей искрами трения различных легированных сталей.

Опыты проводились по методике, описанной ранее<sup>1</sup>, которая обеспечивает наиболее жесткие условия поджигания. Для испытаний мы готовили стержни из сплавов желаемого состава. Навески компонентов сплава, взятые в необходимых соотношениях, сплавлялись в графитовом тигле при помещении его в высокочастотную печь.

Проверка взрывобезопасности изготовленных материалов первоначально производилась при истирании стержней карборун-

---

\* Внутренняя окраска его должна производиться электропроводящими красками, например с добавками графита, во избежание образования в проходящих газовых смесях зарядов статического электричества.

довым диском в атмосфере воздушных смесей ацетилена, как наиболее опасного горючего. Концентрация ацетилена в смеси на пределе поджигания служит критерием взрывобезопасности исследуемого материала. Наиболее перспективные материалы подвергались дальнейшему исследованию путем истирания в атмосфере воздушных смесей бензола, метанола и метана, обогащаемых кислородом.

Основными легирующими добавками, среди исследованных нами, были хром, кремний, титан, никель, медь. Все сплавы содержат в небольшом количестве углерод и марганец (десятые доли %). В таблице приведены составы всех исследованных нами сплавов, критическая концентрация ацетилена в воздушной смеси на пределе поджигания искрами трения, а также отмечен характер искрообразования при истирании, наблюдавшийся визуально.

По данным таблицы можно заключить, что железные сплавы, содержащие до 18% меди, не становятся более взрывобезопасными, чем обычная малоуглеродистая сталь, тогда как их твердость сильно возрастает. Так же не изменяется критическая концентрация  $C_2H_2$  при максимальном возможном увеличении содержания углерода — до 1,2%. Не изменяет взрывоопасность стали и добавка 3,5% титана.

Взрывоопасность хромистых сталей заметно понижается лишь при содержании хрома порядка 20—30%, при этом твердость сплава очень высока. Добавки никеля и малых количеств кремния и титана не изменяют взрывоопасности хромистых сталей. В серии опытов с 6 образцами сортовой нержавеющей стали марки 1X18H9T (18%Cr, 9%Ni) критические концентрации  $C_2H_2$  колебались в интервале 2,0—5% (наиболее вероятное значение 3,5%).

Таким образом, результаты определения критических концентраций поджигания при истирании хромистых сталей находятся в соответствии с данными измерения температуры их искр трения. Заметное колебание критической концентрации  $C_2H_2$  характерно для сплавов хрома, по-видимому, из-за неоднородности их структуры, в которую включены отдельные элементы, отличающиеся большей взрывоопасностью.

Наибольшее внимание было уделено изучению сплавов кремния, поскольку было установлено, что уже сравнительно небольшие его добавки благоприятно сказываются на взрывобезопасности железных сплавов. Опыты показали, что добавки 2—4% кремния к железу позволяют повышать предельную концентрацию ацетилена в поджигаемой смеси до 3,5—5%. Еще более взрывобезопасны сплавы, содержащие от 2,5 до 7% кремния и 2—4% титана, для которых критическая концентрация ацетилена возрастает до 6% и выше. Однако такие сплавы очень тверды и хрупки и почти не поддаются механической обработке. Добавки никеля и меди не улучшают их механических свойств.

На основании результатов опытов можно сделать вывод, что хотя некоторые сплавы и отличаются высокой взрывобезопасностью

№№ п/п	Содержание легирующих добавок в %							Содержание C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> в % в смеси критичес- кого состава	Визуальное наблюдение искрообразования, примечания
	Cr	Si	Ti	Ni	Cu	C	Mn		
1	—	—	—	—	—	1,2	—	2,0	Яркие, частые искры
2	—	0,27	—	—	10,0	0,25	0,5	2,0	Яркие искры
3	—	0,27	—	—	10,5	0,2	0,5	1,5—2,0	То же
4	—	0,24	—	—	18,0	0,2	0,5	2,0	»
5	—	0,94	3,5	—	—	0,5	0,5	2,0—2,5	Одиночные искры
6	1,0	—	—	—	—	—	—	1,5—2,0	Яркие, частые искры
7	1,8	—	1,0	9,0	—	—	—	1,5—2,0	То же
8	12,0	0,21	2,0	—	—	0,2	0,4	2—3	»
9	13,0	—	—	—	—	0,2	—	1,5—2,0	»
10	14,0	—	—	14,0	—	—	—	2,0	»
11	14,0	0,81	1,8	—	—	0,2	0,4	2,0	
12	13,8	2,36	2,0	—	—	0,2	0,4	2,0	
13	28,0	—	—	—	—	—	—	>6,0	Искр почти нет
14	30,5	1,53	—	6,0	—	0,3	0,3	2,0	
15	31,7	1,63	—	—	—	0,3	0,3	4,0	Темные, редкие искры
16	31,8	0,15	—	—	—	0,3	0,3	~5	То же
17	32,6	0,12	—	—	—	0,3	0,2	2,0	Яркие, частые искры
18	32,8	1,63	—	—	—	0,3	0,3	6,0	Искр почти нет
19	32,8	1,65	—	1,0	—	0,3	0,3	6,0	Темные, редкие искры
20	21	—	1,0	—	—	—	—	>6,0	Сплав содержит 10% бо- ра, темные, редкие искры
21	21	—	1,0	—	—	—	—	>6,0	Тот же состав с добав- кой 0,3% азота (ни- триды)
22	—	2,0	—	—	—	0,2	0,5	4,0	Яркие искры
23	—	2,0	—	—	—	0,2	0,5	5,0	
24	—	2,9	—	—	—	0,2	0,6	3,5	Короткие искры
25	—	2,9	—	—	—	0,2	0,6	3,5	То же
26	—	2,9	—	—	—	0,2	0,6	3,5	»



№№ ш/п	Содержание легирующих добавок в %							Содержание C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> в % в смеси критичес- кого состава	Визуальное наблюдение искрообразования, примечания
	Cr	Si	Ti	Ni	Cu	C	Mn		
27	—	3,0	—	—	3,8	0,2	0,6	2,5	Короткие искры
28	—	3,0	—	—	7,7	0,2	0,5	3,0	То же
29	—	3,0	—	3,8	—	0,2	0,6	2,5	Яркие искры
30	—	3,3	—	—	—	0,2	0,6	5,5	Короткие редкие искры
31	—	3,7	—	—	—	0,2	0,6	5,5	То же
32	—	3,8	—	—	—	0,2	0,5	4,0	»
33	—	3,8	—	—	—	0,2	0,5	4,0	»
34	—	7,8	—	—	—	0,2	0,5	>4,0	Темные искры
35	—	7,8	—	—	—	0,2	0,5	4,0	То же
36	—	8,5	—	—	—	0,2	0,5	3,0	Одиночные яркие искры
37	—	2,3	1,25	—	—	0,2	0,5	5,0	Редкие одиночные искры
38	—	2,3	1,22	—	—	0,2	0,5	3,5	
39	—	2,3	2,45	—	—	0,2	0,5	>6,0	Редкие темные искры
40	—	2,28	3,0	—	9,6	0,15	0,4	>6,0	Искр почти нет
41	—	2,28	3,0	—	9,6	0,15	0,4	>6,0	То же
42	—	2,28	3,0	—	9,6	0,15	0,4	>6,0	»
43	—	2,31	3,0	—	4,9	0,15	0,5	>6,0	»
44	—	2,54	3,28	—	—	0,5	0,5	4,0	»
45	—	2,54	3,28	—	—	0,5	0,5	6,0	»
46	—	2,54	3,28	—	—	0,5	0,5	>6,0	»
47	—	3,24	2,0	—	—	0,25	0,5	>6,0	Темные искры
48	—	3,24	2,0	—	—	0,25	0,5	>6,0	То же
49	—	7,3	0,8	—	—	0,25	0,5	>6,0	Искр почти нет
50	—	6,2	3,6	—	—	0,15	0,4	>6,0	То же
51	—	6,25	3,1	8,1	—	0,2	0,4	>6,0	»

№№ п/п	Содержание легирующих добавок в %							Содержание C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> в % в смеси критичес- кого состава	Визуальное наблюдение искорообразования, примечания
	Cr	Si	Ti	Ni	Cu	C	Mn		
52	—	6,4	3,2	—	—	0,2	0,4	>6,0	Темные, короткие, редкие искры
53	—	6,4	3,2	—	1,7	0,15	0,4	6,0	Искр почти нет
54	—	6,4	3,2	4,6	—	0,2	0,4	>6,0	То же
55	—	6,4	3,3	—	6,4	0,4	0,4	>6,0	»
56	—	6,4	3,3	—	6,4	0,4	0,4	>6,0	»
57	—	6,6	3,5	15,8	—	0,4	0,4	3,0	»
58	—	6,7	3,4	12,2	—	0,35	0,4	6,0	»
59	—	6,7	3,4	12,2	—	0,35	0,4	>6,0	»
60	—	6,7	3,4	12,2	—	0,35	0,4	>6,0	»
61	—	6,9	3,4	—	—	0,25	0,4	4,0	Короткие, темные искры
62	—	11,6	1,65	7,7	—	0,1	0,4	>6,0	Искр почти нет
63	—	12,1	1,7	4,3	—	0,1	0,4	5,0	Редкие, короткие, темные искры
64	—	12,2	1,6	—	3,2	0,1	0,4	6,0	Искр почти нет

при истирании, их нельзя рекомендовать для изготовления взрывобезопасных вентиляторов вследствие неудовлетворительных механических свойств. Гораздо целесообразнее пойти на некоторое понижение взрывобезопасных свойств и получить дешевые, допускающие обработку обычными методами сплавы для изготовления неуниверсальных взрывобезопасных вентиляторов ограниченного использования.

Исходя из этого, была проверена взрывобезопасность сталей, содержащих 2,9 и 3,7% кремния, а также сортовой нержавеющей стали 1Х18Н9Т в большой серии опытов по истиранию их образцов в атмосфере горючих смесей бензола, метанола и метана при значительном обогащении их кислородом — до 20—25% добавочного O<sub>2</sub>. Опыты показали, что ни в одном случае искры трения кремнистых сталей не поджигали горючих смесей. В опытах с

одним из образцов нержавеющей стали происходило поджигание смесей метанола, содержащих 20% добавочного кислорода. Таким образом, кремнистые стали предпочтительнее стали 1X18H9T для изготовления неуниверсальных взрывобезопасных вентиляторов, вследствие меньшей затраты ценных легирующих материалов, а также ненадежности хромистых сталей, для которых пределы поджигания могут колебаться, очевидно, в связи с неоднородностью структуры.

На основании изложенного следует рекомендовать в качестве материала для неуниверсальных взрывобезопасных вентиляторов сплавы, содержащие 2—4% кремния. Такие сплавы находят значительное применение в электротехнической промышленности под названием динамных и трансформаторных сталей<sup>2</sup>. Они хорошо обрабатываются обычными способами, прокатываются в листы толщиной 0,5—0,1 мм.

В заключение приведем некоторые соображения о возможных причинах влияния легирующих добавок на температуру поджигающих искр трения. Специфическое свойство железа давать при истирании частицы, энергично окисляющиеся кислородом воздуха, в известной степени сходно с его способностью в массивных деталях гореть в кислородной струе, которая используется при кислородной резке железа.

При горении железа в кислородной струе реакция протекает в условиях диффузии кислорода через расплавленную окисную пленку. Скорость горения определяется толщиной и свойствами окисной пленки, устанавливающейся при стационарном режиме горения (при диффузионном переносе кислорода) и истечения<sup>3</sup>.

Можно предположить, что специфическая способность железа быстро окисляться при наличии окисной пленки обусловлена переменной валентностью его окислов; образование промежуточных продуктов способствует увеличению скорости переноса кислорода по механизму, сходному с цепным, что определяет большую величину эффективного коэффициента диффузии кислорода. Малые добавки кремния к железу при окислении дают пленки, в которых не может происходить перенос кислорода по такому механизму. Марганец и хром, соединения которых также имеют переменную валентность, в малых количествах не препятствуют окислению железной частицы через слой окислов.

## Выводы

1. В целях подбора взрывобезопасных при истирании материалов изготовлен и изучен ряд легированных сталей. Установлено, что при истирании некоторых из них образуется незначительное количество видимых искр, либо таковые вовсе отсутствуют, вследствие чего не происходит поджигания наиболее опасных из исследованных воздушных смесей (до 6%  $C_2H_2$ ).

2. Наиболее взрывобезопасны железные сплавы с 6—8% кремния и 2—5% титана, однако такие сплавы нельзя рекомендовать для технологического использования ввиду их повышенной твердости и хрупкости. В качестве материала для изготовления неуниверсальных взрывобезопасных вентиляторов рекомендуются слабо легированные стали, содержащие 2—4% кремния, применяющиеся в электротехнической промышленности.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. А. И. Розловский, И. С. Ройзен и П. Г. Сушев, Вестник технической и экономической информации, № 2, 41, 1959.
2. В. С. Меськин, Ферромагнитные сплавы, ОНТИ, 1937; Б. Г. Лившиц, Физические свойства металлов и сплавов, 1956.
3. А. Л. Вейс и А. И. Розловский, Журн. физ. химии, 23, 1305, 1959.

### АВТОМАТИЧЕСКИЕ ПОЖАРНЫЕ ИЗВЕЩАТЕЛИ

*Жданов С. М., Макаров В. М.*

Ликвидация развившихся пожаров сопряжена с серьезными трудностями, поэтому очень важно не допустить их распространения. В связи с этим автоматическая пожарная сигнализация как средство быстрого извещения о пожаре приобретает особое значение. Действие приборов автоматической пожарной сигнализации основывается на явлениях, которые сопровождают пожар. Внешне пожар воспринимается как интенсивное горение, которое, как известно, представляет собой сложный химический процесс, связанный с превращением веществ и сопровождающийся повышением температуры окружающей среды, излучением энергии и выделением продуктов горения (дыма). Задача автоматической пожарной сигнализации — быстро обнаружить начало пожара и сообщить о нем. Разрешение этой задачи возможно путем применения автоматических приборов, которые, реагируя на какое-либо из указанных выше физических явлений, способны подать электрический сигнал.

Автоматический пожарный извещатель является одним из главных элементов автоматической пожарной сигнализации, в которую, кроме извещателей, входят приемный аппарат (приемная станция), линии связи и источники питания. Совокупность группы автоматических пожарных извещателей с приемным аппаратом составляет установку автоматической пожарной сигнализации, схематическое устройство которой приведено на рис. 1. Группа автоматических пожарных извещателей 1 размещается в контролируемых помещениях объекта. Количество извещателей и их относительное расположение определяется специальными нормами. Срабатывание извещателя фиксируется приемным аппаратом 3, к которому сигнал передается по линиям связи 2. По городской телефонной линии сигнал тревоги подается в пожарную команду 4.

В современной технике широко применяется автоматическая электронная аппаратура для контроля за параметрами физических неэлектрических величин. Эта аппаратура обладает рядом достоинств: возможностью непрерывного во времени и дистанционно-го контроля за средой, точностью, чувствительностью и т. д. В направлении широкого использования указанной аппаратуры развивается и автоматическая пожарная сигнализация.

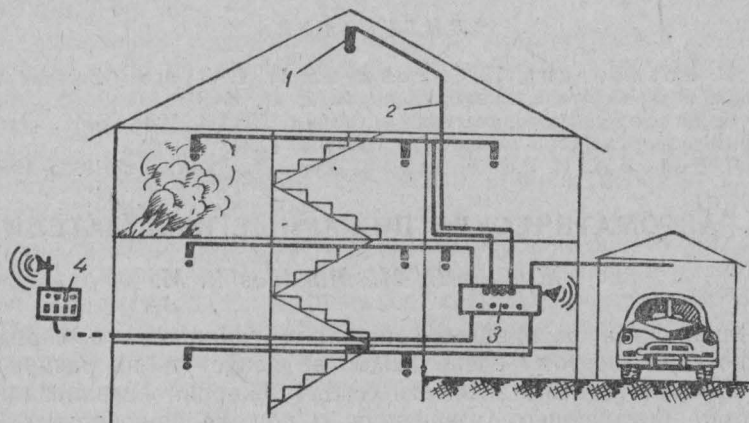


Рис. 1. Схема устройства автоматической пожарной сигнализации:

1 — автоматические извещатели; 2 — линии связи; 3 — приемный аппарат;  
4 — сигнальный аппарат в пожарной команде

Элемент автоматического пожарного извещателя, выполняющий функции преобразователя неэлектрической величины в электрическую, называется преобразователем или датчиком. Датчиками могут служить твердые, жидкие или газообразные тела, электрические параметры которых зависят от контролируемой физической неэлектрической величины. В зависимости от того, на какое физическое явление реагирует датчик извещателя, последние могут быть отнесены, по принятой терминологии, к одной из следующих трех групп:

- 1) тепловые автоматические пожарные извещатели, реагирующие на повышение температуры;
- 2) световые автоматические пожарные извещатели, реагирующие на излучение открытого огня;
- 3) дымовые автоматические пожарные извещатели, реагирующие на появление продуктов горения.

Эффективность работы извещателей определяется параметрами, из которых основными являются:

а) чувствительность, которая определяется величиной минимального импульса (тепла, дыма, излучения), приводящего к срабатыванию извещателя и зависит в основном от примененного в извещателе датчика и настройки извещателя;



б) время срабатывания, характеризующее инерционность, которая проявляется в том, что с момента начала воздействия на извещатель определенного источника выходной сигнал вырабатывается не сразу, а по прошествии некоторого времени;

в) зона действия, измеряемая расстояниями или площадями, с которых источник воздействия (тепло, дым, световое излучение) вызывает срабатывание извещателя.

За последние годы создан ряд эффективных автоматических пожарных извещателей, описание которых приводится в настоящей статье.

### Полупроводниковый извещатель

Сокращенное название этого извещателя — ПТИМ-1 (полупроводниковый тепловой извещатель максимального действия). В извещателе (рис. 2) в качестве чувствительного элемента использовано полупроводниковое термосопротивление (ПТС). Полупроводниковые термосопротивления получили широкое распространение в различных областях техники (автоматика, телемеханика, радиотехника и т. п.). Они выгодно отличаются от других типов термочувствительных элементов (например биметаллических) рядом положительных качеств: высокой чувствительностью, малыми габаритами и т. д. Для изготовления ПТС употребляются различные окислы металлов. В новом извещателе используется одна из особенностей ПТС — способность резко уменьшать величину электрического сопротивления при повышении температуры окружающего воздуха.

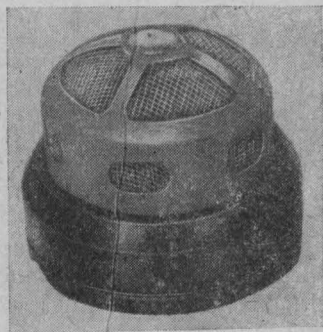


Рис. 2. Внешний вид извещателя ПТИМ-1

Отечественная промышленность выпускает большое количество различных ПТС, например ММТ, ТШ и др. Высокий ( $10^6$  ом и выше) номинал (начальное электрическое сопротивление) при  $20^\circ$  и широкий диапазон рабочих температур (от  $-60$  до  $+180^\circ\text{C}$ ) позволяют использовать ПТС в качестве датчиков для извещения о пожаре для большинства случаев. Исследование различных типов ПТС показало, что в схеме извещателя можно применять ПТС с номиналом от 100 000 ом и выше. В новом извещателе установлено термосопротивление типа ММТ-1. Принципиальная схема извещателя ПТИМ-1 представлена на рис. 3. Чтобы увеличить площадь соприкосновения ПТС с окружающим воздухом и уменьшить возможность ошибки, возникающей вследствие подогрева датчика

током, датчик изготавливают из двух последовательно соединенных ПТС. Тиратрон извещателя представляет собой газонаполненную электровакуумную лампу без накала, имеющую три электрода: анод *A*, катод *K* и управляющий электрод *C* (сетку). При некоторых величинах напряжения, подведенного к электродам тира-

трона, ток не проходит через него. Но если напряжение на управляющем электроде превысит определенную величину, в тиратроне произойдет разряд, или, как принято говорить, «зажигание». При этом между катодом и анодом начнет протекать ток. Приведенная схема включения элементов извещателя обеспечивает его высокую чувствительность и релейный эффект. Последний заключается в скачкообразном увеличении тока в линии питания извещателя при его срабатывании. Извещатель действует следующим образом. При нормальных условиях (когда отсутствует повышение температуры) напряжение постоянного тока, подводимое к зажимам извещателя по двух-

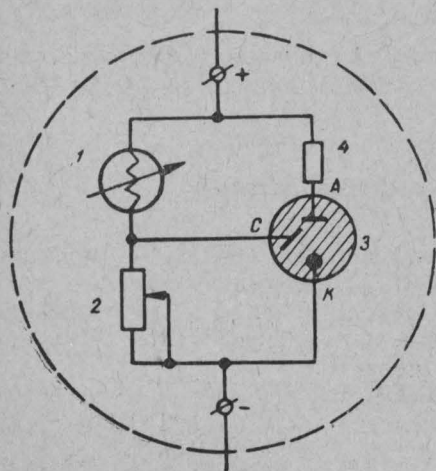


Рис. 3. Принципиальная схема извещателя ПТИМ-1:

1 — датчик; 2 — переменное сопротивление; 3 — тиратрон; 4 — добавочное сопротивление

проводной линии, распределяется пропорционально сопротивлениям плеч делителя, состоящего из датчика 1 и регулировочного сопротивления 2. Изменением величины сопротивления 2 можно менять (в определенных пределах) напряжение средней точки делителя, подаваемое на управляющий электрод тиратрона (так называемое напряжение смещения). Тем самым можно регулировать температуру срабатывания прибора. В извещателе, отрегулированном на определенную температуру срабатывания, напряжение на управляющем электроде всегда ниже напряжения зажигания, т. е. имеется запас напряжения  $\Delta V$ , равный

$$\Delta V = V_{\text{зак}} - V_{\text{см}},$$

где  $V_{\text{зак}}$  — напряжение зажигания тиратрона;  
 $V_{\text{см}}$  — напряжение смещения.

При повышении температуры окружающей среды электрическое сопротивление ПТС резко уменьшается, в результате чего снижается величина запаса напряжения. В момент, когда напряжение на управляющем электроде превысит напряжение зажигания, тиратрон «зажжется» — извещатель срабатывает. При этом между анодом и катодом тиратрона пройдет значительный ток, который

увеличит ток в линии и приведет в действие линейное реле, установленное в приемном аппарате. Благодаря применению тиратрона в извещателе отсутствуют открыто искрящиеся контакты. Это одно из преимуществ нового прибора перед другими термодатчиками. К достоинствам ПТИМ-1 относятся также удобная регулировка температуры срабатывания, облегченный режим работы термодатчика, рассеивание незначительной мощности на ПТС при срабатывании извещателя, что гарантирует длительное безотказное действие.

Извещатель может быть включен в приемный аппарат (рис. 4), который состоит из линейного комплекта (реле  $P_1$ ,  $P_2$  сигнальная лучевая лампа  $Л_3$ ), общего реле тревоги  $P_3$  и общего реле повреждений  $P_4$  с соответствующими сигнальными устройствами. Число линейных комплектов равняется числу лучей, остальные приборы являются общими для всей установки.

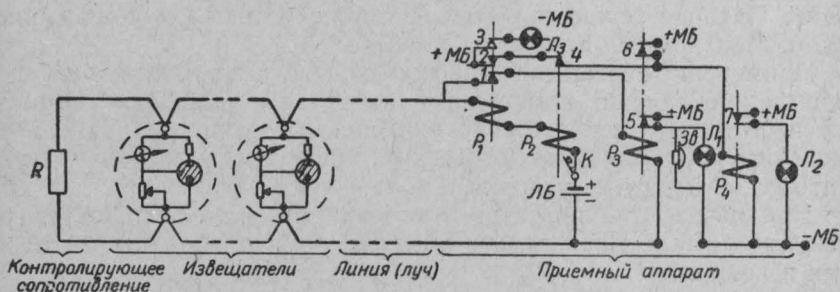


Рис. 4. Принципиальная схема приемного аппарата и включения извещателей в линию

Схема приемного аппарата позволяет контролировать исправность линии (короткое замыкание и обрыв). Принцип действия схемы заключается в следующем: в состоянии покоя по лучу протекает контрольный ток, который удерживает якорь реле  $P_2$  в притянутом положении (для срабатывания реле  $P_1$  этот ток недостаточен). Ток батареи МБ, включаемый контактной группой 4 реле  $P_2$ , приводит в действие реле  $P_4$ . При этом лампа повреждений  $Л_2$  не горит, показывая исправность установки. Когда же повышается температура, извещатель срабатывает, ток в луче увеличивается и приводит в действие реле  $P_1$ . В результате загорается сигнальная лампа  $Л_3$  и срабатывает реле  $P_3$ , включая световой и акустический сигналы тревоги. Контактной группой 6 реле  $P_3$  шунтируется цепь реле  $P_4$ . Сигнал тревоги выключается нажатием кнопки  $К$  на аппарате.

При коротком замыкании линии обмотка общего реле тревоги  $P_3$  шунтируется и он отпускает якорь, а реле  $P_1$  и  $P_4$  включают сигнальные лампы. При обрыве линии реле  $P_2$ , удерживаемое нормально контрольным током луча, обесточивается, а контактная группа 4

разрывает цепь питания реле  $P_4$ , контакты которого включают общие сигналы повреждений.

Результаты испытаний извещателя ПТИМ-1 показали, что он удовлетворяет основному требованию, предъявляемому к таким приборам, — обнаруживать пожар в самом начале его возникновения. При испытаниях извещатель, отрегулированный на определенную чувствительность (под чувствительностью в данном случае понимают минимальное превышение температуры в помещении над температурой окружающей среды, приводящее к срабатыванию датчика), переносили из окружающей среды с температурой  $20^\circ$  в среду, нагретую до  $100^\circ$ , и фиксировали время с момента переноса до момента срабатывания. Оно оказалось равным при чувствительности в  $20^\circ$  — 5 сек.,  $30^\circ$  — 10 сек.,  $40^\circ$  — 15 сек.

Извещатель ПТИМ-1 рассчитан на длительное непрерывное использование и может работать при температуре от  $-40^\circ$  до  $+60^\circ$  и относительной влажности до 80%. Зона его действия достигает  $25 \text{ м}^2$ . Питание осуществляется постоянным током с напряжением 120 в. Монтируется прибор на потолке.\*

Применение извещателя целесообразно в различных производственных и складских помещениях, на судах и т. п. При установке его необходимо принимать во внимание особенности данного помещения, характер технологических процессов, наличие горючих материалов и другие условия.

При разработке проектов установки извещателей следует руководствоваться «Правилами размещения автоматических тепловых извещателей».

### Ионизационный извещатель

Ионизационный извещатель имеет сокращенное название АДИ (автоматический дымовой извещатель). Он предназначен для обнаружения продуктов горения в воздухе. Состоит извещатель (рис. 5) из трех основных частей: ионизационной камеры с радиоактивным источником  $\alpha$ -излучения 1, высокоомного добавочного сопротивления 2 и электрометрической лампы тлеющего разряда 3. Радиотехнические сопротивления  $R_2, R_3, R_4, R_5$  устанавливают режим работы лампы.

Прибор основан на принципе воздействия продуктов горения на ионизационный ток камеры. При попадании дыма в ионизационную камеру происходит уменьшение ионизационного тока.

\* Извещатель ПТИМ-1 выпускается промышленностью в комплекте с приемной станцией. Для защиты складов и других помещений большой интерес представляет упрощенная система тепловой сигнализации. Чувствительным элементом этой системы служит полупроводниковое сопротивление КТМ-10. Один извещатель данного типа (ПТИМ-2) контролирует до  $10 \text{ м}^2$  площади. Приемная станция в комплекте с 70 шт. извещателей рассчитана на охрану помещения площадью  $700 \text{ м}^2$ . Благодаря относительной простоте и невысокой стоимости извещатели ПТИМ-2 должны получить широкое применение во многих отраслях народного хозяйства.

Это объясняется тем, что меньшее число образующихся в камере ионов достигает электродов камеры, так как размеры частиц продуктов горения больше по величине и весу, чем нормальные молекулы воздуха. Крупные частицы, концентрация которых в продуктах горения довольно высока, препятствуют как образованию, так и движению ионов в ионизационной камере. Тяжелые частицы хотя и ионизируются, но оказываются менее подвижными, чем нормальные ионы воздуха. Более тяжелым ионам требуется значительно больше времени, чтобы достигнуть электродов ионизационной камеры. Поэтому у тяжелых ионов воздуха возможность столкнуться с противоположно заряженной частицей и рекомбинироваться с ней в нейтральную частицу, значительно больше, чем у обычных ионов. Увеличение рекомбинации ведет к уменьшению ионизационного тока.

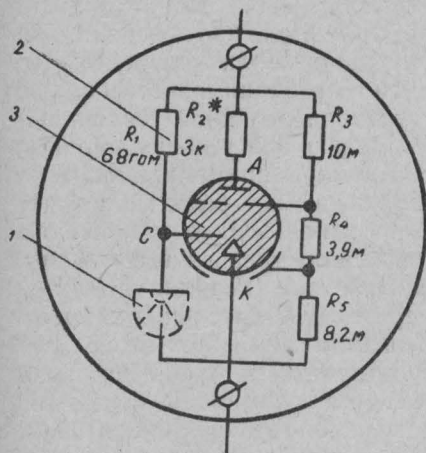


Рис. 5. Принципиальная схема извещателя АДИ:

1 — ионизационная камера; 2 — высокоомное добавочное сопротивление; 3 — электрометрическая лампа тлеющего разряда

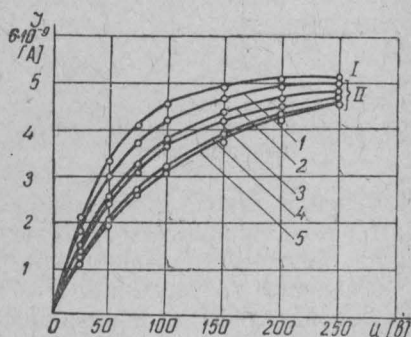


Рис. 6. Вольтамперные характеристики:

I — при отсутствии дыма; II — при действии дымов различных веществ (1 — табак; 2 — резина; 3 — текстиль; 4 — бумага; 5 — дерево)

В связи с тем, что ионизационную камеру можно рассматривать как высокоомное сопротивление, описанное выше явление можно трактовать как увеличение кажущегося сопротивления камеры.

На рис. 6 приведены вольтамперные характеристики ионизационной камеры для различных продуктов горения. Как видно, продукты сгорания различных веществ оказывают разное действие на ионизационный ток. Так, продукты горения бумаги и дерева, вызывают большое изменение ионизационного тока. Табачный дым оказывает меньшее влияние. Это объясняется тем, что размеры частиц дыма значительно меньше частиц дыма бумаги и дерева. Газообразные продукты, выделяющиеся при горении светильного газа, спирта и т. п. также вызывают незначительное изменение ионизационного тока, вследствие того, что при горении этих ве-



ществ происходит почти полное окисление, и продукты сгорания являются газами с нормальными газовыми молекулами.

Воздействие продуктов горения на ионизационный ток ограничено во времени (рис. 7). При попадании продуктов горения в ионизационную камеру ток сразу же резко уменьшается, но через несколько минут снова увеличивается приблизительно до первоначальной величины. Такое изменение тока происходит за счет ионизации частичек дыма, перемещения их к электродам камеры и оседания на стенках камеры. Изменение тока зависит не только от общего количества сгоревшего вещества, значительно большее значение имеет мгновенная концентрация свежих продуктов горения (необходимо, чтобы она достигла определенной величины).

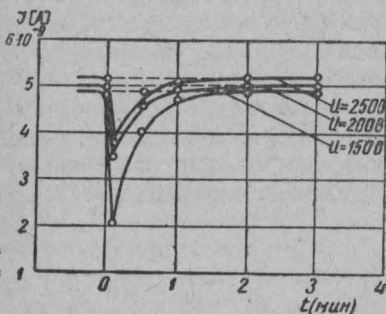


Рис. 7. Характер воздействия продуктов горения во времени на ионизационный ток

Уменьшение ионизационного тока камеры при попадании в нее дыма не может быть непосредственно использовано для включения сигнала тревоги, ввиду малых величин тока (порядка  $5 \cdot 10^{-9}$  а).

Изменение такого тока можно измерить чувствительными приборами, но для практического использования величина этого тока мала, поэтому гораздо удобнее использовать не изменение тока, а изменение напряжения. Это достигается с помощью включения последовательно с ионизационной камерой высокоомного добавочного сопротивления. Добавочное сопротивление вместе с ионизационной камерой образует делитель напряжения, и подводимое к делителю напряжение будет распределяться пропорционально сопротивлениям ионизационной камеры и добавочного сопротивления. При уменьшении ионизационного тока, что можно рассматривать как увеличение сопротивления камеры, напряжение на средней точке делителя возрастет до какой-то величины против первоначальной, и разница, которая может быть весьма значительной, используется для приведения в действие различных схем.

В извещателе АДИ добавочное сопротивление применено типа КЛМ (КВМ) величиной  $68 \cdot 10^9$  ом (68 гом). При этой величине сопротивления получены оптимальные условия работы извещателя. Вместо добавочного сопротивления можно использовать закрытую ионизационную камеру, чтобы дым не попадал в камеру и не изменял величины сопротивления.

Для усиления тока в извещателе АДИ применена электрометрическая лампа с холодным катодом — тиратрон. Применение тиратрона с холодным катодом обусловлено еще рядом важных соображений. Тиратрон не требует каких-либо усилительных уст-

ройств, поскольку он сам является фактически ионным реле в незажженном состоянии (что соответствует нормальному рабочему режиму извещателя), практически не потребляет тока, в связи с чем достигается экономия энергии, увеличивается срок службы извещателя и т. п. Тиратрон, или электрометрическая лампа тлеющего разряда, специально разработан для пожарного извещателя типа АДИ. Рабочее анодное напряжение составляет 220 в, напряжение зажигания промежутка сетка — катод лежит в интервале  $100 \div 135$  в. Поэтому если между сеткой и катодом будет напряжение ниже 100 в (состояние ионизационной камеры при отсутствии дыма), то тиратрон тока не проводит. Но если напряжение на сетке возрастет выше напряжения зажигания, то в промежутке сетка — катод произойдет разряд, который приведет к зажиганию основного промежутка анод — катод. Тогда в анодной цепи начнет протекать ток, величина которого достаточна для срабатывания обычного электромагнитного реле. Величина тока определяется величиной рабочего напряжения, внешним ограничительным сопротивлением и напряжением горения лампы. Максимальная величина тока составляет 10 ма. Разряд на анод переходит только в том случае, если сеточное напряжение достигает некоторой определенной величины. Это напряжение зависит от величины первичного управляющего импульса. Для получения достаточно мощного задающего импульса используется электрическая емкость между управляющим электродом и катодом, заряд которой в момент зажигания разряжается на управляющий электрод. В связи с тем, что ток зажигания тиратрона весьма мал ( $10^{-10}$  а), необходима хорошая изоляция управляющего электрода. Сопротивление изоляции должно быть очень высоким и составлять более  $10^{12}$  ом. Это достигается тем, что управляющий электрод (сетка) выводится на верх баллона лампы, а стеклянный баллон покрывается специальным кремнеорганическим высокоизоляционным лаком.

Работа извещателя заключается в следующем: в спокойном положении, при отсутствии в ионизационной камере дыма, подвешенное напряжение распределится между ионизационной камерой и добавочным сопротивлением таким образом, что напряжение на ионизационной камере, а следовательно и между сеткой (управляющим электродом) и катодом, будет меньше, чем напряжение зажигания промежутка сетка — катод. При попадании в ионизационную камеру продуктов горения (дыма) ионизационный ток в камере уменьшится, что равносильно увеличению сопротивления ионизационной камеры, и подвешенное к делителю напряжение перераспределится. Поскольку сопротивление ионизационной камеры увеличилось, то и напряжение на ионизационной камере, а следовательно, и на электродах тиратрона сетка — катод тоже увеличится. Путем соответствующего подбора величины добавочного сопротивления напряжение сетка — катод будет достаточным для того, чтобы зажечь тиратрон. Тогда в анодной цепи тиратрона пой-

дет ток, достаточный для приведения в действие электромагнитного реле.

При правильно подобранных параметрах схемы величина напряжения на электродах сетка — катод при изменении ионизационного тока камеры под воздействием дыма может быть до 100 в.

Внешний вид извещателя типа АДИ приводится на рис. 8. Все детали извещателя смонтированы на пластмассовом основании и

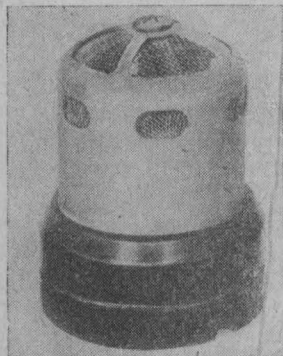


Рис. 8. Внешний вид извещателя АДИ

закрыты алюминиевым корпусом. Извещатель можно устанавливать на потолке или подвешивать. Крепление извещателя к установочной колодке осуществляется с помощью штырьков, одновременно являющихся электроконтактами, по которым подается питание. Чертеж извещателя в разрезе дан на рис. 9, из которого видно внутреннее устройство извещателя. Боковые отверстия ионизационной камеры имеют жалюзи, позволяющие путем поворота закрывать их в зависимости от существующих в помещении потоков воздуха. Корпус ионизационной камеры является одновременно и электродом камеры. Второй внутренний электрод, выполненный в виде чаши, укреплен непосредственно на управляющем элект-

роде (сетке) тиратрона. Такое крепление электрода обеспечивает высокую изоляцию промежутка сетка — катод. Форма внутреннего электрода в виде чаши дает возможность получать электрическую емкость между управляющим электродом и катодом, кото-

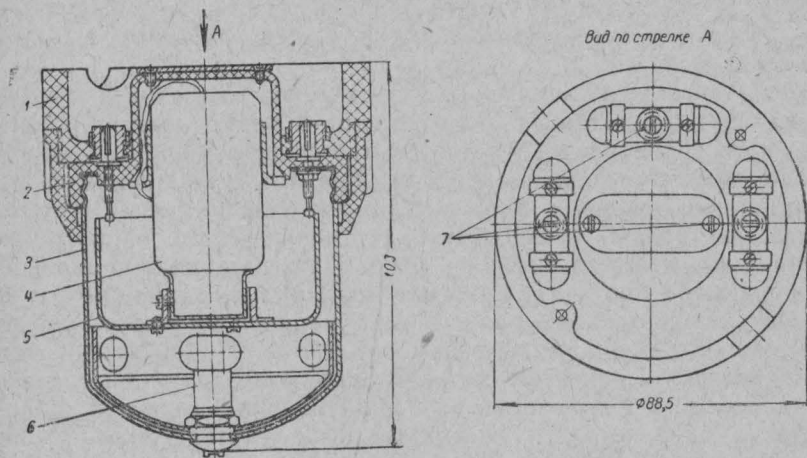


Рис. 9. Разрез извещателя типа АДИ:

1 — установочная колодка; 2 — основание; 3 — корпус (наружный электрод); 4 — тиратрон; 5 — внутренний электрод; 6 — радиоактивный источник; 7 — контакты

рая необходима для увеличения мощности начального импульса. Величина этой емкости равна 30 пф. Добавочное сопротивление и остальные вспомогательные сопротивления смонтированы под внутренним электродом. Извещатель имеет один радиоактивный источник (излучатель), конструкция которого видна из рис. 10. Радиоактивное вещество защищено специальной пленкой от механических повреждений и осыпания. Источник радиоактивного излучения имеет простое устройство, позволяющее быстро, не вскрывая извещателя, производить регулировку интенсивности излучения. Габаритные размеры извещателя составляют: высота 105 мм и диаметр 75 мм. Вес извещателя равен примерно 140 г.

В извещателе предусмотрена возможность регулирования чувствительности в довольно широких пределах путем изменения интенсивности излучения радиоактивного источника.

От интенсивности излучения радиоактивного источника зависит величина ионизационного тока. При уменьшении интенсивности излучения ионизационный ток уменьшается, и напряжение на камере увеличивается, и наоборот, при увеличении интенсивности — уменьшается. Исходя из этого, начальное напряжение на ионизационной камере, а следовательно, на электродах сетка — катод тиратрона (напряжение при отсутствии дыма) можно менять в известных пределах. При начальном напряжении, близком к напряжению зажигания, извещатель может сработать от небольшого импульса напряжения, который создается незначительной концентрацией дыма. Наоборот, если начальное напряжение будет установлено меньше напряжения зажигания тиратрона, потребуется значительное изменение напряжения, а следовательно, и большая концентрация дыма. Время срабатывания извещателя АДИ при попадании в него дыма при некоторых средних значениях (концентрации дыма, начального напряжения) — не более 5 сек.

Данный тип извещателя с успехом может быть применен для автоматической подачи сигнала о начале пожара в музеях, книгохранилищах, складских помещениях, промышленных предприятиях, на электростанциях, в учреждениях и др. помещениях.

Извещатель предназначен для включения в приемный аппарат пожарной сигнализации лучевой системы и работает на замыкании линии. Принципиальная схема возможного варианта

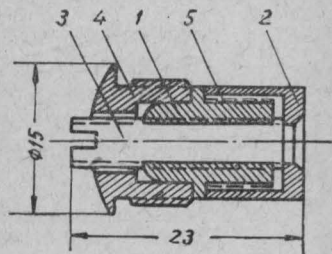


Рис. 10. Конструкция излучателя:

1 — втулка (подложка под радиоактивное вещество); 2 — колпачок; 3 — винт; 4 — основание; 5 — слой радиоактивного вещества

включения извещателя приводится на рис. 11. Питание извещателя производится постоянным током напряжением 220 в. В один луч — линию (ввиду высокого сопротивления извещателя постоянному току) может быть включено большое количество извещателей.

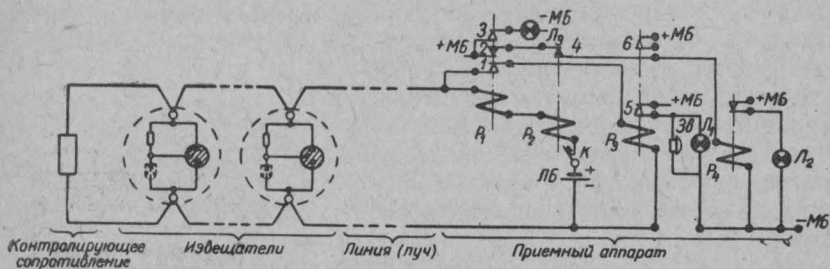


Рис. 11. Принципиальная схема приемного аппарата и включения извещателей в линию.

Для осуществления контроля в каждую линию включается параллельно сопротивление. При срабатывании извещателя (находящийся в нем тиристор загорается) по цепи начинает протекать ток, достаточный для приведения в действие электромагнитного реле, которое замыкает контакты, и таким образом подается сигнал тревоги. Промышленный выпуск извещателя АДИ намечается с 1962 г.

### Извещатель, реагирующий на ультрафиолетовые лучи

В извещателе в качестве чувствительного элемента использован счетчик фотонов, что позволяет обнаруживать ультрафиолетовое излучение небольшого открытого пламени (горение спички) в помещениях с нормальной освещенностью. Другими датчиками осуществить это весьма затруднительно из-за малой интенсивности излучения пламени спички по сравнению с интенсивностью других источников видимого света (естественного и искусственного). Обнаружение открытого пламени по его ультрафиолетовому излучению весьма эффективно, так как ультрафиолетовые фотоны света обладают наибольшей энергией.

Счетчики элементарных частиц широко используются в различных радиотехнических устройствах. Они отличаются от фотоэлементов с внешним фотоэффектом тем, что регистрируют каждую элементарную частицу, каждый фотон, в то время как фотоэлемент — их совокупность. Преимуществом счетчика фотонов является то, что он намного чувствительнее фотоэлемента (граница чувствительности лежит около  $9 \cdot 10^{-11} \text{ эрг} \cdot \text{см}^{-2}/\text{сек}^{-1}$ ) и имеет максимум чувствительности в ультрафиолетовой области.

Работа извещателя с датчиком — счетчиком фотонов основывается на свойстве счетчика фотонов отсчитывать фотоны света.



Причем имеется пропорциональная зависимость между интенсивностью излучения и скоростью отсчета. Чем больше интенсивность пламени и чем ближе пламя к счетчику, тем скорость отсчета выше.

Если счетчик фотонов включить в специальное устройство, позволяющее сосчитать импульсы, то можно увидеть характерную зависимость (рис. 12) скорости счета от расстояния источника света. Нормальная освещенность (естественное и искусственное освещение помещения) фиксируется счетчиком фотонов, при этом зависимость имеет вид прямой 1. Кривая 2 представляет зависимость для пламени стеариновой свечи. Превышение скорости счета от излучения пламени над скоростью отсчета при нормальной освещенности используется для работы извещателя.

Счетчик фотонов для целей пожарной сигнализации (рис. 13) имеет цилиндрический баллон из кварцевого стекла, наполненный смесью газов; внутри его помещены анод и катод. Анод 3 представляет собой металлическую нить, размещенную вертикально по центру баллона. Металлический катод 2 расположен вокруг нити анода в виде цилиндра с вырезом по образующей. При отсутствии

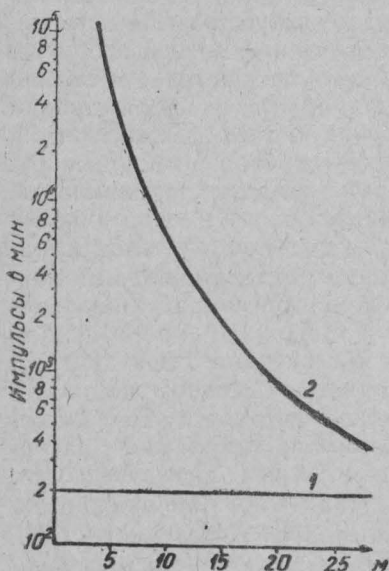


Рис. 12. Изменение скорости счета в зависимости от излучения:

1 — при естественном и искусственном освещении помещения; 2 — от пламени стеариновой свечи (диаметром 25 мм).

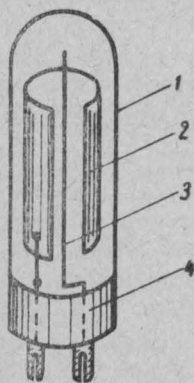


Рис. 13. Устройство счетчика фотонов:

1 — стеклянный баллон; 2 — катод; 3 — анод; 4 — цоколь

светового излучения счетчик представляет большое сопротивление и тока не проводит. При наличии светового излучения фотоны света, попадая в счетчик, вызывают ионизацию газа, и в нем происходит разряд. Это ведет к импульсному изменению напряжения на аноде.

Специальные гасящие добавки (метилаль, изопентан и т. п.), являющиеся компонентами газовой смеси, наполняющей баллон, прекращают разряд, и потенциал анода восстанавливается. Частота таких циклов, или импульсов, в единицу времени называется скоростью счета.

Принципиальная схема извещателя, реагирующего на излучение пламени (рис. 14), в основном содержит датчик-счетчик фотонов (типа СФК-1)\* 1, электронную схему 2 (в целях сокращения

расхода электроэнергии и уменьшения габаритов и веса выполненную на полупроводниковых приборах) и сигнальное реле 3.

Одним из заводов выпущена опытная партия извещателей типа АИП-1 в промышленном исполнении (рис. 15). Извещатель АИП-1 реагирует на ультрафиолетовое излучение, способен практически сигнализировать о появлении пламени свечи на расстоянии до 10 м. Работает извещатель следующим образом (см. рис. 16): импульсы напряжения, снимаемые с нагрузочного сопротивления счетчика фотонов ( $R_5 + R_6$ ), усиливаются усилителем, первый каскад которого выполнен на плоскостном триоде  $ПП_2$  работающем в режиме катодного повторителя. Он служит в основном для согласо-

Рис. 14. Принципиальная схема извещателя, реагирующего на излучение пламени:

1 — датчик-счетчик фотонов СФК-1; 2 — электронная схема; 3 — сигнальное реле

сования выходного сопротивления счетчика фотонов с входным сопротивлением усилителя. Амплитуда импульса, снимаемая с нагрузочного сопротивления счетчика фотонов в 10 мом, составляет 0,5 в. Второй каскад на триоде  $ПП_3$  служит усилителем напряжения.

С третьего каскада, собранного на плоскостном триоде  $ПП_4$ , импульсы тока, усиленные по амплитуде, подаются на интегрирующую цепь ( $D_3, D_4, C_4$ ). Интегрирующая цепь, заряд каждого принятого импульса, интегрирует в интервале времени порядка постоянной времени  $RC$  этой цепи. Разрядный ток интегрирующей цепи управляет током коллектора триода  $ПП_5$ , работающего как усилитель постоянного тока. В цепь коллектора триода  $ПП_5$  включено электромагнитное сигнальное реле ( $P$ ). Реле срабатывает, как только усредненная величина импульсов со счетчика фотонов превысит определенное значение. Переменные сопротив-

\* Основные параметры СФК-1 см. в приложении.

ление  $R_9$  в цепи коллектора триода  $ПП_4$  регулирует амплитуду усиленных импульсов и служит для регулирования чувствительности.

Преобразователь напряжения на триоде  $ПП_1$  служит для повышения напряжения постоянного тока от уровня напряжения линии до уровня рабочего напряжения счетчика фотонов (1200 в). Преобразователь состоит из блокинг-генератора, собранного на мощном триоде  $ПП_1$  (типа ПЗВ), селеновых столбиков ( $D_1, D_2$ ), выпрямляющих переменное напряжение, полученное с дополнительной ( $I$ ) обмотки трансформатора блокинг-генератора ( $Tr_1$ ), конденсатора фильтра  $C_3$  и стабилизатора ( $Ст$ ). Обмотки трансформатора  $Tr_1$  намотаны на железе типа пермоллой.

В качестве стабилизатора напряжения в извещателе использован стабилитрон типа СГ9С коронного разряда; основные данные его приведены в табл. 1.

Конструктивно извещатель исполнен таким образом, что все элементы схемы собраны в один блок и заключены в металлический корпус размером  $225 \times 100 \times 65$  мм.

Питание извещателя осуществляется с приемной станции постоянным током по двухпроводной линии, которая подключается к клеммам  $Л_1$  и  $Л_2$ . Диод  $D_5$ , включенный в цепь питания, служит

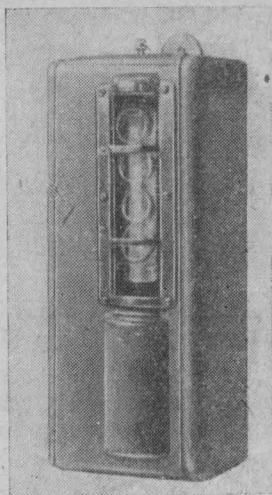


Рис. 15. Внешний вид извещателя АИП-1

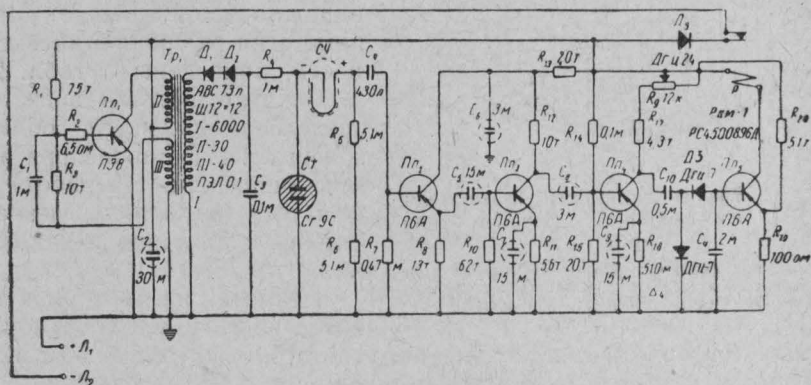


Рис. 16. Принципиальная схема извещателя АИП-1

для предохранения от возможной ошибки в полярности при включении извещателей в станцию. Расход тока на один извещатель составляет  $18 \div 20$  ма.

Тип стаби- литрона	Макси- мальное напря- жение зажига- ния, в	Диапазон рабочих напряжений, в	Диапазон рабочих токов, мка	Измене- ние нап- ряжения в диапа- зоне ра- бочих токов, в	Внутреннее сопротив- ление (ди- намичес- кое), ком	Ток утечки, мка
СГ9С	1320	1220÷1238	10÷100	18	200	2 (при 1000в)

Извещатель АИП-1 предназначен для включения в приемную станцию типа ПАИ-10-20.

Зона действия извещателя представлена в виде площадей (эпюр видимости) (рис. 17), которые получены в вертикальном и горизонтальном положении извещателя при источнике пламени, равном одной свече. Эти эпюры получены при установке извещателя на высоте 3 м от пола помещения.

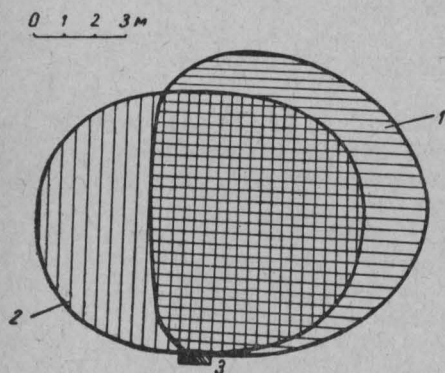


Рис. 17. Эпюры видимости извещателя АИП-1 со счетчиком фотонов типа СФК-1:

- 1 — при вертикальной установке извещателя;  
2 — при горизонтальной установке извещателя;  
3 — место установки извещателя

Замеренная площадь эпюр составляет примерно 70 м<sup>2</sup>. При увеличении интенсивности источника пламени площадь, контролируемая одним извещателем, может быть значительно увеличена. Расстояние, с которых извещатель надежно срабатывает от источника огня различной интенсивности, приведены в табл. 2.

Следует иметь в виду, что предельная дальность обнаружения огня возможна при прямой видимости. На работу извещателя не влияют незначительные запыления и задымления.

Несмотря на высокую чувствительность извещателя к пла-

мени, он не срабатывает от дневного света, проходящего через оконные стекла и от электрического освещения, так как ультрафиолетовые лучи с длиной волны 3000÷2000 Å поглощаются стеклами окон и ламп накаливания. Успешная и надежная работа извещателя во многом зависит от правильного его применения. Нормальная работа извещателя обеспечивается в помещениях с температурой воздуха от -10° до +40° без резких колебаний температур и с от-

Тип источника открытого пламени	Расстояние извещателя от источника пламени, м
Пламя стеариновой свечи . . . . .	10
Пламя спички при спокойном горении . . . . .	10
Пламя спиртовой горелки . . . . .	10
Пламя 4 свечей . . . . .	20
Пламя спички в момент зажигания . . . . .	25
Пламя факела бензина в чаше диаметром 100 мм . . . . .	более 50
Пламя пиротехнического состава весом 5 г . . . . .	до 100

носительной влажностью до 80%, в которых при обычных условиях отсутствуют источники открытого пламени или какие-либо другие источники ультрафиолетовых лучей. К таким помещениям относятся музеи, библиотеки, хранилища, склады и др. Как правило, извещатель устанавливается на потолке в середине охраняемого помещения с тем, чтобы он охватывал наибольшую площадь. Возможны и другие варианты установки: в углу или посередине стены, а также непосредственно на оборудовании, но при любом варианте установки извещатель должен обязательно «видеть» места наиболее вероятного загорания. Извещатель следует устанавливать так, чтобы на него не падали прямые солнечные лучи. При выборе мест установки извещателя и определении их количества необходимо руководствоваться принятыми нормами. Извещатель, установленный в соответствии с нормами, может обеспечить охрану помещения площадью 600 м<sup>2</sup> и более.

Срок службы извещателя АИП-1 определяется сроком годности его деталей и составляет примерно 10—12 лет. Продолжительность работы счетчика зависит от общего количества сосчитанных импульсов. В помещениях с нормальной освещенностью срок годности счетчика может быть вычислен по следующей формуле

$$P = \frac{N}{n \cdot 60 \cdot 24 \cdot 365} = \frac{1 \cdot 10^8}{2 \cdot 10^2 \cdot 60 \cdot 24 \cdot 365} \approx 1,$$

где  $P$  — продолжительность работы счетчика в годах;  
 $N$  — срок службы счетчика в сосчитанных импульсах;  
 $n$  — «фон» счетчика.



По истечении этого срока счетчик фотонов требуется перенаполнить новой смесью газов. В настоящее время ведется подготовка к промышленному выпуску счетчиков фотонов.

Эффективность работы автоматической пожарной сигнализации зависит, в первую очередь, от правильного выбора типа автоматического пожарного извещателя для данного объекта. Для успешного использования автоматических извещателей необходимо при проектировании установок автоматической пожарной сигнализации на объектах учитывать специфические условия технологического процесса (на заводе), ассортимент хранимых материалов (на складе) и т. д.

Сравнение эффективности работы извещателей производят по их основным параметрам. Сравнивая различные извещатели по чувствительности, можно видеть, что наибольшей чувствительностью обладают световые извещатели, так как они способны обнаруживать небольшие источники пламени еще задолго до того, как у места установки извещателя начнет изменяться температура или появится дым. Приведенные на рис. 18 кривые отражают зависимость концентрации дыма 1 и температуры 2 во времени.

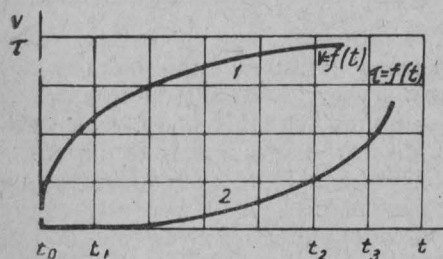


Рис. 18. Зависимость концентрации дыма (1) и температуры (2) от времени

пространяясь со скоростью 300 000 км/сек, практически мгновенно вызывает срабатывание извещателя.

Сравнивая извещатели по зонам действия, можно отметить, что тепловые извещатели большинства типов могут быть использованы для контролирования помещений из расчета 10—25 м<sup>2</sup> пола на один извещатель. Дымовой извещатель с ионизационной камерой способен, в зависимости от места установки, контролировать площадь 30÷100 м<sup>2</sup>. Световой извещатель, например типа АИП-1, при чувствительности, которая определяется срабатыванием от пламени, равному, примерно, пламени 4 стеариновых свечей, может контролировать площадь порядка 400÷600 м<sup>2</sup>.

Автоматические пожарные извещатели, помимо своего прямого назначения, могут быть использованы как датчики-побудители для пуска автоматических тушащих устройств и других целей.

Основные параметры счетчика фотонов типа СФК-1

П а р а м е т р ы	В е л и ч и н а	П р и м е ч а н и е
Спектральная чувствительность, А . . . . .	2000 + 3000	
Рабочее напряжение, в . . . .	1200	
Плато счетной характеристики, в . . . . .	200	Наклон не более 10% на 100 в
Чувствительность к пламени свечи на расстоянии 10 м, им- пульс/мин . . . . .	3000 + 6000	Измеряется на пересчетной установке типа ПС-64
Чувствительность к рассеян- но видимому свету, импульс/мин . . . . .	200	
Амплитуда импульсов, в . . . .	0,5	При рабочем напряжении 1200 в, нагрузочном сопро- тивлении 10 ом
Допустимый диапазон темпе- ратуры окружающей среды, °С . . . . .	- 10 ÷ + 40	При этом допускается умень- шение плато до 100 в, увели- чение наклона до 15% на 100 в в изменение напряже- ния начала плато на 30 в
Допустимая влажность возду- ха, % . . . . .	80	
Срок годности, импульсы . . .	1·10 <sup>8</sup>	
Угол обзора, градусы . . . . .	120	
Размеры:		
диаметр, мм . . . . .	30	
высота, мм . . . . .	180	

# ОГНЕГАСИТЕЛЬНЫЕ СОСТАВЫ НА ОСНОВЕ БРОМИСТОГО ЭТИЛА

Мантуров Н. И., Овсейчик Т. Г.

До настоящего времени в стационарных промышленных противопожарных установках, а также в ручных огнетушителях основным средством газового тушения служит углекислота. Однако углекислота имеет ряд недостатков, к числу которых относятся сравнительно невысокая огнегасительная эффективность, большая опасность отравления углекислотой в замкнутых объемах при содержании ее в концентрациях, близких к огнегасительной, ненадежность углекислотных установок в условиях низких температур и др.

За последние годы разработаны средства газового тушения, условно названные составами «3,5» и «4НД». Основными компонентами этих составов являются бромированные углеводороды. Рецептúra огнегасительных составов на основе бромистого этила приводится в табл. 1.

Таблица 1

Наименование состава	Содержание компонентов, весовые %	
	бромистый этил (C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> Br)	углекислота (CO <sub>2</sub> )
„3,5“ . . . . .	70	30
„4НД“ . . . . .	97	2,5—3

## Огнегасительные свойства состава «3,5»

Огнегасительные свойства газовых средств тушения оцениваются по величине огнегасительной концентрации, то есть по минимальному количеству паров или газов, способных при одинаковых лабораторных условиях тушить определенный вид пламени. Величину огнегасительной концентрации принято выражать в % по объему. В табл. 2 приведены огнегасительные концентрации и огнегасительная эффективность паров состава «3,5» и его компонентов — бромистого этила и углекислоты, определенные по методу исследования распространения пламени по поверхности этилового спирта.

Соотношение компонентов в весовых частях		Огнегасительная концентрация, % по объему	Огнегасительная эффективность по отношению к углекислоте
бромистый этил	углекислота		
0	100	22,4	1,0
70	30	6,7	3,34
100	0	5,4	4,15

Из таблицы видно, что паров состава «3,5» по объему требуется в 3,34 раза меньше, чем углекислоты. По весу, учитывая более высокий удельный вес состава «3,5» по сравнению с углекислотой, его требуется для тушения в 2,3 раза меньше углекислоты.

Исходя из этого, временная проектная норма расхода состава «3,5» принята в 0,258 кг на 1 м<sup>3</sup> помещения, т. е. в 2,3 раза меньше проектной нормы для углекислоты (0,594 кг на 1 м<sup>3</sup> помещения).

### Основные физико-химические свойства состава «3,5»

1. Состав «3,5» так же, как и углекислота в жидком состоянии, может находиться только под давлением в баллоне. Жидкая фаза состава «3,5» представляет собой прозрачную гомогенную смесь. Газообразная фаза состоит главным образом из углекислого газа. Соотношение между объемами жидкой и газообразной фаз изменяется с изменением температуры и давления в баллонах.

2. Добавка воздуха к составу «3,5» оказывает влияние только на увеличение давления в баллонах и в связи с этим — на уменьшение времени истечения состава из баллонов противопожарных установок. Воздух практически не растворяется в составе «3,5» и находится в баллоне над ним в виде газовой подпирающей подушки.

Изменение давления в баллонах с углекислотой и составом «3,5» в зависимости от температуры и коэффициента заполнения показано в табл. 3.

Для баллонов с углекислотой коэффициент заполнения обычно применяется  $K = 0,625$  кг на 1 л емкости, а максимально допустимым по соображениям техники безопасности считается  $K = 0,745$  кг/л. Для состава «3,5» применимы обычные 40—50-литровые баллоны из-под углекислоты. Коэффициент заполнения этих баллонов может быть принят  $K = 1,15$  кг/л (без добавки воздуха);  $K = 1,07$  кг/л (при добавке воздуха до 40 атм) и  $K = 0,74$  кг/л (при добавке воздуха до 60 атм).

Повышение давления до 60 атм рекомендуется для противопожарных систем (с сравнительно небольшими емкостями баллонов), предназначенных для работы при температурах до  $-60^\circ$  и

Таблица 3

Температура заряда в баллонах, °С	Давление в баллонах, кг/см <sup>2</sup>				
	Углекислота		С о с т а в „3,5“		
	при К=0,745 кг/л	при К=0,625 кг/л	при К=1,15 кг/л без добавки воздуха	при К=1,07 кг/л с до- бавкой воз- духа до 40 атм	при К=0,74 кг/л с до- бавкой воздуха до 60 атм
—60	—	—	7,5	38	58
—50	7	7	9,0	42	59
—40	10	10	12,5	46	60
—30	14,5	14,5	15	51	63
—20	20	20	17,5	54	65
0	35	35	25	63,5	73
+20	58	58	38	73	85
+30	90	75	41	81,5	94
+40	130	100	55	90	98
+50	175	130	81	99	108

с быстрой подачей огнегасительных веществ в охраняемый объем, при наличии значительных гидравлических сопротивлений.

3. Температура замерзания состава «3,5» лежит ниже  $-70^{\circ}$  (при более низких температурах работа не проводилась).

4. При движении по длинным трубопроводам и истечении через коллекторы-распылители и насадки, состав «3,5» также не замерзает при температурах до  $-70^{\circ}$ . Углекислота, даже обезвоженная, замерзает при движении в трубопроводах и коллекторах-распылителях при температуре  $-30^{\circ}$ .

5. Состав «3,5» выбрасывается из трубок и коллекторов-распылителей в виде тонко распыленной жидкости, быстро превращающейся в смесь паров бромистого этила и углекислоты. Из 1 кг состава «3,5» образуется (при  $0^{\circ}$  и 760 мм рт. ст.) 153 л (51,5% по объему) углекислого газа и 144 л (48,5% по объему) паров бромистого этила. На 1 кг жидкой углекислоты образуется 508 л углекислого газа.

6. Состав «3,5» в жидком виде быстро ликвидирует тление древесины, бумаги, волокнистых материалов. Пары состава «3,5» ликвидируют тление при значительном времени их воздействия (порядка минуты). Углекислота вследствие **отсутствия смачивающего эффекта** плохо тушит тлеющие очаги горения.



7. Пары состава «3,5» не воспламеняются от таких мощных источников, как, например, электрическая дуга. Отдельно (без углекислоты) пары бромистого этила способны образовывать вместе с воздухом (от 6,75 до 11,25% по объему) смеси, дающие местные воспламенения от мощных источников зажигания (электрическая дуга, добела накалившая нихромовая спираль). Однако, как показали опыты, смеси паров бромистого этила с воздухом, способные давать местные воспламенения, не могут воспламеняться от таких видов пламени, как открытое пламя бензина, спирта, целлулоида, киноленты и т. п.

8. По коррозионному действию состав «3,5» является малоактивным и дает коррозию на металлы примерно такую же, как и углекислота. Однако в некоторых случаях при повышенной температуре бромистый этил быстро и энергично дает коррозию на алюминий-магниевого сплавы. Поэтому не рекомендуется применять трубопроводы и сифонные трубки (в огнетушителях) из алюминия и магний-алюминиевых сплавов. Применение стали в этих случаях является надежным, т. к. коррозионное действие бромистого этила на сталь при любых температурах незначительно.

9. Состав «3,5» по токсичности относится к числу наркотических веществ; наркотическое действие проявляется при концентрациях паров бромистого этила выше 7% по объему. Огнегасительная концентрация состава, равная 6,5% и состоящая из 3,4% углекислого газа и 3,1% паров бромистого этила, более чем в 2 раза ниже наркотической дозы. В этом отношении углекислый газ более опасен, поскольку огнегасительная концентрация его, равная 22% по объему, является для человека смертельной (смерть наступает от паралича дыхания). Концентрации углекислого газа порядка 3—5% по объему при кратковременном воздействии для человека не опасны. Следует отметить, что углекислый газ не имеет запаха, вследствие чего опасность отравления им может быть не замечена человеком, в то время как присутствие паров состава «3,5» легко обнаруживается по запаху.

### Области применения состава «3,5»

Огнегасительный состав «3,5» может применяться для тушения пожаров:

1) легковоспламеняющихся и горючих жидкостей в помещениях и закрытых емкостях, а также разлившихся на открытых бетонированных площадках и грунте;

2) горящей и тлеющей древесины, угля и других твердых материалов;

3) электрического оборудования, находящегося под напряжением;

4) двигателей внутреннего сгорания и т. п.

Для тушения составом «3,5» рекомендуется использовать стационарные противопожарные установки с автоматическим и ручным

приводом. Проектирование установок должно производиться применительно к условиям охраняемых объектов.

Для ручных огнетушителей типа ОУБ-7 и ОУБ-3 применяется состав «4НД», состоящий из бромистого этила с добавкой около 3% уголекислоты для лучшего распыления. В огнетушителе с составом «4НД» нагнетается воздух до 8—9 атм, что обеспечивает выброс заряда при любых температурах от —60 до +60°. Промышленный выпуск огнетушителей начат Новоторжским заводом ППО.

### Указания по хранению и перевозке состава «3,5» и его компонентов

1) Для баллонов, заряженных составом «3,5», должны соблюдаться все правила хранения и транспортировки сосудов и баллонов с высоким давлением.

2) Уголекислота для состава «3,5» применяется техническая, необезвоженная, транспортируемая в 40-литровых баллонах.

3) Бромистый этил отпускается и перевозится с завода-изготовителя либо в железнодорожных цистернах, либо в бочках по 330 кг продукта, согласно ГОСТ 2658—44.

### Методические указания по зарядке баллонов составом «3,5»

Для зарядки составом «3,5» баллонов простейшим способом, без применения компрессора, целесообразно иметь следующее оборудование:

баллоны с исправными головками, снабженные манометром и предохранительной мембраной;

гибкий шланг высокого давления;

коллектор для одновременного соединения трубопроводов и шлангов с вентилем;

стальные или медные трубопроводы высокого давления;

толстостенные резиновые трубки;

вакуумный насос любого типа (ручной или с приводом);

мерник для отмеривания порции бромистого этила (стеклянный или металлический с мерной трубкой);

весы технические на 20—50 кг;

гаечные ключи и текстолитовые прокладки для соединения трубопроводов через накидные гайки.

Зарядка баллонов составом «3,5» проводится в три операции: заполнение баллонов порцией бромистого этила, заполнение уголекислотой и добавка воздуха, повышающего давление в баллонах. В случае применения компрессора, облегчающего зарядку уголекислотой, последний присоединяется в установку между уголекислотным баллоном и коллектором.

Заполнение баллона бромистым этилом. В стеклянном или металлическом мернике отмеривается порция бромистого этила. При этом может приниматься во внимание изменение

удельного веса технического бромистого этила с температурой по следующим средним данным: при  $-10^{\circ}$  — 1,52;  $0^{\circ}$  — 1,495;  $20^{\circ}$  — 1,455 г/см<sup>3</sup>.

С помощью вакуумного насоса производится разрежение в баллоне при открытых вентилях на коллекторе, кране вакуум-насоса и вентиле баллона. После этого закрывается кран вакуум-насоса и открывается кран мерника, при этом бромистый этил из мерника поступает в баллон.

Баллон устанавливается на весах с таким расчетом, чтобы присоединенный к нему гибкий шланг высокого давления длиной около 1,5 м не мешал взвешиванию. Не отнимая гибкого шланга, баллон взвешивают с порцией бромистого этила.

Заполнение баллона углекислотой. С целью наиболее полного использования углекислота подается сначала из углекислотного транспортного баллона с небольшим остатком углекислоты, а затем дополняется от баллона с большим количеством углекислоты. Таким путем можно без применения компрессора использовать почти всю углекислоту из транспортных баллонов. После окончания зарядки (что определяется по весу) быстро закрывают сначала вентиль заряжаемого баллона, а затем углекислотного баллона.

Добавка к составу «3,5» воздуха. При всех закрытых вентилях немного открывается вентиль баллона с сжатым воздухом. После этого открывается вентиль заряжаемого баллона, и воздух поступает через сифонную трубку и слой состава «3,5» в пространство над составом «3,5». Ввиду того, что воздух при этом выдувает часть растворившейся углекислоты из бромистого этила, воздух дается на 10—15 атм выше нормы давления при данной температуре. Затем закрываются вентили, и баллон осторожно встряхивают в вертикальном положении, при этом давление в баллоне сразу падает на 10—15 атм, т. к. выделившаяся при барботаже воздуха углекислота опять растворяется в бромистом этиле. При недостатке давления до нормы при данной температуре дается таким же путем добавочная порция воздуха. После зарядки баллон отсоединяется от шланга и взвешивается. Заряженный баллон пломбируется, и на него составляется технический паспорт. В паспорт записываются следующие данные: вес состава «3,5», общий вес заряда с воздухом, общее давление в баллоне (в пересчете на температуру  $+20^{\circ}$ ).

### Правила по технике безопасности при проведении зарядки баллонов огнегасительным составом «3,5»

При проведении зарядки составом «3,5» необходимо соблюдать следующие меры предосторожности.

1) Операция заливки баллонов бромистым этилом должна быть механизирована с обеспечением надежной герметизации трубопро-

водов для переливки бромистого этила из бочек (или резервуаров для хранения) в мерники и баллоны.

2) Ручная заливка и переливка бромистого этила допускается в исключительных случаях — на открытом воздухе, в удаленных от жилых помещений местах и при соблюдении мер предосторожности, исключающих попадание бромистого этила на одежду рабочих. Заливку следует проводить в спецодежде и фильтрующем противогазе. Желательно иметь при станции изолирующий противогаз, т. к. в случае аварии баллонов с углекислотой фильтрующий противогаз будет непригоден.

3) Помещение для зарядки составом «3,5» должно быть обеспечено принудительной приточно-вытяжной вентиляцией. Пол под аппаратурой для зарядки должен быть цементным, бетонным или выложенным метлахской плиткой. Стены помещения должны быть окрашены масляной краской или иметь водонепроницаемые панели. В помещении не должно быть запаха бромистого этила, который ощущается обонянием примерно в концентрациях ниже 0,0001% по объему. Следовательно, отсутствие запаха будет практически свидетельствовать об отсутствии в воздухе паров бромистого этила.

4) Ввиду того, что продукты термического распада бромистого этила являются более ядовитыми, чем пары чистого бромистого этила, в помещении для зарядки не разрешается курить, применять открытое пламя или раскаленные электронагревательные приборы.

Зарядная станция должна иметь центральное или печное отопление (железные печи не разрешаются).

5) Операции по зарядке баллонов углекислотой должны производиться в герметичной аппаратуре, выдерживающей высокое давление, согласно правилам работ с газами под давлением.

Обращаться с баллонами, наполненными жидкой углекислотой и сжатым воздухом следует, строго соблюдая правила по эксплуатации баллонов с газами под давлением (см. «Правила устройства, содержания и освидетельствования баллонов для сжатых сжиженных и растворенных газов», утвержденные Министерством электростанций 3 октября 1949 г.).

6) В огнетушителях, заряженных составом «3,5», так же, как и в огнетушителях с углекислотой, при внезапном раскрытии затвора, вследствие высокого давления, возникает большая реактивная сила, что может привести к несчастным случаям, т. к. человеческого усилия недостаточно, чтобы удержать в руках разряжающийся огнетушитель. Поэтому категорически запрещается производить зарядку без надежного зажима огнетушителя, а также хранить заряженные огнетушители без предохранительных устройств.

7) В аварийных случаях — при нарушении герметичности аппаратуры, а также при случайных выбросах зарядов в помещение — работа может возобновляться в нем только после тщательной вентиляции до полного исчезновения запаха бромистого этила. В случаях выброса больших количеств углекислоты помещение также

должно быть тщательно проветрено. При зарядной станции следует иметь умывальник.

8) Все лица, работающие по зарядке составом «3,5», должны быть предварительно проинструктированы об опасных моментах работы и о мерах предосторожности, а также обучены пользованию противогазами.

## **ТУШЕНИЕ ПОЖАРОВ ГОРЮЧИХ ЖИДКОСТЕЙ В РЕЗЕРВУАРАХ МЕТОДОМ ПЕРЕМЕШИВАНИЯ**

*Петров И. И., Реутт В. Ч.*

Многие предприятия химической промышленности производят или потребляют различного рода горючие жидкости, хранение которых на территории предприятия связано со значительной пожарной опасностью. Обычно условия хранения таковы, что требуют сооружения в резервуарном парке специальных противопожарных устройств, предназначенных для быстрого тушения возможного пожара. Широко распространенные в настоящее время установки пенного и углекислотного тушения имеют ряд недостатков, связанных со сложностью системы тушения, хранением средств тушения (пенопорошок, пенообразователь, углекислота в баллонах), и во многих случаях малоэффективны.

За последние годы разработан метод тушения пожаров горючих жидкостей в резервуарах перемешиванием воздухом или струями той же жидкости.

Сущность тушения пожаров методом перемешивания заключается в том, что поверхностный, прогретый слой горячей жидкости охлаждается при смешении с нижними холодными до температуры ниже температуры вспышки ее паров. При этом концентрация паров горячей жидкости над ее поверхностью резко уменьшается и становится недостаточной для поддержания горения.

Установки для тушения перемешиванием просты в конструктивном отношении и не требуют больших материальных затрат. Метод перемешивания в настоящее время применяется для охраны некоторых объектов железнодорожного транспорта и машиностроительной промышленности.

### **Область применения метода перемешивания**

Область применения метода тушения перемешиванием определяется

а) температурой вспышки жидкости, которая должна быть не 5° выше среднегодовой температуры воздуха в данной местности;



перечень жидкостей, к которым применим метод перемешивания, дан в табл. 1 (см. приложение 1);

б) вязкостью жидкости, которая в случае перемешивания струями должна быть не более  $10^{\circ}\text{Э}$  при  $20^{\circ}$ , и в случае перемешивания воздухом — не более  $100^{\circ}\text{Э}$  при  $20^{\circ}$ ;

в) уровнем жидкости в резервуаре, который должен быть выше предельного уровня для данной системы вводов (см. таблицы 2 и 3 приложения 1).

Вопрос об оборудовании объекта системой тушения перемешиванием должен решаться на основе технико-экономических соображений, вытекающих из конкретных местных условий хранения горючих жидкостей.

Наиболее целесообразно применять метод перемешивания

1) на объектах, находящихся в отдаленных местностях, а также в маловодных и безводных районах;

2) на объектах, предназначенных для длительного хранения жидкостей (резерв) или имеющих малый суточный оборот.

3) на промышленных предприятиях, в том числе для отдельных пожароопасных технологических операций (например, для закалочных ванн, петролатумных ванн и т. п.).

Перемешивание с помощью воздуха лучше всего использовать в том случае, если на объекте или вблизи его имеется источник сжатого воздуха, предназначенный для технологических целей. Если нет источника сжатого воздуха на объекте, то для перемешивания воздухом необходим специальный компрессор, что значительно удорожает эту систему.

Для тушения пожаров методом перемешивания могут быть оборудованы все наземные резервуары (кроме цилиндрических лежаков) независимо от их размеров, конструктивных особенностей, а также материалов, из которых они изготовлены.

Подземные хранилища, имеющие большой периметр и сравнительно малую высоту, а также большое количество колонн внутри емкости, оборудовать системой перемешивания не рекомендуется.

## **Основные технические требования к системам перемешивания**

### **1. Перемешивание струями жидкости**

Метод тушения перемешиванием струей той же жидкости заключается в том, что при тушении пожара жидкость берут из нижних слоев горящего резервуара и нагнетают насосом через систему вводов с насадками, расположенными на днище.

На рис. 1 показана технологическая схема нефтебазы, которая оборудована системой тушения перемешиванием с помощью струй нефтепродукта. Во время пожара нефтепродукт откачивается по трубопроводу *A* и нагнетается по трубопроводу *B* через систему вводов с насадками *C*.

Метод перемешивания с помощью струй рассчитан на использование существующих продуктовых насосов и системы трубопроводов, предназначенных для технологических операций по приему и отпуску горючего. Следовательно, для оборудования резервуаров системой тушения перемешиванием с помощью струй не требуется прокладывать специальные трубопроводы по всей территории резервуарного парка. Необходимо лишь оборудовать резервуар системой вводов с насадками, которые могут быть подключены непосредственно перед задвижкой на нагнетательном трубопроводе В.

Рекомендуемые системы вводов показаны на рис. 2. Выбор того или иного варианта схемы вводов зависит от диаметра резервуара, мощности используемого насоса, схемы трубопровода и определяется расчетом при проектировании системы тушения (см. приложение 2).

Схема разводки труб вводов внутри резервуара показана на рис. 3.

Значения минимального уровня для стандартных резервуаров при различных вариантах схемы вводов даны в табл. 2\* (см. приложение 1).

Тушение пожара в резервуаре методом перемешивания возможно и без охлаждения его борта водой. Однако при охлаждении время тушения значительно сокращается. Поэтому на объектах, оборудованных системой тушения перемешиванием, необходимо предусматривать запас воды на охлаждение горящего резервуара. Нормы расхода воды могут быть определены из табл. 4 (см. приложение 1).

Система тушения перемешиванием с помощью струй должна удовлетворять следующим основным техническим требованиям.

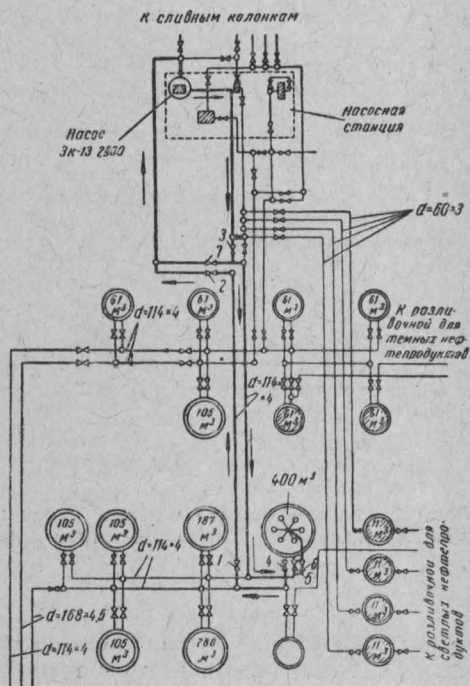


Рис. 1. Технологическая схема нефтебазы и принципиальная схема системы перемешивания с помощью струй того же нефтепродукта

\* Минимальные уровни взяты от днища резервуара с учетом вероятной высоты вводов.

1) Насос или группа насосов, предназначенных для перемешивания, должны обеспечивать расход жидкости через систему перемешивания не ниже минимального расхода, который определяется расчетом при проектировании системы тушения перемешиванием (см. приложение 2).

2) Внутренний диаметр насадков, устанавливаемых на концах ввода (см. рис. 2 и 3) определяется расчетом при проектировании системы тушения перемешиванием (см. приложение 2).

3) Диаметр окружности, по которой располагаются насадки (см. рис. 2), должен быть равен для 3 и 4 вводов  $0,5$  диаметра резервуара, для 6 вводов —  $0,58$  его диаметра.

4) Высота расположения насадков над дном резервуара должна быть как можно меньшей, но выше предполагаемого уровня подтоварной воды и отстоя в резервуаре.

5) Систему тушения необходимо снабдить прибором, позволяющим во время тушения пожара контролировать расход жидкости через систему (манометр или расходомер). Место установки контрольного прибора определяется при проектировании системы.

6) Диаметры труб вводов определяются из условия минимальных гидравлических потерь в системе разводки вводов.

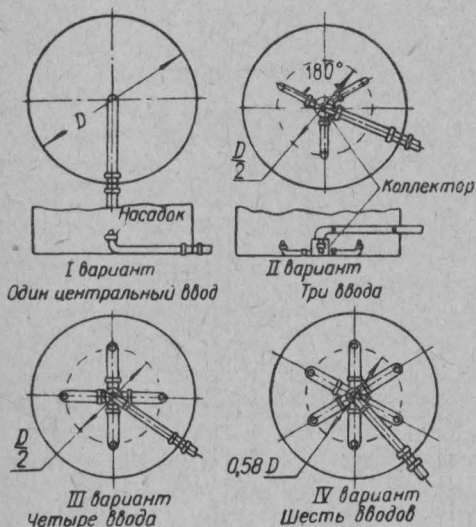


Рис. 2. Рекомендуемые системы вводов для перемешивания с помощью струй нефтепродукта

## 2. Перемешивание с помощью воздуха

Метод тушения перемешиванием с помощью воздуха заключается в том, что под слой горячей жидкости подается сжатый воздух, который, поднимаясь вверх, увлекает холодные слои жидкости и перемешивает их с вышележащими прогретыми слоями.

Принципиальная схема тушения перемешиванием воздухом показана на рис. 4. Воздух от компрессора А подается по воздухопроводу В в горящий резервуар. Источником воздуха, кроме компрессора, могут служить также баллонные установки. Вместо воздуха может быть использован любой инертный газ: азот, углекислота и т. д.

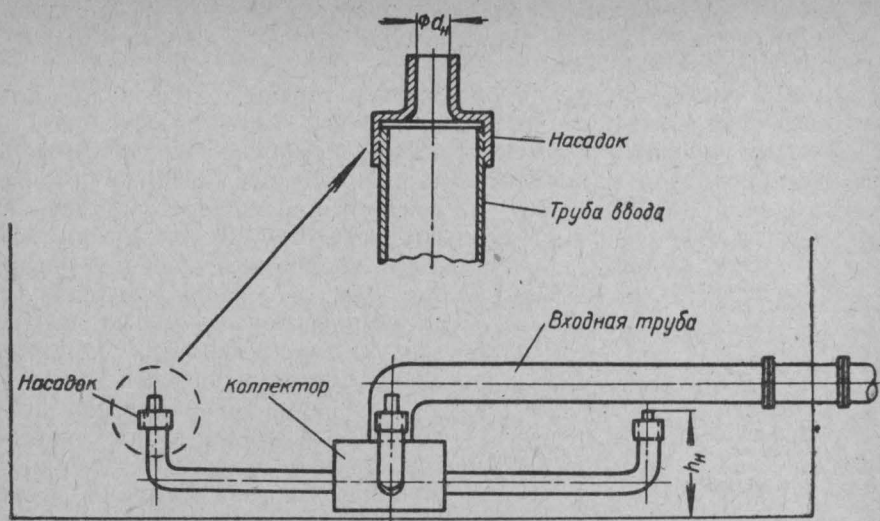


Рис. 3. Разводка трубопроводов внутри резервуара

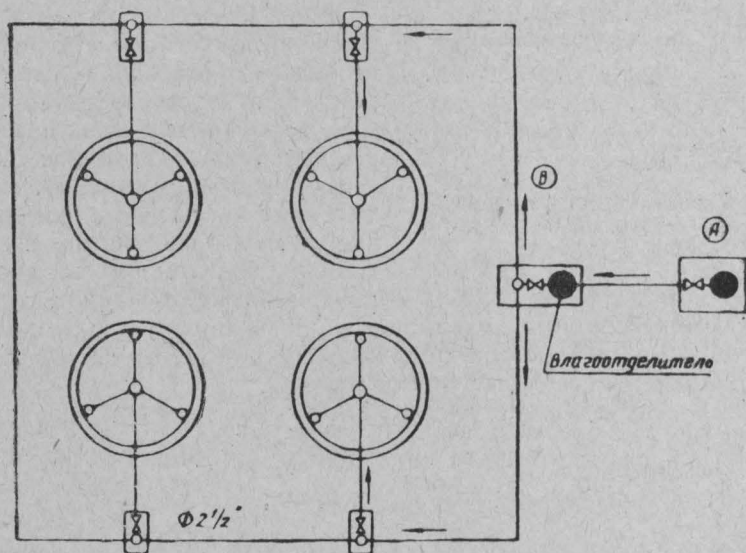


Рис. 4. Принципиальная схема системы перемешивания нефтепродукта с помощью воздуха

Эффект тушения зависит от числа и расположения вводов воздуха по дну резервуара. Рекомендуемые системы вводов показаны на рис. 5.

Значения минимальных уровней для стандартных резервуаров при различных вариантах схемы вводов воздуха даны в табл. 3\* (см. приложение 1).

Нормы расхода воды на охлаждение горящего резервуара могут быть определены, исходя из данных табл. 4 (см. приложение 1).

Система тушения перемешиванием с помощью воздуха может быть стационарной и полустационарной. Первая включает в себя компрессор (или другой источник воздуха), систему воздухопроводов и вводов воздуха в резервуар (см. рис. 4). Полустационарная система включает только вводы воздуха в резервуар, которые оканчиваются штуцерами или соединительными головками для подсоединения к ним гибких шлангов или пожарных прорезиненных рукавов. Сжатый воздух в этом случае подается от передвижной компрессорной установки, баллонов и т. п., через гибкие шланги или прорезиненные рукава.

Ввод воздуха представляет собой Г-образную трубку диаметром не более 75 мм, один конец которой соединяется с воздухопроводом, другой конец входит внутрь резервуара и направлен вертикально вверх (см. рис. 5).

Система тушения перемешиванием с помощью сжатого воздуха должна удовлетворять следующим техническим требованиям.

1) Компрессор или другой источник воздуха (газа) должен обеспечивать интенсивность подачи воздуха не менее 0,5 л/сек и не более 1 л/сек на 1 м<sup>2</sup> поверхности горения.

Общий расход воздуха, необходимого для тушения, определяется по формуле

$$Q = \frac{\pi D^2}{4} \cdot q \text{ л/сек}, \quad (1)$$

где  $D$  — диаметр резервуара;  
 $q$  — интенсивность подачи воздуха.

Интенсивность подачи воздуха зависит от вязкости жидкости (см. табл. 4). В табл. 4 даны значения общего расхода воздуха для

\* Минимальные уровни взяты от днища резервуара с учетом вероятной высоты вводов.



стандартных резервуаров. Для нестандартных резервуаров расход воздуха рассчитывается по формуле (1), интенсивность подачи воздуха при этом определяется из табл. 4 в зависимости от вязкости нефтепродукта.

2) Компрессор или другой источник воздуха (газа) должен обеспечивать давление у ввода воздуха в резервуар порядка 0,5÷1,5 *ати*. Значения необходимых давлений воздуха для стандартных резервуаров указаны в табл. 4.

3) Концы боковых вводов воздуха (газа) внутри резервуара следует располагать от борта на расстоянии не более 0,5 м.

4) Высота вводов над дном резервуара должна быть минимальной, но не менее предполагаемого уровня подтоварной воды и отстоя.

5) Систему тушения необходимо снабдить прибором, позволяющим во время тушения пожара контролировать расход воздуха (манометр или расходомер).

Если манометр установлен вдали от резервуара, то следует учитывать потерю давления в подводящих воздухопроводах. Место установки контрольного прибора определяется при проектировании системы тушения.

6) Диаметры труб воздухопроводов определяются из условия минимальных гидравлических потерь. Рекомендуемые диаметры воздухопроводов даны в табл. 4.

7) Воздухопроводы системы тушения должны иметь обратные клапаны или другие устройства, предохраняющие компрессорные или баллонные установки от затопления горючей жидкостью.

8) При проектировании системы необходимо предусмотреть меры по предупреждению замораживания труб, образования ледяных пробок, коррозии и т. п.

### **Тушение пожаров жидкостей перемешиванием**

Успех тушения пожара жидкостей этим методом зависит от технического состояния системы перемешивания и от предварительных организационных мероприятий, которые разрабатываются и осуществляются последовательно при проектировании системы тушения для данного объекта, при эксплуатации объекта и, наконец, при тушении пожара.

При проектировании системы тушения необходимо:

1) составить подробную схему трубопроводов (воздухопроводов), которые будут использованы при тушении пожара;

2) указать место установки контрольных приборов (манометров, расходомеров);

3) рассчитать численные значения напоров (расходов), которые должны быть установлены на контрольных приборах во время тушения пожара (см. приложение 2).

При эксплуатации объекта лицу, ответственному за пожарную безопасность объекта, на основе вышеуказанной технической документации необходимо составить подробный перечень мероприятий\* по тушению пожара на данном объекте, который должен содержать

- способ оповещения о пожаре;

- указания о разведке возникшего пожара;

- указание, какие задвижки, вентили должны быть открыты (закрыты) и в какой последовательности;

- указание, какие насосы должны быть запущены и в каком порядке;

- указание, кто производит запуск системы перемешивания в действие;

- указание, кто и каким образом организует охлаждение резервуара;

- указание, кто и каким образом организует слив подтоварной воды.

Следует назначить из состава персонала, обслуживающего объект, ответственного за сохранность и постоянную готовность системы перемешивания, а также выделить сменных лиц, обязанных запускать систему перемешивания в случае возникновения пожара. Необходимо организовать систематическое обучение и тренировки личного состава, обслуживающего объект, по запуску в действие системы перемешивания, а также проверку правильности его работы и т. п. Регулярно, не реже одного раза в месяц, проводить профилактический осмотр и ремонт системы тушения, немедленно устраняя замеченные неисправности, и не реже одного раза в шесть месяцев производить пробный запуск системы перемешивания с целью промывки (продувки) труб.

При тушении пожара необходимо осуществить запуск системы перемешивания в кратчайший срок. Одновременно с этим организовать охлаждение резервуара, в котором произошло загорание, и соседних резервуаров, если для этого на объекте имеется в момент возникновения пожара достаточное количество сил и средств. В противном случае в первую очередь производится пуск системы перемешивания, а охлаждение резервуаров организуется по мере прибытия на объект пожарных подразделений. В благоприятных условиях (высокий уровень горячей жидкости, отсутствие обрушившихся конструкций и т. д.) тушение может быть достигнуто и без охлаждения стенок резервуара.

С момента включения системы перемешивания необходимо сле-

---

\* Примерный перечень мероприятий по обеспечению тушения пожаров жидкостей перемешиванием приводится в приложении 3.

дить за ее работой и поддерживать давление (расход) в пределах, указанных в технической документации.

Нормальное тушение пожара должно происходить за 10—15 мин. с момента включения системы (15—20 мин. без охлаждения резервуара); если за это время пожар не потушен или же не произошло заметное уменьшение интенсивности горения, то необходимо проверить состояние системы.

Пожар может быть не потушен, если

- 1) система перемешивания включена неправильно;
- 2) давление (расход) на контрольном приборе не соответствует значению, указанному в технической документации;
- 3) все вводы в резервуар или большая часть их завалена обрушившейся кровлей резервуара;
- 4) уровень жидкости в резервуаре меньше указанного в таблицах 2 и 3.

При обнаружении недостатков, указанных в пунктах 1, 2, их необходимо немедленно устранить, после чего вновь пустить систему.

При условиях, упомянутых в пунктах 3, 4, вместо полного тушения происходит значительное снижение интенсивности горения, поэтому необходимо дотушить очаги горения, оставшиеся у борта и на выступающих разогретых частях обрушившейся кровли, с помощью пены из воздушно-пенного ствола ВПС-2,5 или распыленной водой из ручного ствола.

После полного прекращения горения следует выключить систему перемешивания; орошение разогретых частей резервуара водой производить до их полного охлаждения.

## Приложение 1

Таблица 1

Перечень жидких горючих веществ, для которых наиболее применим метод тушения перемешиванием

Наименование горючей жидкости	№№ ГОСТ или ТУ	Удельный вес при 20°C	Температура вспышки по ГОСТ 1421—53°C
Газойль легкий (каталитический) . . . . .	—	0,8907	112
Газойль полимерный (каталитический) . . . . .	—	0,9471	26
Газойль тяжелый (пылевидный катализатор) . . . . .	—	0,8938	28
Газойль тяжелый (шариковый катализатор) . . . . .	—	0,9591	56
Керосин осветительный . . . . .	—	0,8340	58

Наименование горючей жидкости	№№ ГОСТ или ТУ	Удель- ный вес при 20°C	Темпера- тура вспышки по ГОСТ 1421—53, °C
Керосин сульфированный . . .	ВТУ 467—53	—	51
Керосин тракторный . . .	ГОСТ 1842—52	0,8190	28
Керосин уфимский . . . . .	—	0,7750	30
Мазут, топливо нефтяное «40»	ГОСТ 1501—52	0,9488	140
Мазут, топливо нефтяное «80»	ГОСТ 1501—52	0,9572	145
Мазут флотский «12» . . .	ГОСТ 1626—44	0,9295	158
Мазут флотский «20» . . .	ГОСТ 1626—44	0,9350	128
Нафта (лигроин каталитиче- ский) . . . . .	—	0,8613	41
Нефть сырая Балаханская тя- желая . . . . .	—	0,9170	23
Нефть сырая Биби-Эйбатская тяжелая . . . . .	—	0,8859	27
Нефть сырая Бинагодинская	—	0,9064	18
Нефть сырая (Кара-Чухурская нижнего отдела) . . . . .	—	0,8742	34
Нефть сырая Сураханская (масляная) . . . . .	—	0,8880	22
Нефть сырая Сураханская (обыкновенная) . . . . .	—	0,8648	13
Нефть сырая Щубанинская	—	0,9161	26
Топливо для быстроходных дизелей, зимнее ДЗ . . . .	ГОСТ 4749—49	0,8310	78
Топливо дизельное ДА (аркти- ческое) . . . . .	ГОСТ 4749—49	0,8471	64
Топливо для быстроходных ди- зелей специальное ДС . . .	ГОСТ 4749—49	0,8440	92
Топливо для тихоходных дизе- лей ДТ-1 (Мз) . . . . .	ГОСТ 1667—51	0,9168	110
Топливо дизельное ДТ-2 . . .	ГОСТ 1667—51	0,9212	110

Наименование горючей жидкости	№№ ГОСТ или ТУ	Удель- ный вес при 20°C	Темпера- тура вспышки по ГОСТ 1421—53, °C
Топливо дизельное автотрак- торное Л . . . . .	ГОСТ 305—42	0,8670	71
Топливо Т-1 (сернистых неф- тей) . . . . .	ВТУ 335—40 ГОСТ 4138—49	0,7780	29
Топливо Т-1 (бакинских неф- тей) . . . . .	ГОСТ 4138—49	0,8130	28
Топливо Т-1 (выщелоченное) .	ГОСТ 4138—49	0,8240	31
Масло касторовое, техническое	—	0,9620	220
Масло конопляное . . . . .	ОСТ НКПП — 361	—	229
Масло кунжутное, сырье II сорта . . . . .	ОСТ НКПП 8502/233	0,9160	236
Масло оливковое рафинирован- ное . . . . .	—	0,9080	244
Масло подсолнечное II сорт	ГОСТ 11—29—41	0,9130	229
Масло подсолнечное рафини- рованное II сорт . . . . .	ГОСТ 11—29—41	0,9140	227 выше
Масло соевое . . . . .	—	0,9600	140
Масло тунговое (техническое)	ВТУ НКПП—259	0,9320	247 выше
Масло таловое . . . . .	ВТУ 10—50	—	95
Масло хлопковое сырое I сорт	ГОСТ 1128—41	0,919	240
Масло хлопковое рафинирован- ное II сорт . . . . .	ГОСТ 1128—41	0,911	233
Масло авиационное МК-22 . .	ГОСТ 1013—49	0,901	259
Масло автотракторное АК-10 (автол 10) . . . . .	ГОСТ 1862—51	0,930	167
Масло автотракторное АК-15	ГОСТ 1862—51	0,930	217
Масло вазелиновое медицин- ское . . . . .	ГОСТ 3164—52	0,875	187
Масло ВМ-4 . . . . .	ТУ 1811—49	0,908	212
Масло ГМЦ-2 . . . . .	—	0,835	83



Наименование горючей жидкости	№№ ГОСТ или ТУ	Удель- ный вес при 20°C	Темпера- тура вспышки по ГОСТ 1421—53, °C
Масло зеленое . . . . .	ГОСТ 2985—51	0,965	65
Масло индустриальное «12» (веретенное «2») . . . . .	ГОСТ 1707—51	0,897	164
Масло индустриальное «20» (веретенное «3») . . . . .	ГОСТ 1707—51	0,9147	158
Масло индустриальное «45» (машинное С) . . . . .	ГОСТ 1707—51	0,9171	181
Масло индустриальное «50» (машинное СУ) . . . . .	ГОСТ 1707—51	0,903	200
Масло Л для высокоскоростных механизмов («Велосит») . . . . .	ГОСТ 1840—51	0,882	120
Масло приборное (вазелиновое МВП) . . . . .	ГОСТ 1805—51	0,869	127
Масло солярное . . . . .	ГОСТ 1666—51	0,892	142
Масло трансформаторное . . . . .	ГОСТ 982—53	0,877	147
Масло турбинное «57» (тур- бинное Л) . . . . .	ГОСТ 32—52	0,900	184
Масло турбинное «57» (турбо- редукторное) . . . . .	ГОСТ 32—53	0,900	193
Масло цилиндрическое легкое «II» (цилиндрическое «2») . . . . .	ГОСТ 1841—51	0,9274	197
Масло цилиндрическое тяжелое «52» («Варор») . . . . .	ГОСТ 6411—52	0,903	310
Нитроксилит технический . . . . .	—	1,127	106
Нитропропан технический . . . . .	—	1,020	31
Полидиены . . . . .	ТУ 1265—53	0,948	147
Полихлориды . . . . .	—	1,250	23
Препарат АСД (ф-3) . . . . .	—	—	29
Пресс-дистиллат . . . . .	—	0,797	30
Смазка 58-М (предохранитель- ная СП-1) . . . . .	ГОСТ 4807—49	0,90	51

Наименование горючей жидкости	№№ ГОСТ или ТУ	Удель- ный вес при 20°C	Темпера- тура вспышки по ГОСТ 1421—53, °C
Смазка 59-Ц (предохранитель- ная СП-3) . . . . .	ГОСТ 5702—51	0,89	146
Смазка универсальная туго- плавкая УТ-1 . . . . .	ГОСТ 1957—52	—	150
Смола пиролиза резины . . . . .	—	0,932	48
Смола сланцевая (масло, слан- цевое, мягчитель) . . . . .	ВТУ МНП 364—51	—	143
Скипидар (масло терпентино- вое) . . . . .	ГОСТ 1571—42	0,863	34
Сольвент каменноугольный II сорта . . . . .	—	0,886	36
Сольвент-нафта . . . . .	—	0,880	34
Спирт этиловый, ректификат с завода СК (94°) . . . . .	ВТУ 2460—54	0,814	16
Спирт этиловый (20%) + вода (80%) . . . . .	—	0,975	39
Уайт-спирт (бензин-раствори- тель для лакокрасочной про- мышленности) . . . . .	ГОСТ 3134—52	0,776	35
Ускоритель вулканизации «Сульфенамид БТ» . . . . .	—	1,126	66
Фурфурол 85% . . . . .	—	—	66
Хлорпарафин . . . . .	ТУ МХП 2056—49	—	выше 210
Эмаль А-10-Ф . . . . .	ГОСТ 2556—51	0,868	36
Эмаль лак К-1 . . . . .	—	—	52

Примечание: Данные о температуре вспышки и удельному весу взяты из справочника М. Г. Годжелло, П. Г. Демидова, Е. М. Джалалова, З. В. Коршак, И. В. Рябова, «Легковоспламеняющиеся и горючие жидкости». Возможность применения метода перемешивания к жидкостям, не вошедшим в таблицу, определяется применительно к местным условиям с учетом технико-экономических соображений.

Таблица 2

Значения минимального уровня жидкости в резервуаре, ниже которого тушение не обеспечивается, при различных вариантах схемы вводов для перемешивания струями

Диаметр резервуара, м	Объем резервуара, м <sup>3</sup>	Высота резервуара, м	Минимальный уровень жидкости, м			
			вариант I—центральный ввод	вариант II—3 ввода	вариант III—4 ввода	вариант IV—6 вводов
5,68	100	4,14	1,60	1,10	1,00	—
7,11	200	5,51	2,00	1,30	1,20	—
8,53	300	5,51	2,20	1,50	1,40	1,00
8,53	400	6,87	2,20	1,50	1,40	1,00
11,38	700	6,87	—	—	1,70	1,20
11,38	1000	9,70	—	—	1,70	1,20
15,22	2000	11,26	—	—	—	1,40
19,00	3200	11,26	—	—	—	1,60
22,84	4600	11,44	—	—	—	1,80

Таблица 3

Значения минимального уровня жидкости в резервуаре, ниже которого тушение не обеспечивается, при различных вариантах схемы вводов для перемешивания воздухом

Емкость резервуара, м <sup>3</sup>	Диаметр резервуара, м	Площадь зеркала горючего, м <sup>2</sup>	Высота резервуара, м	Минимальный уровень жидкости, м				
				вариант I—центральный ввод	вариант II—1 боковой ввод	вариант III—2 боковых ввода	вариант IV—3 боковых ввода	вариант V—4 боковых ввода
100	5,68	26	4,14	1,80	3,20	2,00	—	—
200	7,11	40	5,51	2,40	3,80	2,30	2,10	—
300	8,53	58	5,51	2,90	4,50	2,50	2,40	—
400	8,53	58	6,87	2,90	5,20	2,50	2,40	—
700	11,38	102	6,87	4,40	—	3,00	2,80	2,70
1000	11,38	102	9,70	4,40	—	3,00	2,80	2,70

Емкость резервуара, м <sup>3</sup>	Диаметр резервуара, м	Площадь зеркала горячего, м <sup>2</sup>	Высота резервуара, м	Минимальный уровень жидкости, м				
				вариант I — центральный ввод	вариант II — 1 боковой ввод	вариант III — 2 боковых ввода	вариант IV — 3 боковых ввода	вариант V — 4 боковых ввода
2000	15,22	182	11,26	—	—	3,60	3,30	3,10
3200	19,00	283	11,26	—	—	—	3,80	3,50
4600	22,84	410	11,44	—	—	—	4,50	4,00

Примечание к таблицам 2 и 3. Для нестандартных резервуаров следует производить расчеты или пользоваться данными таблицы для ближайшего диаметра большего размера.

Таблица 4

Значения расходов и напоров воздуха для перемешивания в зависимости от вязкости жидкости и размера резервуара, а также расход воды на охлаждение горящего резервуара

Вязкость нефтепродуктов в °Э при 20°	Интенсивность подачи воздуха, $\frac{л}{м^2 \cdot сек}$	Емкость резервуара, м <sup>3</sup>	Площадь зеркала горячего, м <sup>2</sup>	Высота резервуара, м	Расход воздуха в л/сек при 760 мм рт. ст. при 20° С	Давление воздуха у ввода, атм	Расход воды на охлаждение горящего резервуара, л/сек	Рекомендуемый диаметр воздухопровода от компрессора до вводов, мм
до 3	0,5	100	26	4,14	13	0,50	9	19
		200	40	5,51	20	0,55	11	25
		300	58	5,51	29	0,55	14	25
		400	58	6,87	29	0,70	14	25
		700	102	6,87	51	0,70	18	38
		1000	102	9,70	51	1,00	18	38
		2000	182	11,26	91	1,15	24	38
		3200	283	11,26	142	1,15	30	50
		4600	410	11,44	205	1,15	36	65

Вязкость нефтепродуктов в °Э при 20°	Интенсивность подачи воз- духа, $\frac{\text{л}}{\text{м}^2 \cdot \text{сек}}$	Емкость резервуара, м <sup>3</sup>	Площадь зеркала горя- чего, м <sup>2</sup>	Высота резервуара, м	Расход воздуха в л/сек при 760 мм рт. ст. при 20°С	Давление воздуха у ввода, атм	Расход воды на охлаждение горящего резервуара, л/сек	Рекомендуемый диаметр воздухопровода от компрес- сора до вводов, мм
3—12	0,6	100	26	4,14	16	0,45	9	25
		200	40	5,51	24	0,60	11	25
		300	58	5,51	35	0,60	14	25
		400	58	6,87	35	0,75	14	25
		700	102	6,87	62	0,75	16	38
		1000	102	9,70	62	1,05	18	38
		2000	182	11,26	110	1,20	14	50
		3200	283	11,26	170	1,20	30	65
		4600	410	11,44	246	1,20	36	76
12—25*	0,7	100	26	4,15	18	0,50	9	25
		200	40	5,51	28	0,65	11	25
		300	58	5,51	41	0,65	14	38
		400	58	6,87	41	0,80	14	38
		700	102	6,87	72	0,80	18	38
		1000	102	9,70	72	1,10	18	38
		2000	182	11,26	128	1,25	24	50
		3200	283	11,26	200	1,25	30	65
		4600	410	11,44	287	1,25	36	76

\* При вязкости жидкости выше 25°Э интенсивность подачи воздуха принимается равной 1 л/сек · м<sup>2</sup>.

Таблица 5

Значения эквивалентных диаметров при различных вариантах схемы вводов для перемешивания струями

Диаметр резервуара, м	Емкость резервуара, м <sup>3</sup>	Рекомендуемая система ввода	Эквивалентный диаметр D <sub>э</sub> , м
5,68	100	1 ввод, вариант I	5,68
		3 ввода, вариант II	3,3
		4 ввода, вариант III	2,9



Диаметр резервуара, м	Емкость резервуара, м <sup>3</sup>	Рекомендуемая система ввода	Эквивалентный диаметр $D_э$ , м
7,11	200	1 ввод, вариант I	7,11
		3 ввода, вариант II	4,12
		4 ввода, вариант III	3,56
		6 вводов, вариант IV	2,50
8,53	300	4 ввода, вариант III	4,25
	400	3 ввода, вариант II	4,95
	700	1 ввод, вариант I	8,53
		6 вводов, вариант IV	3,30
11,38	1000	4 ввода, вариант III	5,70
15,22	2000	6 вводов, вариант IV	4,40
19,00	3200	6 вводов, вариант IV	5,50
22,84	4600	6 вводов, вариант IV	6,60

Примечание. Для нестандартных резервуаров выбирается система вводов для ближайшего по диаметру стандартного резервуара.

## Приложение 2

### Расчет системы перемешивания жидкости струей той же жидкости

Минимально необходимый расход нефтепродукта через систему вводов, который требуется для тушения нефтепродукта в данном резервуаре, рассчитывается по формуле

$$Q_m = 0,0355 n d_n \cdot D_э^2 \text{ м}^3/\text{час}, \quad (1)$$

где  $n$  — число вводов;

$d_n$  — диаметр насадка, мм;

$D_э$  — эквивалентный диаметр, м; определяется в зависимости от системы вводов и диаметра резервуара (табл. 5 приложения 1).

Насос, включенный в систему, должен при заданной схеме трубопроводов и вводов обеспечить производительность (рабочую) большую, чем  $Q_m$  или, по крайней мере, равную ей, т. е. должно выполняться условие  $Q_p \geq Q_m$ .

Значения  $Q_m$  для стандартных резервуаров в зависимости от числа вводов и диаметра насадка  $d_n$ , приведены в табл. 6.

Значения минимально необходимого расхода нефтепродукта  $Q_m$  ( $\text{м}^3/\text{час}$ ) и скоростного напора  $h_{\text{сн}}$  ( $\text{м вод. ст.}$ ) для различных значений диаметров насадка  $d_n$  (в мм) и различного числа вводов  $n$  при стандартных резервуарах.

$D=28,84 \text{ м}$ $n=6$			$D=19 \text{ м}$ $n=6$			$D=15,22 \text{ м}$ $n=6$			$D=11,38 \text{ м}$ $n=6$			$D=11,38 \text{ м}$ $n=4$			$D=8,53 \text{ м}$ $n=6$			$D=8,53 \text{ м}$ $n=4$			$d_H$
$d_H$	$Q_m$	$h_{CH}$	$Q_m$	$h_{CH}$	$Q_m$	$h_{CH}$	$Q_m$	$h_{CH}$	$Q_m$	$h_{CH}$	$Q_m$	$h_{CH}$	$Q_m$	$h_{CH}$	$Q_m$	$h_{CH}$	$Q_m$	$h_{CH}$			
15	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	15
20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	20
30	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	30
40	370	26	192	23	124	8,6	93	3,0	46	6,6	20,2	4	38,6	32,4	27	2,2	51,5	18,2	77	8,1	40
50	462	16,9	256	12,9	165	4,8	116	1,06	70	1,66	40,5	0,6	103	4,6	54	0,4	129	2,9	103	4,6	50
60	555	11,7	320	8,3	206	3,1	139	0,74	93	1,06	67,5	0,4	129	2,9	67,5	0,4	154	2,0	129	2,9	60
70	648	8,6	384	5,7	250	2,15	162	0,54	116	0,74	81	0,3	154	2,0	81	0,3	180	1,5	154	2,0	70
80	740	6,6	450	4,2	290	1,6	186	0,41	139	0,74	94	0,2	180	1,5	94	0,2	206	1,1	180	1,5	80
			512	3,2	330	1,2	—	—	186	0,41	—	—	—	—	—	—	—	—	206	1,1	—

Продолжение

Продолжение

$D=8,53 \text{ м}$ $n=3$		$D=7,11 \text{ м}$ $n=4$		$D=7,11 \text{ м}$ $n=3$		$D=7,11 \text{ м}$ $n=1$		$D=5,68 \text{ м}$ $n=4$		$D=5,68 \text{ м}$ $n=3$		$D=5,68 \text{ м}$ $n=1$	
$Q_m$	$h_{\text{сн}}$	$Q_m$	$h_{\text{сн}}$	$Q_m$	$h_{\text{сн}}$	$Q_m$	$h_{\text{сн}}$	$Q_m$	$h_{\text{сн}}$	$Q_m$	$h_{\text{сн}}$	$Q_m$	$h_{\text{сн}}$
38,6	59	38,6	520	36	16	36	140	23,8	3,9	23,8	6,7	23,8	59
51,5	33	51,5	290	54	7,1	54	62	36	1,7	36	3,0	36	26
77	14,7	77	130	72	4,0	72	35	48	0,96	48	1,7	48	14,6
103	8,3	103	73	90	2,5	90	35	60	0,62	60	1,1	60	9,4
129	5,3	129	47	108	1,8	108	15,5	71	0,43	71	0,74	71	6,5
154	3,7	154	32	126	1,3	126	11,4	84	0,32	84	0,54	84	4,8
180	2,7	180	24	144	1,0	144	8,7	95	0,24	95	0,24	95	3,6
206	2,0	206	18	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Примечание. Расход  $Q_m$  представляет собой расход через всю систему вводов. Расход через один насадок подсчитывается по формуле  $\frac{Q_m}{n}$ , где  $n$  — число насадков, а  $Q_m$  берется из таблицы. В таблице приведены ориентировочные значения скоростного напора  $h_{\text{сн}}$ . Эти значения могут служить лишь вспомогательным материалом при выборе необходимого диаметра насадка. Вычисление точного значения  $h_{\text{сн}}$  производится по формуле (3) (см. приложение 2).

Проверочный расчет производится в следующем порядке.

1) По табл. 6 данной системы вводов и диаметра резервуара  $D$  выбирают около трех значений диаметров насадка  $d_n$  с таким расчетом, чтобы производительности  $Q_m$ , соответствующие этим значениям  $d_n$ , были в интервале расходов, обеспечиваемых данным насосом (этот интервал определяется по характеристике  $Q-H$  насоса).

2) Строятся характеристики  $Q-H$  (расход—напор) системы перемешивания при выбранных значениях диаметра насадка  $d_n$ . Расчет характеристик производится по обычной методике гидравлического расчета трубопроводов\*. Требуемый напор определяется по формуле

$$H = h_{\text{тр}} + h_{\text{мс}} + h_{\text{сн}} + h_{\text{нив}} \quad (2)$$

где  $h_{\text{тр}}$  — потеря напора на трение в трубопроводах;  
 $h_{\text{мс}}$  — потеря напора на местные сопротивления;  
 $h_{\text{сн}}$  — скоростной напор;  
 $h_{\text{нив}}$  — разность нивелирных отметок.

Значения величин  $h_{\text{тр}}$ ,  $h_{\text{мс}}$  определяются обычными методами с учетом особенностей данного конкретного случая.

Скоростной напор определяется по формуле:

$$h_{\text{сн}} = \frac{8 \left( 1 - \frac{d_n^4}{d_{\text{тр}}^4} \right) \cdot Q^2}{g \cdot \varphi^2 n^2 \pi^2 d_n^4}, \quad (3)$$

где  $Q$  — расход жидкости через систему тушения;

$g$  — ускорение силы тяжести;

$\varphi$  — коэффициент истечения насадка (определяется в зависимости от формы насадка; насадок, показанный на рис. 3, имеет коэффициент истечения порядка 0,6—0,8);

$n$  — число вводов;

$d_n$  — диаметр насадка;

$d_{\text{тр}}$  — диаметр трубы ввода.

В табл. 6 приведены ориентировочные значения скоростного напора при заданных значениях  $d_n$  и  $Q_m$  для различных систем вводов и диаметров резервуара. Расчет производится из предположения, что  $\varphi=0,6$ , а значение  $d_n^4/d_{\text{тр}}^4$  мало по сравнению с единицей.

3) На графике (рис. 6), характеризующем  $Q-H$  трубопровода, отмечаются точки, соответствующие значениям  $Q_m$  при заданных значениях диаметра насадка. По этим точкам строится граничная кривая, отделяющая поле значений  $Q$  и  $H$ , при которых тушение будет достигнуто (область тушения заштрихована).

\* См. Пектемиров Г. А., «Справочник инженера и техника нефтебаз», Гостоптехиздат, 1954.

4) На том же графике строится характеристика  $Q-H$  насоса. Если она проходит через значения, составляющие область тушения, то на участке граничной кривой, лежащей под характеристикой насоса, выбирается такая точка, чтобы характеристика трубопровода, проходящая через эту точку, пересекала характеристику насоса в устойчивой ее части. По этому значению  $Q_m$  из таблицы 6 определяется диаметр насадка  $d_n$ , который будет, очевидно, самым выгодным, так как характеристика

трубопровода при этом значении  $d_n$  пересекает характеристику насоса в точке (рабочая точка), определяющей наиболее выгодный при данных условиях режим работы насоса. Кроме того, будет выполнено условие

$$Q_p \geq Q_m.$$

Если пограничная кривая проходит над характеристикой насоса, то очевидно, что условие  $Q_p \geq Q_m$  не будет выполнено ни при одном значении диаметра насадка, т. е. данный насос для перемешивания не пригоден.

Если один насос не обеспечивает перемешивания, необходимого для тушения, то можно включить в систему параллельно или последовательно несколько насосов. В этом случае при расчете определяется суммарная характеристика  $Q-H$  группы насосов.

**Пример.** На рис. 1 представлена технологическая схема нефтебазы. Допустим, что схема соответствует действительному расположению трубопроводов и резервуаров на местности. Требуется оборудовать резервуар емкостью  $400 \text{ м}^3$  (диаметр  $D=8,53 \text{ м}$ ) системой тушения перемешиванием с помощью струи нефтепродукта. В резервуаре хранится тракторный керосин. Резервуар связан с насосной нефтебазы двумя трубопроводами, внутренний диаметр которых равен  $110 \text{ мм}$ . Насосная станция имеет поршневой насос  $Q=30 \text{ м}^3/\text{час}$ , центробежный насос марки ЗК-13 (2900). Допустим, что для перемешивания во время тушения будет использован центробежный насос. Характеристика этого насоса показана на рис. 6. Насос обеспечивает производительность  $Q=20 \div 45 \text{ м}^3/\text{час}$  при напоре  $14-10 \text{ м вод. ст.}$  При выборе системы вводов следует ориентироваться на эти интервалы расхода и напора. Очевидно, что в этом случае целесообразно оборудовать резервуар системой из 6 вводов (вариант IV), так как для этой системы производительность  $20 \div 45 \text{ м}^3/\text{час}$  может обеспечить эффективное перемешивание при сравнительно небольших скоростных напорах. Если взять систему из 4 вводов, то тушение при производительности в

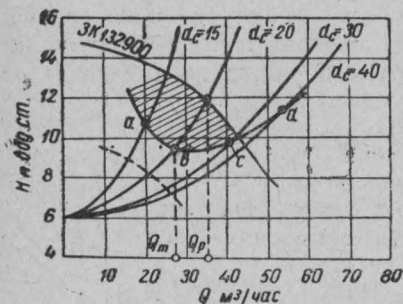


Рис. 6.  $Q-H$  — характеристики насоса и трубопроводов при  $d_n = 15, 20, 30, 40 \text{ мм}$

интервале значений  $20 \div 45 \text{ м}^3/\text{час}$  может быть достигнуто только при скоростных напорах, превышающих напор, обеспечиваемый насосом (см. табл. 6).

Следовательно, резервуар оборудуется системой из 6 вводов, которая подключается к приемному трубопроводу резервуара непосредственно за задвижкой на этом трубопроводе (см. рис. 1).

Затем необходимо подобрать внутренний диаметр  $d_n$  насадков, которые должны быть установлены на концах вводов. Нужно построить характеристики  $Q-H$  трубопровода при нескольких значениях диаметра насадка. Из табл. 4 выбираем три значения  $d_n$ , при которых значения минимально необходимых расходов  $Q_m$  укладываются в интервал  $20 \div 45 \text{ м}^3/\text{час}$ , обеспечиваемый насосом. Эти значения равны  $d_n = 15 \text{ мм}$ ,  $d_n = 20 \text{ мм}$ ,  $d_n = 30 \text{ мм}$ . Строим характеристики  $Q-H$  нагнетательного трубопровода при этих значениях  $d_n$ , пользуясь следующими данными:

Внутренний диаметр трубопровода ( $d_{тр}$ ), мм . . . . .	110
Длина трубопровода до резервуара ( $l_{тр}$ ), м . . . . .	100
Внутренний диаметр входной трубы* ( $d_{вх}$ ), мм . . . . .	110
Длина входной трубы ( $l_{вс}$ ), м . . . . .	10
Диаметр труб вводов ( $d_{втр}$ ), мм . . . . .	50
Длина трубы ввода от коллектора до насадка ( $l_{вв}$ ), м . . . . .	2,5
Разность нивелирных отметок насоса и самого верхнего уровня нефтепродукта в резервуаре ( $h_{нив}$ ), м . . . . .	6
Коэффициент истечения насадка $\phi$ принимаем равным . . . . .	0,5
Количество вводов ( $n$ ) : . . . . .	6

\* Под входной трубой подразумевается труба, ведущая от основного трубопровода до коллектора, от которого отходят трубы вводов с насадкой (см. рис. 3).

Потери на трение в системе определяем по формуле

$$h_{тр} = \left( \lambda_{тр} \frac{l_{тр}}{d_{тр} F_{тр}^2} + \lambda_{вх} \frac{l_{вх}}{d_{вх} F_{вх}^2} + \lambda_{вв} \frac{l_{вв}}{d_{вв} F_{вв}^2} \right) \frac{Q^2}{2g} \text{ м вод. ст.}, \quad (4)$$

где  $\lambda_{тр}$ ,  $\lambda_{вх}$ ,  $\lambda_{вв}$  — коэффициенты гидравлического сопротивления;  
 $F_{тр}$ ,  $F_{вх}$ ,  $F_{вв}$  — площади поперечного сечения трубопровода, входной трубы и вводов в трубопроводе.

Коэффициент  $\lambda$  определяется в зависимости от режима течения жидкости. Для турбулентного течения:

$$\lambda = \frac{0,3169}{Re^{0,25}}. \quad (5)$$

Для ламинарного течения

$$\lambda = \frac{64}{Re}. \quad (6)$$



Интересующая нас область значения расходов начинается с 20 м<sup>3</sup>/час. Число  $Re$  при этом значении  $Q$  в трубопроводе равно

$$Re = \frac{Q \cdot d_{\text{то}} 20,4}{F^2 \sqrt{3600 \cdot 3,14 \cdot 0,11 \cdot 0,2 \cdot 130^2}} \approx 3200,$$

т. е. режим течения турбулентный при расходе  $Q = 20$  м<sup>3</sup>/час и выше. Поэтому для подсчета  $\lambda$  пользуемся формулой (5).

Коэффициент вязкости  $\nu$  будем принимать равным 0,2 см<sup>2</sup>/сек. Потери напора в местах сопротивления определяем по формуле

$$h_{\text{мс}} = \Sigma \xi \frac{Q^2}{2gF^2}, \quad (7)$$

где  $\xi$  — коэффициент местного сопротивления;

$F$  — площадь поперечного сечения трубы вблизи данного местного сопротивления.

Подставляя выражение (3), (4), (7) и значения нивелирной разности высот в формуле (2), получим уравнение характеристики  $Q-H$  трубопровода

$$H = h_{\text{нив}} + \left( \lambda_{\text{тр}} \frac{l_{\text{тр}}}{d_{\text{тр}} F_{\text{тр}}^2} + \lambda_{\text{вх}} \frac{l_{\text{вх}}}{d_{\text{вх}} F_{\text{вх}}^2} + \lambda_{\text{вв}} \frac{l_{\text{вв}}}{d_{\text{вв}} F_{\text{вв}}^2} + \Sigma \xi \frac{1}{F^2} \right) \times \\ \times \frac{Q}{2g} + \frac{16 \left( 1 - \frac{d_{\text{н}}^4}{d_{\text{тр}}^4} \right)}{2g\varphi^2 n^2 \pi^2} \cdot \frac{Q}{d_{\text{н}}^4}. \quad (8)$$

Подставляя в эту формулу численные значения всех входящих величин (причем при определении суммы коэффициентов местных сопротивлений  $\Sigma \xi$  учитывается число поворотов, мест сужения и расширения потока, число задвижек и т. д.), получим\*

$$H = 6 + 1,68 \cdot 10^{-3} Q^2 + 4,95 \cdot 10^{-2} \frac{Q^2}{d_{\text{н}}^4} \text{ м вод. ст.}, \quad (9)$$

здесь  $Q$  — должно быть выражено в м<sup>3</sup>/час;  $d_{\text{н}}$  — в сантиметрах.

Задавая значения  $Q$  в интервале от 5 м<sup>3</sup>/час до 80 м<sup>3</sup>/час, строим три характеристики  $Q-H$  системы при значениях  $d_{\text{н}} = 15$  мм,  $d_{\text{н}} = 20$  мм,  $d_{\text{н}} = 30$  мм (см. рис. 6). На этих характеристиках отмечаем точки  $a$ ,  $b$ ,  $c$ , соответствующие расходам  $Q_m = 20,2$  м<sup>3</sup>/час,  $Q_m = 27$  м<sup>3</sup>/час;  $Q_m = 40,5$  м<sup>3</sup>/час. Значения этих расходов берем из табл. 6 при  $n = 6$  и диаметрах насадки 15, 20, 30 мм. Соединяя точки  $a$ ,  $b$ ,  $c$  плавной кривой, получаем область значений  $Q-H$ , при которых тушение будет эффективным. Как видно из рисунка,

\* Так как пример носит чисто методический характер, то все вычисления сделаны приближенно.

характеристика насоса отсекает часть заштрихованной области. На граничной кривой выбираем такое значение  $Q_m$ , чтобы точка пересечения характеристики насоса и трубопровода (рабочая точка) лежала на устойчивом участке характеристики насоса. Таким значением будет  $Q_m = 27 \text{ м}^3/\text{час}$ . Этому значению соответствует значение диаметра насадка, равное 20 мм. Следовательно, наиболее выгодным является насадок с внутренним диаметром 20 мм. При этом, рабочая точка определяется при  $Q_p = 35 \text{ м}^3/\text{час}$  и  $H = 12 \text{ м}$  вод. ст., т. е. условие  $Q_p \geq Q_m$  выполняется.

На рис. 6 показана также характеристика трубопровода при  $d_n = 40 \text{ мм}$ . Значение  $Q_m$ , соответствующее этому диаметру насадка, равно  $54 \text{ м}^3/\text{час}$  (точка  $d$ ). Для этого случая условие  $Q_p \geq Q_m$  не выполняется, так как  $Q_p = 45 \text{ м}^3/\text{час}$ .

Кроме того, на рис. 6 прерывистой линией обозначена характеристика какого-то центробежного насоса. Очевидно, что насос с такой характеристикой ни при одном значении диаметра насадка не обеспечит перемешивания, необходимого для тушения, так как его характеристика лежит под граничной кривой, охватывающей область тушения. В этом примере рассчитан только нагнетательный трубопровод. Всасывающая линия также должна быть рассчитана по общепринятой методике.

При определении величины  $Q_p$  может оказаться, что  $Q_p$  значительно превышает по значению величину  $Q_m$ . При этом включение системы в работу может вызвать фонтанирование нефтепродукта (особенно при малых уровнях) с образованием большого количества брызг, что ухудшает условия тушения. Поэтому при расчете целесообразно подбирать диаметр насадка  $d_n$ , так, чтобы  $Q_p$  не превышало  $Q_m$  более чем в 2 раза, т. е. в этом случае  $Q_m$  должно быть порядка  $0,50 Q_p$ . При расчетах необходимо также принимать во внимание, что диаметр насадка не должен быть меньше  $1,8 \cdot 10^{-3} D$ , т. е. должно выполняться условие:

$$d_n \geq 1,8D, \quad (9)$$

где  $d_n$  — диаметр насадка, мм;  
 $D$  — диаметр резервуара, м.

Аналогичный расчет следует производить для каждого резервуара в отдельности. После расчета на систему перемешивания составляется техническая документация, в которой необходимо указать:

1) схему трубопроводов, которая будет использована во время тушения перемешиванием;

2) место установки контрольных приборов (манометров, или расходомеров);

3) величины напоров (расходов), которые необходимо установить на контрольном приборе при тушении пожара.

## Примерный перечень мероприятий по обеспечению тушения пожаров жидкостей методом перемешивания

При эксплуатации объекта, оборудованного системой тушения перемешиванием, лица, ответственные за пожарную безопасность объекта, должны составить подробный перечень мероприятий по тушению пожара. Рассмотрим следующий пример.

Допустим, что в районе, обслуживаемом городской пожарной командой, находится нефтебаза, хранящая тракторный керосин. Резервуары оборудованы системой тушения перемешиванием с помощью струй керосина. В составлении плана мероприятий должны принимать участие представители пожарной охраны: районный пожарный инспектор, начальник пожарной команды, а также представители администрации объекта. Для составления плана мероприятий необходимо иметь схему трубопроводов нефтебазы и таблицу численных значений давлений (расходов), которые необходимо устанавливать на контрольном приборе при тушении пожара. Эти документы должна передать проектная организация, занимавшаяся проектированием и расчетом системы тушения.

Допустим, что рассматриваемая нефтебаза имеет схему, приведенную на рис. 1. Нефтебаза имеет 8 резервуаров по 100 м<sup>3</sup> и 1 резервуар 400 м<sup>3</sup>. При тушении пожара согласно указанию проектной организации будет использован насос ЗК-132900 и в качестве контрольного прибора манометр, установленный в здании насосной после задвижки № 4. К схеме трубопроводов приложена следующая таблица.

При пожаре в резервуаре №	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Необходимо установить на контрольном манометре давление, кг/см <sup>2</sup>	3,5	3,5	3,5	4,0	4,0	4,0	4,5	4,5	5,0

На основе этих документов представители пожарной охраны и администрации нефтебазы составляют следующий план.

1) Ответственными за сохранность и боеготовность системы тушения являются

а) со стороны администрации нефтебазы — директор нефтебазы тов. . . .

б) со стороны пожарной охраны — районный пожарный инспектор начальник пожарной команды тов.

2) При возникновении пожара запуск системы тушения осуществляется под руководством сменных техников-операторов.

3) Порядок включения системы тушения в действие фиксируется, например:

При пожаре в резервуаре	9
Открыты задвижки, №№	4, 7, 8, 9, 11
Закрыты задвижки, №№	1, 2, 3, 5, 6, 10, 12
Давление на контрольном манометре, кг/см <sup>2</sup>	5,0

Регулировка давления на контрольном манометре производится во всех случаях задвижкой № 4, расположенной в здании насосной. При одновременном загорании двух и более резервуаров тушение производится по очереди с применением охлаждения стенок резервуаров.

4) Во время тушения используется насос ЗК-13-2900.

5) Пожарная команда, прибывшая на место пожара, действует в соответствии со сложившейся обстановкой, руководствуясь указаниями пункта 3 инструкции по тушению пожаров жидкостей перемешиванием.

6) Организация осмотра и профилактического ремонта системы тушения возлагается на директора нефтебазы — тов.

7) Не реже одного раза в 6 месяцев производится запуск системы тушения в действие с целью промывки труб вводов с насадками.

8) Начальник пожарной команды совместно с администрацией нефтебазы организует тренировку личного состава по запуску системы тушения в действие.

Настоящий план мероприятий является примерным и содержит только основные пункты. Реальный план должен быть составлен с учетом конкретных местных условий и содержать помимо перечисленных пунктов указание о способе оповещения о пожаре, использования дополнительных средств и т. п.

По разработке плана мероприятий по обеспечению тушения пожара на нефтебазе, оборудованной системой тушения воздухом, составляются аналогичные таблица и схема воздухопроводов применительно к условиям подачи воздуха.

Успех тушения пожара горючей жидкости перемешиванием зависит во многом от подготовленности персонала нефтебазы и пожарной команды, обслуживающей объект. Поэтому необходимо обратить серьезное внимание на тренировку личного состава, который должен уметь четко и быстро запускать систему в действие.

## **БОРЬБА С ПОЖАРАМИ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ИСКУССТВЕННОГО ВОЛОКНА**

*Соловьев А. А., Петров И. И., Крайнов А. П., Усатенко В. И.*

Технологические процессы на предприятиях, производящих искусственное волокно, требуют применения и хранения больших количеств таких огнеопасных жидких растворителей, как ацетон, спирты и т. п. В связи с этим необходимо проводить ряд противопожарных мероприятий в местах хранения горючих жидкостей. Прежде всего возникает вопрос о рациональном выборе способа

и средств тушения пожаров в резервуарах с ацетоном и другими горючими жидкостями, так как в этом случае применение обычных пен не дает никакого результата. Рекомендуемые в настоящее время для этой цели омыленные пенопорошки требуют достаточно сложной аппаратуры и значительного времени для приведения ее в действие, кроме того получающаяся при этом пена в ряде случаев портит хранящийся продукт.

В последнее время разработан новый способ тушения пожаров ацетона в резервуарах распыленной водой; сконструированы и изготовлены образцы соответствующей аппаратуры.

Проведенные опыты показали высокую эффективность применения распыленной воды при тушении пламени ацетона в резервуаре диаметром 5,3 м (емкостью 100—200 т). Было установлено, что ацетон горит в резервуаре слабокопящим желтоватым пламенем со скоростью выгорания, равной в среднем 20 см в час. Вследствие кипения ацетона в процессе горения на стенках образуется нарастающий прогретый слой, температура которого равна 56°. Скорость нарастания прогретого слоя составляет в среднем 60 см в час.

При подаче распыленной воды в зону горения происходит интенсивное испарение капель воды как на раскаленных стенках резервуара, так и в пламени ацетона. Образующийся водяной пар разбавляет пары ацетона до концентрации, при которой горение становится невозможным. Тушению способствует также снижение распыленной водой концентрации верхнего слоя ацетона. Тушение длится 10—15 сек. с момента введения распыленной воды. Характерным признаком конца тушения является большое количество белого густого пара, появляющегося над резервуаром.

Для успешного тушения пожара необходимы следующие условия:

1) распыленная вода должна равномерно покрывать площадь горения;

2) высота свободного борта от верхней кромки резервуара должна составлять не менее 0,15 от диаметра резервуара;

3) расход воды на 1 м<sup>2</sup> площади горения должен быть не менее 0,4 л/сек при напоре 6—8 атм, что вполне обеспечивается насосом типа Д-20 или ПН-25.

Разработан винтовой распылитель, вполне удовлетворяющий этим условиям (см. рис. 1). Принцип действия винтового распылителя основан на том, что с компактной водяной струи, вытекающей из входного отверстия распылителя, каждый виток срезает пленку воды определенной толщины. Последняя вследствие большой скорости истечения дробится на капли, размер которых равен в среднем 0,2 мм. Для тушения пожара распыленная струя воды, полученная с помощью такого распылителя и направленная сверху вниз, вводится в факел пожара. Распылитель устанавливается на специальном водоподъемнике.



Общий вид такого водоподъемника показан на рис. 2. Водоподъемник представляет собой противовес емкости в виде пустотелого сектора, на котором закрепляется труба, заканчивающаяся консолью и приспособлением для установки распылителя на заданной высоте. Труба у основания имеет ферму для жесткости конструкции. По трубе подается вода в распылитель. После сборки емкость водоподъемника заполняется водой, и водоподъемник устанавливается в рабочем положении. Водоподъемник управляется посредством троса одним человеком.

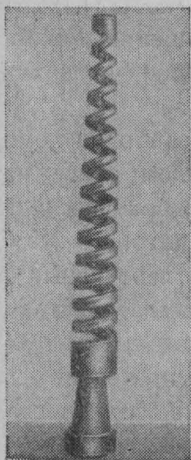


Рис. 1. Винтовой распылитель

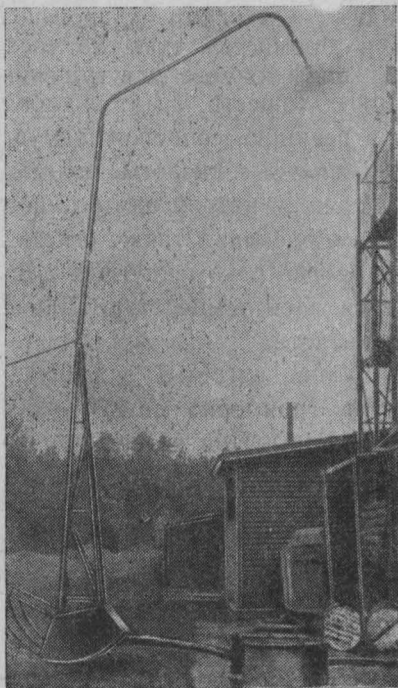


Рис. 2. Водоподъемник

## ПОЖАРНАЯ ОПАСНОСТЬ И ТУШЕНИЕ ПОЖАРОВ ЩЕЛОЧНЫХ МЕТАЛЛОВ — НАТРИЯ И КАЛИЯ

*Родэ А. А., Сухов Я. В., Матвеева Г. И.*

### Горение натрия и калия

Щелочные металлы, особенно натрий и калий, находят широкое применение в химической промышленности, а также в качестве теплоносителя в энергетических установках. Физико-химические свойства этих металлов делают их в определенных условиях весьма

опасными в пожарном отношении. Однако вопросы горения и тушения этих металлов изучены еще недостаточно.

Пожарная опасность натрия и калия определяется их низкой температурой плавления ( $97,3^\circ$  — для натрия и  $63,7^\circ$  — для калия) и способностью чрезвычайно активно реагировать с рядом элементов и веществ. Натрий и калий энергично разлагают воду с воспламенением и взрывом. Обычно также со взрывом они реагируют с галоидами и многими их производными; к таким производным относятся бромистый этил, четыреххлористый углерод и другие вещества, применяемые для тушения горючих жидкостей, газов и ряда твердых веществ и материалов. Со щелочными металлами вступают в реакцию, сопровождаемую часто воспламенениями и взрывами, различные кислоты, водные растворы солей и других веществ.

Горящий натрий быстро пропитывает и разлагает асбестовые накладки и одеяла, а также огнезащитные покрывала и костюмы, которые иногда рекомендуются для применения при тушении пожаров натрия. При температуре  $700\text{--}900^\circ$  с натрием вступает в реакцию углекислота.

Натрий, нагретый в воздухе до сравнительно невысокой температуры (примерно до  $220\text{--}250^\circ$ ), образует в основном окись натрия —  $\text{Na}_2\text{O}$ . При нагревании до более высокой температуры и при горении его образуется преимущественно перекись натрия —  $\text{Na}_2\text{O}_2$ . Калий также дает несколько типов окислов, причем перекисные его соединения обладают более сильными окислительными свойствами, чем перекись натрия.

Горение натрия и калия на открытом воздухе протекает спокойно, с обильным выделением едкого белого дыма, состоящего в основном из перекисей этих металлов.

По данным американских авторов, натрий в зависимости от влажности воздуха, степени дисперсности металла и других условий может воспламеняться уже при нагреве до  $115^\circ$ ; по другим данным, температура самовоспламенения натрия равна  $220^\circ$ . Опыты, проведенные авторами, показали, что в обычных условиях самовоспламенение натрия происходит при более высоких температурах, в пределах  $330\text{--}360^\circ$  (по данным лабораторных испытаний эта температура несколько выше). Температура самовоспламенения калия в обычных условиях была установлена в пределах  $440\text{--}455^\circ$ .

Значительно более низкие температуры самовоспламенения натрия были получены после тушения горящего металла, когда остатки его находились под слоем перекиси натрия и огнегасительного состава — в основном кальцинированной соды. После удаления слоя перекиси и порошка самовоспламенение натрия происходило при

106°, 103° и даже при 97°. В связи с этим необходимо крайне осторожно обращаться с остатками несгоревшего натрия, покрытого слоем перекиси, которая, очевидно, оказывает достаточно активное окисляющее действие, способствующее понижению температуры самовоспламенения натрия до указанных величин. Эксперимент с небольшими количествами натрия показал, что при добавлении к расплавленному металлу его перекиси температура самовоспламенения натрия снижается с 360° до 256°. На это указывает также и более быстрое разогревание натрия после достижения им температуры, близкой к 250°, при которой начинается образование перекиси, действующей по отношению к металлу как активный окислитель.

На основании опытных данных можно сделать вывод, что для предупреждения повторного самовозгорания остатков натрия при ликвидации последствий пожара не следует снимать с металла защитный слой огнегасительного состава ранее, чем металл охладится до 80—90°.

Определение температуры самовоспламенения натрия в условиях высокой влажности показало, что эта температура несколько снижается по сравнению с той, которая наблюдалась в обычных условиях: при температуре воздуха около 50° и 100% влажности самовоспламенение натрия произошло при 320°.

Опыты по определению температуры самовоспламенения натрия в атмосфере, обедненной кислородом, показали, что эта температура повышается с уменьшением содержания кислорода. Так, при содержании 17% кислорода самовоспламенение натрия произошло при нагреве его до 478°, а при 8,3% кислорода — до 513°. Самовозгорание калия в атмосфере, содержащей 10,6% кислорода, произошло после того, как он был нагрет до 540°.

При повышенном содержании кислорода в воздухе температуры самовоспламенения натрия и калия снижаются: в чистом кислороде натрий загорается при 118°, а калий — при 69°. Интересно отметить при этом, что, по данным некоторых авторов, в абсолютно сухом кислороде натрий не самовоспламеняется, а горящий металл даже гаснет.

При горении щелочных металлов на воздухе развиваются сравнительно невысокие температуры: 800—900° для натрия и около 700° для калия. В некоторых работах приводятся более высокие температуры: 1100 и 900° соответственно.

В случае горения натрия в небольших закрытых помещениях были получены несколько более низкие температуры, чем на открытом воздухе: 720—750° для натрия и 630—700° для калия. В условиях опытов с использованием металлической камеры объемом около 2 м<sup>3</sup> при содержании кислорода 7,4% и ниже не наблюдалось самовоспламенения и дальнейшего горения натрия при перегреве до 500° и более. Минимальное содержание кислорода, необходимое для самовоспламенения натрия, по данным этих опытов, близко к 8%. Горение при пониженном содержании кислоро-

да протекает более вяло и прекращается при снижении содержания кислорода до 6—7%. Температура металла не поднимается при этом выше 600—630°.

Окисление натрия при повышенных температурах продолжается и после прекращения его горения, за счет чего содержание кислорода снижается до 5—2,6% (меньшие значения соответствуют тем опытам, при которых наблюдалось длительное нагревание противня с металлом после прекращения горения).

По данным американских авторов, горение перегретого натрия может происходить при содержании кислорода ниже 5%; считается, что при этой величине содержания кислорода самовоспламенение натрия может быть предотвращено, а горение его прекращено. Опытная проверка показала, что в воздухе с содержанием кислорода 2,75% сгорело 0,6 кг из 21 кг натрия с температурой 425°, а при содержании кислорода 7% из 17 кг натрия, имевшего такую же температуру, сгорело 3 кг.

Горение значительно измельченного натрия, имеющего высокую температуру, очевидно, может продолжаться при еще более низком содержании кислорода.

Горение калия в условиях замкнутого объема, по данным небольшого количества опытов, прекращается после выгорания кислорода до 8,5—10,7%. Для воспламенения калия требовалось содержание кислорода около 10%.

При горении небольших количеств натрия и калия в герметичном помещении малого объема давление повышается незначительно — не более, чем до 60—80 мм рт. ст.

Для процесса горения натрия и калия характерно, в отличие от горения горючих жидкостей и большинства твердых материалов, что значительная часть продуктов горения — перекисей — оседает на поверхности металла, поэтому к концу горения вес продуктов горения несколько превышает начальный вес металла. В связи с этим определение скорости выгорания проводилось по длительности горения металлов в противнях определенного размера. Испытания, которые проводились при величине поверхности горения 0,0625—1,0 м<sup>2</sup>, начальной толщине слоя натрия 8—50 мм и весе металла 0,5—18,5 кг показали, что скорость выгорания натрия составляет 0,7—0,9 кг/м<sup>2</sup>·мин. Для калия опыты, которые проводились с небольшими количествами металла, показали, что скорость его выгорания составляла 1—1,4 кг/м<sup>2</sup>·мин.

При этих опытах не было замечено зависимости скорости выгорания от толщины слоя металла и размеров поверхности горения. Скорость выгорания несколько повышалась с увеличением скорости ветра.

### Тушение натрия и калия

Как уже отмечалось, горение натрия и калия на воздухе протекает довольно спокойно с невысокой, по сравнению с другими металлами, температурой и небольшим выделением лучистой теплоты.



Это позволяет подходить достаточно близко к горящему металлу для подачи огнегасительных средств. Однако тушение щелочных металлов сопряжено со значительными трудностями, связанными прежде всего с тем, что применение таких общепринятых огнегасительных средств, как вода, воздушно-механическая или химическая пена, легкоиспаряющиеся жидкости на основе углеводов, водные растворы солей, недопустимо, так как они приводят к усилению горения.

Для уменьшения пожарной опасности помещений, в которых производится подготовка, применение, а также хранение щелочных металлов, необходимо исключить возможность попадания в эти помещения воды, поэтому в них следует устанавливать только воздушное отопление. В эти помещения не следует допускать персонал в сырой или влажной одежде и обуви. Работа с щелочными металлами допускается только в спецодежде.

Повышенные требования предъявляются к электросиловому оборудованию, которое должно быть во взрывобезопасном исполнении, и к осветительной сети, арматура которой должна быть герметичной с проводкой в газовых трубах.

Оборудование и емкости, содержащие значительное количество щелочных металлов, должны иметь поддоны для вытекающего в случае аварии расплавленного металла.

Хранение щелочных металлов допускается в одноэтажных складах несгораемой конструкции без чердаков. При проектировании и строительстве их должна быть предусмотрена невозможность затопления помещения грунтовыми или сточными водами. Не допускается устройство парового или водяного отопления. На территории складов запрещается курение, разведение огня и наличие воды.

Пожароопасные операции — плавление и операции с расплавленными металлами — должны производиться либо под слоем парафина, минерального масла, либо в инертной среде азота или аргона.

Уничтожают остатки щелочных металлов в специально оборудованных и отдельно расположенных местах; для уничтожения могут быть использованы этиловый, метиловый или другие осушенные спирты, сжиженный аммиак или водяной пар. При взаимодействии остатков металла с указанными веществами выделяется водород, дающий взрывоопасные смеси с воздухом в широком диапазоне процентного содержания водорода, поэтому должны быть приняты меры для предупреждения возможности взрывов.

Для тушения пожаров натрия в различных руководствах рекомендуются сухой песок, сухая сода, мел, асбестовые одеяла, азот и инертные газы. В зарубежной практике находят применение порошковые составы на основе графита и поваренной соли.

Для подачи огнегасительных составов применяются совки и лопаты, при тушении необходимо пользоваться защитной одеждой из брезента или хромовой кожи, голова и лицо защищаются шлемом, имеющим защитное прозрачное окно из органического стекла.



В отчетах о научно-исследовательских работах, патентной литературе и ведомственных инструкциях, кроме указанных выше веществ и материалов, рекомендуются также водные растворы аммонийно-фосфорных солей (диаммонийфосфат и моноаммонийфосфат), твердая («снежная») уголекислота, поташ, квасцы, смесь хлоридов щелочных металлов или аммония с добавками формиатов, оксалатов и сукцианатов щелочных металлов или аммония, смеси соды с кровяным альбумином, тальк и др.

Для выбора наиболее эффективных средств тушения натрия и калия были проведены испытания по тушению этих металлов. Опыты проводились с различными количествами металлов от 0,5 кг до 32 кг, причем размеры поверхности горения изменялись, соответственно, от 0,0625 м<sup>2</sup> до 1,5 м<sup>2</sup>. При проведении испытаний было установлено, что расход огнегасительных средств зависит от состава смеси и процентного соотношения входящих в нее компонентов. При тушении 0,5 кг натрия с поверхностью горения 0,0625 м<sup>2</sup> наиболее эффективными оказались: смесь кальцинированной соды с альбумином (50 : 50) — удельный расход равен 6,4 кг на 1 м<sup>2</sup> горящей поверхности, кальцинированная сода с небольшой добавкой графита (1%) — 7,8 кг/м<sup>2</sup>, кальцинированная сода с добавками 1—3% стеарата аммония — 6,4 кг/м<sup>2</sup>, стеарата магния — 7 кг/м<sup>2</sup>, стеарата железа — 5,3 кг/м<sup>2</sup>, стеарата алюминия — 6,2 кг/м<sup>2</sup> и стеариновой кислоты — 6,2 кг/м<sup>2</sup>. При тушении чистой кальцинированной содой с таким же фракционным составом в одинаковых условиях удельный расход ее составил около 9 кг/м<sup>2</sup>.

Более высокие удельные расходы огнегасительных веществ для тушения того же количества натрия имели место при использовании графита — 11,8 кг/м<sup>2</sup> и, особенно, поваренной соли — 26 кг/м<sup>2</sup>, а также смесей ее с кальцинированной содой — 25 кг/м<sup>2</sup>.

Для тушения калия необходимы значительно более высокие удельные расходы огнегасительных составов: при проведении опытов в указанных выше условиях удельный расход кальцинированной соды без добавок составил 19,8 кг/м<sup>2</sup>, смеси кальцинированная сода — кровяной альбумин (при наиболее выгодном, по данным опытов, соотношении 75 : 25) — 13,8 кг/м<sup>2</sup>, смеси кальцинированная сода — графит (наилучшее соотношение — 99 : 1) — около 10 кг/м<sup>2</sup>, поваренной соли — 25,7 кг/м<sup>2</sup>.

Для большинства испытанных составов была обнаружена зависимость удельного расхода порошка от размеров его зерен — расход снижается при уменьшении их среднего размера. Так, в случае тушения небольших количеств натрия (0,5 кг за опыт) удельный расход при уменьшении среднего размера зерен огнегасительного порошка от 1,1 мм до 0,2 мм снизился с 12 кг/м<sup>2</sup> до 6,4 кг/м<sup>2</sup>, а в случае тушения таких же количеств калия порошкообразной кальцинированной содой аналогичное уменьшение размеров зерен привело к снижению удельного расхода с 22,6 кг/м<sup>2</sup> до 16,8 кг/м<sup>2</sup>.

Опыты с кальцинированной содой показали, что изменение

удельного расхода в зависимости от размеров зерен носит характер, близкий к линейной зависимости.

Гораздо большее влияние на величину удельного расхода огнегасительных веществ оказывают изменения размеров поверхности горения щелочных металлов и толщины слоя горящего металла, находящегося в жидком состоянии. В табл. 1 приведены результаты испытаний по тушению натрия кальцинированной содой, которые проводились при различной величине поверхности горения — от  $0,0625 \text{ м}^2$  до  $1,5 \text{ м}^2$  при почти одинаковой (в пределах точности опытов) толщине слоя.

Таблица 1

Величина поверхности горения, $\text{м}^2$	Количество сжигаемого натрия, кг	Толщина слоя расплавленного металла, мм	Расход кальцинированной соды, кг	Удельный расход кальцинированной соды, $\text{кг}/\text{м}^2$
0,0625	1,09	18,1	0,7	11,2
0,25	4,35	17,9	4,75	19
1,0	17,15	17,7	27,8	27,8
1,5*	32	22	(36)	(24) 30

\* При тушении 32 кг натрия на поверхности горения  $1,5 \text{ м}^2$  было израсходовано около 36 кг мелкой кальцинированной соды. С учетом приведенных выше данных о зависимости расхода соды от размеров ее зерен расход обычной технической соды, представляющей смесь частиц различных размеров, при толщине слоя расплавленного металла 20—25 мм составит около  $30 \text{ кг}/\text{м}^2$ .

Опыты по тушению натрия кальцинированной содой с добавкой 2,5—3% стеариновой кислоты показали, что в этом случае с увеличением масштабов пожара намечается стремление к снижению преимущества соды с добавками по сравнению с чистой содой. Эти данные свидетельствуют о возможном увеличении выгорания добавок при действии более мощного источника тепла.

Наиболее сильно возрастает удельный расход огнегасительных порошковых составов при увеличении толщины слоя расплавленного металла. Это связано, очевидно, с большим пропитыванием слоя огнегасительного порошка, нанесенного на поверхность расплавленного горящего металла, из-за понижения скорости застывания более значительной массы жидкого металла.

Зависимость изменения удельного расхода кальцинированной соды при различной толщине слоя расплавленного натрия и калия показана в табл. 2. Опыты проводились при поверхности горения  $0,0625 \text{ м}^2$ .

Щелочной металл	Толщина слоя горящего металла, мм	Расход кальцинированной соды, кг	Удельный расход кальцинированной соды, кг/м <sup>2</sup>
Калий . . . . .	10	1,25	20
» . . . . .	15	2,03	33
» . . . . .	18	2,55	41
» . . . . .	25	3,0	48
Натрий . . . . .	17	1,19	19
» . . . . .	22	1,34	23
» . . . . .	33	2,03	31
» . . . . .	57	3,0	48

Из приведенных в табл. 2 данных видно, что для небольших масс металла со значительной толщиной слоя удельный расход огнегасительных порошков на основе кальцинированной соды может дойти до 60 кг/м<sup>2</sup> и более.

Опыты в небольших масштабах по определению зависимости продолжительности тушения, а также удельного расхода огнегасительных порошков от интенсивности (расхода в единицу времени) их подачи показали, что продолжительность тушения уменьшается при повышении интенсивности подачи по закону гиперболической функции, а удельный расход порошка имеет минимум, который близок к точке пересечения биссектрисы прямого угла осей координат с кривой зависимости продолжительности тушения от скорости подачи порошка. На эти зависимости оказывают влияние состав порошка, размеры его частиц, величина массы горящего металла и поверхности горения и др.

Необходимо отметить, что опыты с большими количествами натрия при поверхности горения 0,25 м<sup>2</sup> и более выявили существенную зависимость расхода огнегасительных веществ от условий тушения. Ветер, влажность воздуха, влажность порошка могут привести к значительному изменению удельного расхода порошка и характера тушения пожара. Использование сырого или влажного порошка увеличивает его расход, при тушении наблюдаются потрескивание, хлопки и разбрасывание частиц порошка и мелких брызг жидкого металла. Поэтому количественные результаты опытов могут несколько изменяться при одних и тех же исходных данных.

Большое значение имеет и способ подачи порошка: так, не всегда достигается минимальный расход порошка при стремлении, казалось бы, использовать его наиболее экономно, нанося состав ровным тонким слоем и подавая дополнительное количество порош-

ка на те места, где порошок пропитывается расплавленным металлом, который вновь выходит на поверхность и загорается при контакте с кислородом воздуха. Зачастую более целесообразно сразу засыпать поверхность горящего металла сравнительно толстым ровным слоем, расходуя несколько более значительное количество огнегасительного состава у краев противня, так как горящий металл, на котором нарастает слой перекиси, «лезет» вверх по вертикальной металлической стенке. Это можно объяснить тем, что тонкий слой порошкового состава на основе кальцинированной соды быстро пропитывается расплавленным металлом, не успевая охладить его так, чтобы верхний слой металла сделался более вязким или затвердел. Более толстый слой порошка отбирает тепла больше и тем самым позволяет достаточно охладить жидкий металл, чтобы он потерял текучесть и не мог выйти на поверхность защитного слоя, образованного огнегасительным материалом. При использовании порошка с добавками стеаратов металлов и стеариновой кислоты эти вещества сгорают в самых нижних слоях, где температура является достаточно высокой, а в более холодных слоях они расплавляются и затем застывают при охлаждении верхнего слоя металла из-за прекращения выделения лучистой теплоты. При застывании они «схватывают» частицы соды, благодаря чему защитный слой приобретает более высокую плотность и газо- и металлонепроницаемость.

Следует отметить, что экспериментальные данные не подтверждают соображений о том, что существенную роль при тушении порошковыми составами играет разложение огнегасительного материала, которое происходит с поглощением тепла и выделением не поддерживающих горения газов. Опыты показали, что количество разложившегося порошка при тушении не превышает 2—3% и находится, по существу, в пределах точности опыта. Такой же точки зрения в последнее время придерживаются и зарубежные авторы в статьях, посвященных вопросам применения порошковых составов для тушения пожаров.

### Выбор рецептуры порошкового состава

Наряду с огнегасительными качествами важнейшей эксплуатационной характеристикой порошковых составов является их устойчивость к действию влаги воздуха и к слеживанию при хранении. Эти свойства порошков определяют их надежность при длительном хранении, так как комкование и слеживание порошков приводит к забиванию трубопроводов и выпускных насадков, что вызывает отказы во время эксплуатации огнетушителей.

На основании лабораторных испытаний по изучению влагопоглощения различных огнегасительных веществ и их смесей было установлено следующее:

1. Наиболее склонны к поглощению влаги мельчайшие фракции различных веществ, в том числе — кальцинированной соды.

2. Добавки к кальцинированной соде кровяного альбумина не дали существенного повышения стойкости смеси к влагопоглощению по сравнению с чистой содой.

3. Чистая поваренная соль, предварительно просушенная до постоянного веса, показала удовлетворительную стойкость к действию атмосферной влаги только в комнатных условиях.

4. Попытки использования некоторых гидрофобных составов, применяемых в текстильной промышленности для повышения стойкости против влагопоглощения, не дали положительных результатов.

5. Введение в кальцинированную соду добавок стеаратов металлов в количестве нескольких процентов улучшает способность таких смесей сопротивляться увлажнению в атмосферных условиях по сравнению с чистой содой, причем сопротивляемость возрастает с увеличением количества добавок.

6. В условиях 100% влажности добавки стеаратов металлов, а также графита и гидрофобных веществ несколько ухудшают стойкость кальцинированной соды к действию влаги. При этом добавки стеаратов металлов в отличие от других веществ почти полностью предотвращают образование комков.

Сравнительные испытания порошков по определению слеживаемости и сыпучести порошковых составов дали возможность сделать следующие выводы:

1. Наиболее сильно слеживается в комнатных условиях чистая кальцинированная сода, поваренная соль и составы на их основе, пропитанные гидрофобными веществами.

2. Прочность слоя слежавшегося порошка, как правило, возрастает с увеличением длительности хранения порошков.

3. Добавки стеаратов железа, магния и алюминия оказывают существенное положительное влияние на уменьшение слеживания смесей на основе кальцинированной соды в атмосферных условиях.

4. Зависимость сравнительной прочности слоя слежавшейся кальцинированной соды от фракционного состава порошка обнаружить не удалось.

5. Опыты по определению сыпучести порошковых составов при подаче их через воронку показали, что кальцинированная сода с добавками стеаратов металлов или стеариновой кислоты, также как и смеси соды с кровяным альбумином, обладают более высокой сыпучестью, чем чистая сода, при содержании добавок до 4%. При этом следует указать, что при подаче порошкового состава из огнетушителя такая зависимость не наблюдается: порошки, которые хуже идут через воронку, могут лучше идти через огнетушитель, поэтому можно полагать, что сыпучесть порошков через воронку не является характерной при определении свойств порошков, применяемых для подачи из огнетушителей, хотя она может иметь определенное значение для оценки возможности образования кратеров в порошке и прорывов воздуха во время работы огнетушителя.



Приведенные данные показывают, что сухая кальцинированная сода, которая как и графит или поваренная соль не вступает в химическую реакцию с нагрием и калием, является одним из наиболее подходящих веществ для тушения этих металлов. Как указывалось выше, разложение ее при тушении почти не происходит. Важным ее достоинством при тушении является полное отсутствие повышения интенсивности горения, разбрасывания металла и вспышек, что имеет большое значение при тушении пожара. Разгорание, особенно в начальной стадии тушения пожара, характерно для таких веществ органического происхождения, как кровяной альбумин, желатин и казеин.

Основными недостатками кальцинированной соды являются значительное пропитывание слоя порошка расплавленным металлом при тушении и склонность к увлажнению и слеживанию при хранении на воздухе. По данным опытов, небольшие добавки стеаратов железа, магния или алюминия, а также стеариновой кислоты хорошо защищают кальцинированную соду от увлажнения и слеживания, а также повышают огнегасительные свойства смеси.

На основании результатов лабораторных испытаний и полигонных опытов авторами была разработана следующая рецептура порошковой смеси для тушения пожаров натрия и калия (в %):

Сода кальцинированная (влажность не более 0,5%)	96,5
Стеарат железа (железо стеариновокислое)	1
Стеарат алюминия (алюминий стеариновокислый)	1
Графит	1
Стеариновая кислота :	0,5

При отсутствии стеарата железа он может быть заменен стеаратом магния, а также стеаратом алюминия в тех же количествах (при использовании стеарата алюминия огнегасительные свойства, а также эксплуатационные характеристики смеси при прочих равных условиях будут несколько ниже).

Техническая кальцинированная сода (натрий углекислый безводный) должна удовлетворять всем показателям ГОСТ 5100—49. Дополнительно к требованиям ГОСТ потеря веса соды при прокаливании должна быть не более 0,5% вместо 3,5%. Графит должен отвечать требованиям ГОСТ 8295—57. Стеараты металлов должны полностью отвечать показателям соответствующих стандартов; стеарат магния — ТУ 178—54, стеарат алюминия — ВТУ 127—51, стеарат железа — по ВТУ завода-изготовителя.

Дополнительно к требованиям ГОСТ и ТУ необходимо, чтобы частицы компонентов смеси имели следующие размеры.

Сода кальцинированная техническая: количество частиц менее 0,11 мм — не более 10%; количество частиц от 0,11 мм до 0,45 мм — не менее 70%; от 0,45 мм до 0,8 мм — остальное.

Стеариновая кислота и стеараты указанных металлов — не более 0,45 мм.

Графит «П» — в соответствии с ГОСТ 8295—57.

Для смеси: частиц размерами менее 0,11 мм — не более 12—13%; частиц размерами от 0,11 мм до 0,45 мм — не менее 70%; от 0,45 мм до 0,8 мм — остальное.

Необходимость выдерживания определенного фракционного состава смеси связана с тем, что, по опытным данным, наличие в порошке слишком большого количества частиц мелких фракций может привести к забиванию линии и отказам огнетушителя. Это обстоятельство главным образом вызвано тем, что наличие насадка, создающего дополнительное сопротивление в конце линии, и режим подачи порошка при относительно низких давлениях повышают требования к текучести порошка по трубам, хотя огнегасительные качества порошковых составов с большим содержанием мелких фракций значительно выше.

В тех случаях, когда компоненты заряда имеют влажность выше нормы, просушивание кальцинированной соды и графита следует вести при 250°, стеариновой кислоты и стеаратов алюминия, магния и железа — при 50—60°.

При приготовлении порошка и его использовании необходимо, чтобы все компоненты заряда были перемешаны до получения однородной смеси, что определяется по равномерности распределения частиц графита, а также стеарата железа, имеющего кирпичный цвет.

При длительном хранении не следует допускать заметного увлажнения и слеживания порошка, а также образования в нем комков, которые необходимо измельчать после подсушивания порошка.

### **Конструкция специальных порошковых огнетушителей для тушения пожаров натрия и калия**

Порошковые огнетушители для тушения пожаров щелочных металлов в отличие от таких же огнетушителей, предназначенных для тушения пожаров обычного типа, должны обеспечивать подачу порошка спокойной плавной струей, засыпающей горящий металл без его разбрызгивания и расплескивания.

В настоящее время зарубежными фирмами выпускаются порошковые огнетушители двух типов:

1) огнетушители, у которых заряд порошка помещается в тонкостенном металлическом корпусе цилиндрической формы, а запас сжатого газа (воздуха, азота или углекислоты) хранится в баллонах высокого давления, например немецкие огнетушители фирм «Тотал» и «Конкордия» (см. рис. 1);

2) огнетушители, у которых сжатый воздух закачивается в толстостенный корпус с порошком, рассчитанный на сравнительно высокое давление (обычно 30—45 кг/см<sup>2</sup>), например огнетушитель американской фирмы «Рандольф» (см. рис. 2).



Рис. 1. Ручной порошковый огнетушитель немецкой фирмы «Конкордия»



Рис. 2. Ручной порошковый огнетушитель американской фирмы «Рандольф»

Принцип действия огнетушителей обоих типов по существу одинаков: смесь порошка с воздухом, азотом или углекислотой выбрасывается под давлением из корпуса через сифонную трубку. При тушении обычных пожаров газо-порошковая смесь выбрасывается под значительным напором сильной струей, длина которой может достигать нескольких метров.

По эффективности действия, простоте конструкции, удобству эксплуатации и наименьшему «мертвому» весу корпуса на единицу заряда более совершенны огнетушители со специальными баллонами высокого давления для хранения запаса сжатого воздуха или газа.

В СССР были разработаны два типа порошковых огнетушителей для тушения щелочных металлов: ручные огнетушители с емкостью корпуса 6 л и 10 л (ОПС-6 и ОПС-10 — см. рис. 3), а также передвижной огнетушитель, имеющий 2 баллона с порошком общей емкостью 100 л (ОППС-100).

Схема огнетушителя ОПС-10 показана на рис. 4. Он состоит из корпуса 1 со сферическими днищами, внутри него по оси проходит сифонная трубка 2, нижний конец которой не доходит до дна корпуса на некоторое расстояние. К сифонной трубке присоединен

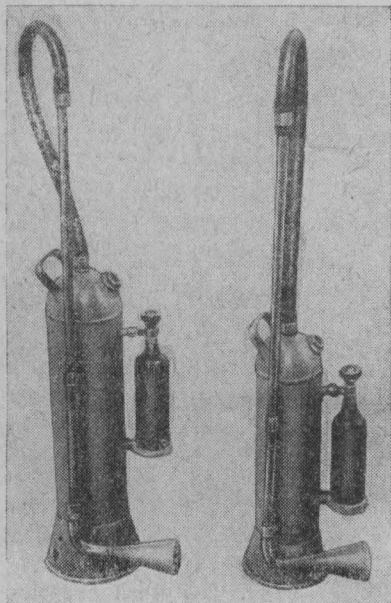


Рис. 3. Ручные порошковые огнетушители ОПС-10 и ОПС-6

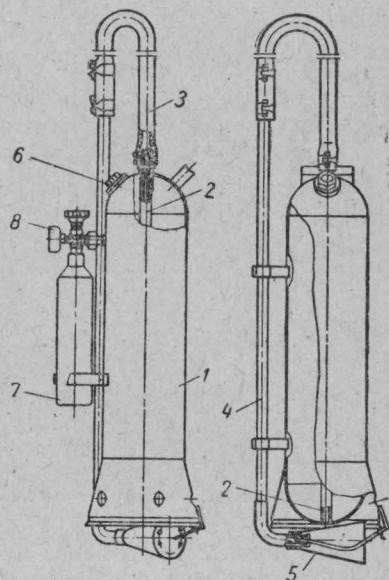


Рис. 4. Схема ручного порошкового огнетушителя ОПС-10:

1 — корпус; 2 — сифонная трубка; 3 — шланг дюритовый; 4 — удлинитель; 5 — насадок; 6 — предохранительный клапан; 7 — баллон высокого давления; 8 — манометр

хомутами гибкий дюритовый шланг 3 с трубчатым удлинителем 4, на конце которого имеется колено со съёмным насадком 5 конической формы и днищем с отверстиями для выхода газо-порошковой смеси. Предохранительный клапан 6 ввернут в горловину корпуса, через которую производится также зарядка огнетушителя порошком.

Сжатый воздух или газ подается в корпус огнетушителя через небольшое отверстие. Баллон 7 высокого давления имеет манометр 8 для контроля наличия воздуха или газа.

Для защиты заряда внутри огнетушителя (состав см. выше) от действия атмосферной влаги в колено удлинителя вставляется пробка, которая выдергивается металлическим тросом, один конец которого прикреплен к корпусу огнетушителя, а другой протянут через отверстие в центре пробки и загнут назад, проходя между пробкой и стенкой трубки. При хранении ручные огнетушители могут устанавливаться на полу или подвешиваться в перевернутом положении.

Для тушения более крупных пожаров, охватывающих до 20—30 кг натрия, разработана конструкция передвижного огнетушителя на двухколесной тележке ОППС-100, общий вид которого показан на рис. 5. Основные параметры были выбраны, исходя из того,

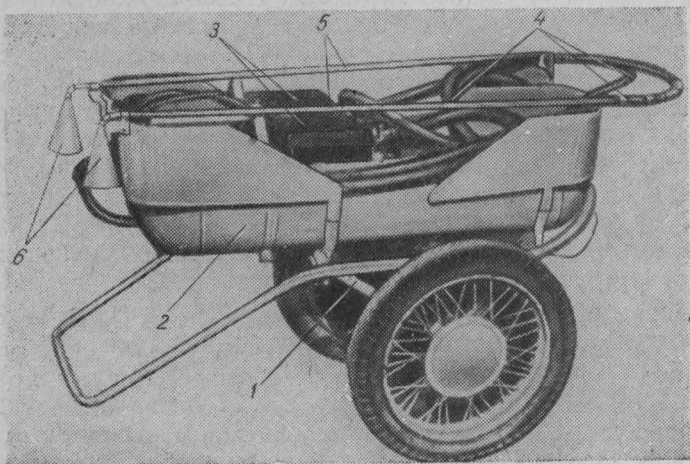


Рис. 5. Передвижной порошковый огнетушитель ОППС-100:

1 — тележка двухколесная; 2 — корпус 50-литрового баллона; 3 — баллон высокого давления; 4 — шланг дюритовый; 5 — удлинитель; 6 — насадок

чтобы передвижение огнетушителя, а также тушение пожаров в двух местах (на расстоянии до 40 м друг от друга), могли достаточно легко производить два человека. В случае крайней необходимости передвигать огнетушитель по полу помещения или по ровному грунту может один человек, при этом тушение производится поочередно из каждого баллона. Передвижной огнетушитель состоит из двухколесной тележки 1, на которой закреплены два 50-литровых корпуса 2, заполненных порошковым составом, с баллонами высокого давления 3. Порошок подается из корпуса по сифонной трубке, проходящей внутри него по оси, по дюритовому шлангу 4 длиной



20 м и удлинителю 5 с насадком 6. Оба корпуса, полностью изолированные друг от друга и работающие раздельно, имеют предохранительные клапаны.

В табл. 3 приводятся основные технические характеристики ручных и передвижного огнетушителей.

Испытания опытных образцов порошковых огнетушителей показали, что длительность выхода заряда из огнетушителя возрастает с уменьшением начального давления сжатого воздуха в баллоне. При этом уменьшается рабочее давление в тонкостенном корпусе огнетушителя, при котором выходит порошковый состав в смеси с воздухом. Расход воздуха на подачу единицы веса порошка повышается с увеличением начального давления в баллоне. Время выхода порошка существенно зависит даже от сравнительно небольшого изменения размеров и, особенно, от количества выпускных отверстий в днище насадка.

Следует указать, что, по американским данным, конструкция огнетушителя может считаться удачной, если остаток порошка в огнетушителе после выпуска не превышает 10% веса всего заряда. Испытания опытных образцов огнетушителей показали, что величина остатка порошка в огнетушителе после выпуска заряда колеблется в пределах 5—13%, причем нижний предел соответствует минимальной величине давления в баллоне. Средняя величина, близкая к 7—8%, показывает, что конструктивные элементы огнетушителя выбраны достаточно обоснованно. Эти опыты показали также, что наиболее выгодной формой днища с точки зрения уменьшения величины остатка порошка является сферическая.

При зарядке порошковых огнетушителей и их подготовке к работе необходимо соблюдать следующие требования:

1. Заряд засыпается в корпус огнетушителя почти до верха. Свободный объем в верхней части ручного огнетушителя должен быть в пределах 0,3—0,5 л, а в передвижном огнетушителе — до 1—1,5 л. При засыпке порошка в огнетушитель его следует несколько раз встряхнуть, чтобы порошок несколько уплотнился, однако его не следует утрамбовывать с целью увеличения веса заряда в огнетушителе.

2. Давление воздуха, которое проверяется по манометру, должно быть в пределах 100—150 кг/см<sup>2</sup>.

3. Пробка должна быть вставлена в колено трубки с продетым петлей тросиком (при отсутствии тросика пробка выбивается давлением сжатого газа через 25—50 сек. после открывания вентиля баллона высокого давления в зависимости от величины начального давления в нем).

Огнетушители должны находиться в тех помещениях, где применяются, подготавливаются к использованию, обезвреживаются или хранятся щелочные металлы (натрий и калий). Количество огнетушителей в помещении должно обеспечивать, наряду с другими средствами тушения (сода или графит в плотно закрытых ящиках).

Характеристика	Тип огнетушителя		
	ОПС-6	ОПС-10	ОППС-100
Емкость огнетушителя, л . . . . .	6	10	2 × 50
Вес огнетушителя с зарядом, кг . . . . .	10,7—12,2	14,5—17,5	190 — 220
Вес заряда, кг* . . . . .	4,5—6,2	7 — 10	70 — 100
Вес огнетушителя без заряда, кг . . . . .	6	7,5	120
Габаритные размеры, мм			
высота (наибольшая) . . . . .	1040	1070	1950**
ширина (наибольшая) . . . . .	242	264	800**
диаметр опорной юбки (для ручных огнетушителей) . . . . .	190	222	—
длина (для возимого огнетушителя) . . . . .	—	—	1200**
Емкость баллона высокого давления, л . . . . .	0,4	0,7	2×4,0
Пределы рабочих давлений в баллонах высокого давления, кг/см <sup>2</sup>			
верхний . . . . .	150	150	150
нижний . . . . .	100	100	100
Максимальное рабочее давление, на которое рассчитан предохранительный клапан, кг/см <sup>2</sup> . . . . .	10	10	9
Количество и диаметр выпускных отверстий насадков . . . . .	7×5,5 мм	7 × 5,5 мм	11 × 7 мм
Примерное время выхода заряда из огнетушителя, сек.			
минимальное (при давлении на верхнем пределе) . . . . .	40	45	150
максимальное (при давлении на нижнем пределе) . . . . .	70	80	200
Ориентировочные размеры поверхности горения, которая может быть потушена одним огнетушителем, и соответствующий вес натрия, м <sup>2</sup> /кг . . . . .	0,15/3	0,25/5	1—1,5/20—30
Размер удлинителя, м . . . . .	1	1	2
Диаметр отверстия для выхода газа из баллона, мм . . . . .	0,3	0,4	0,7

\* В зависимости от объемного веса заряда.

\*\* В рабочем положении.

возможность тушения пожаров того количества металлов, которое может быть охвачено пожаром в данном помещении.

Необходимо иметь в виду, что порошкообразная кальцинированная сода и ее смеси с небольшими добавками против слеживания пригодны и для тушения пожаров электрооборудования, горючих жидкостей и других веществ, поэтому специальные порошковые огнетушители для тушения щелочных металлов могут быть использованы также для тушения небольших пожаров обычного типа. Для тушения таких пожаров необходимо снять конический пустотелый насадок с отверстиями в днище, присоединенный к колену трубки на резьбе и подать струю порошка на пламя, стараясь сбить его. Следует учитывать, что подача порошка будет более интенсивной и в то же время более кратковременной, чем при подаче через насадок. Огнетушители следует хранить в сухих отапливаемых помещениях. При хранении их в сырых или холодных помещениях, а также на открытом воздухе, проверка зарядов огнетушителей на увлажнение и слеживаемость производится через каждые 3 месяца, а не через 6 месяцев, как для отапливаемых помещений.

При тушении пожаров щелочных металлов необходимо:

1) поднести ручной огнетушитель на расстояние 1,5—2 м, а передвижной подвести на расстояние не более 20 м к месту пожара и установить баллоны в вертикальном положении;

2) снять удлинитель с корпуса (при этом автоматически извлекается пробка);

3) взять удлинитель, открыть вентиль баллона высокого давления до отказа и сразу приблизиться к очагу огня, чтобы насадок доставал до пламени. Подача порошка начинается через 2—3 сек. после открывания вентиля ручного огнетушителя (для передвижного огнетушителя ввиду большой длины линии это время увеличивается до 12—18 сек). Для предупреждения расплескивания горящего расплавленного металла при подаче порошка необходимо держать насадок на высоте не менее 0,5 м над пламенем, перемещая насадок для покрытия поверхности ровным слоем. Места, где расплавленный металл пропитывает слой порошка, следует покрывать дополнительным количеством порошка для избежания возобновления горения;

4) при израсходовании запаса порошка в огнетушителе, что определяется по выходу остатка порошка в виде облака пыли с шумом, следует закрыть вентиль баллона. Выход порошка прекращается через несколько секунд после закрывания вентиля;

5) при ликвидации последствий пожара и удалении несгоревшего металла необходимо соблюдать осторожность для избежания повторного загорания. Целесообразно приступить к удалению металла после его застывания.

# ТУШЕНИЕ ПОЖАРОВ ДИЭТИЛОВОГО ЭФИРА ХИМИЧЕСКОЙ ПЕНОЙ

Павлов П. П., Селина В. Г., Гогельганс Р. Г.

За последнее время в отечественной промышленности нашел широкое применение технический диэтиловый (серный) эфир, получаемый на заводах синтетического каучука как побочный продукт производства этилового спирта.

Диэтиловый эфир является хорошим растворителем; используется при экстракции жиров, изготовлении коллодия, кинопленки, бездымного пороха и некоторых лекарств. Он имеет низкую температуру вспышки ( $-45^{\circ}$ ), вследствие чего представляет собой чрезвычайно огнеопасную жидкость. Пары диэтилового эфира в 2,5 раза тяжелее воздуха и могут растекаться на значительные расстояния.

Насыщенные пары диэтилового эфира имеют высокую упругость и сравнительно низкую температуру кипения ( $34,5^{\circ}$ ). Так, например: при  $0^{\circ}$  упругость паров составляет 184,9 мм рт. ст.; при  $20^{\circ}$  — 442,4 мм рт. ст.; при  $34,5^{\circ}$  — 760 мм рт. ст.; при  $50^{\circ}$  — 1276 мм рт. ст.

Высокая упругость паров диэтилового эфира при обычных температурах в значительной степени затрудняет процесс тушения его огнетушащими пенами. В пожарно-технической литературе имеются весьма противоречивые указания по тушению пожаров диэтилового эфира<sup>1-4</sup>. В одних источниках указывается, что диэтиловый эфир можно тушить химической пеной (однако рекомендация по расчетным параметрам тушения не приводится), а в других<sup>4</sup> отрицается эта возможность. Поэтому возникла необходимость проверить, возможно ли тушение диэтилового эфира химической пеной, а также установить оптимальную интенсивность подачи химической пены, при которой обеспечивается его тушение. С этой целью было проведено настоящее исследование тушения диэтилового эфира химической пеной и выработаны практические рекомендации.

Исследования по тушению диэтилового эфира проводились на резервуарах с зеркалом горения 10 и 40,6 м<sup>2</sup> и высотой борта резервуара 1,4 м. Диэтиловый эфир по качеству отвечал ВТУ ЛУ 17—56 и имел следующие физико-химические свойства, приведенные ниже.

Удельный вес при $20^{\circ}$ , г/см <sup>3</sup>	0.715—0.7258
Концентрация, %	87—92
Содержание спирта, %	до 5
Содержание высококипящих компонентов, %	до 2
Содержание влаги, %	до 7
Разгонка:	
фракция до $33^{\circ}$ , %	0
фракция от $33^{\circ}$ до $34,5^{\circ}$ , %	91
Коэффициент преломления при $20^{\circ}$	1,3575
Температура вспышки на аппарате ПВН, $^{\circ}\text{C}$	—45
Температура самовоспламенения методом «капли», $^{\circ}\text{C}$	183

Температурные пределы взрываемости, °С	
нижний	—45
верхний	+13
Концентрационные пределы взрываемости, объемные %	
нижний	2,74
верхний	44,3
Упругость насыщенных паров при 20°, мм рт. ст.	442,4

В качестве огнегасительного средства применялась химическая пена из обыкновенного пеногенераторного порошка ППП-1 (ГОСТ 7005—54). Пена получалась в пеногенераторах ПГ-15, ПГ-25 и подавалась по прорезиненным рукавам длиной 60 м, диаметром 63 мм через пенослив на горящую поверхность диэтилового эфира. Расход подаваемой пены измерялся объемным методом. Одновременно с подачей пены осуществлялось охлаждение стенок резервуаров при помощи водяных струй от 2—3 стволов литров А. Расход воды на охлаждение изменялся от 0,5 до 1,7 л/сек на 1 пог. м длины окружности резервуара.

Для установления оптимальной интенсивности подачи пены на тушение было проведено 17 опытов: из них 14 опытов проведены в резервуаре с зеркалом горения 10 м<sup>2</sup> при толщине слоя горючего от 70 до 330 мм и 3 опыта — в резервуаре с зеркалом горения 40,6 м<sup>2</sup> при толщине слоя горючего от 130 до 163 мм. Время свободного горения в опытах (время до подачи средств тушения) принималось от 3 до 36 мин. Опыты проводились при температуре воздуха от 5 до 13,6°, температуре эфира от —1 до +34,5°, скорости ветра от 1,4 до 7,2 м/сек, относительной влажности воздуха от 68 до 98%, барометрическом давлении 761,2—771,7 мм рт. ст.

Результаты исследований по тушению пожаров диэтилового эфира приведены в табл. 1.

Из приведенных в табл. 1 данных видно, что диэтиловый эфир успешно тушится химической пеной. При этом оптимальная интенсивность подачи пены, обеспечивающая тушение диэтилового эфира, составляет 0,7—0,75 л/сек·м<sup>2</sup> при времени тушения от 2 мин. 55 сек. до 11 мин. 32 сек. как в емкостях с зеркалом горения 10 м<sup>2</sup>, так и в емкостях с зеркалом горения 40,6 м<sup>2</sup>. При интенсивности подачи пены меньше 0,6 л/сек·м<sup>2</sup> тушение не обеспечивается.

Исследованиями<sup>5</sup> установлено, что технический диэтиловый эфир относится к разряду прогревающихся жидкостей. При горении его со свободной поверхности в резервуаре накапливается прогретый почти до температуры кипения слой диэтилового эфира, толщина которого с течением времени увеличивается (скорость прогрева диэтилового эфира равна 11,5—17,9 мм/мин, скорость выгорания — 2,05—6,30 мм/мин). Образование прогретого слоя затрудняет процесс тушения.

С этой точки зрения показательными являются опыты № 14 и № 15, в которых время свободного горения принималось от 28 до



Таблица 1

№№ опытов	Площадь резервуара, м <sup>2</sup>	Толщина слоя горючего, мм	Температура воздуха опыта, °С	Температура воздуха, °С	Скорость ветра, м/сек	Барометрическое давление, мм рт. ст.	Относительная влажность воздуха, %	Время свободного горения, мин.	Интенсивность подачи пены, л/сек·м <sup>2</sup>	Расход воды на охлаждение стенок резервуара, л/сек на 1 пог. м	Время тушения, мин.	Результат опыта
1	10	100	1	6,5	3,8	766,7	78	3'00"	3,4	1,06	4'43"	Потушено
2	10	122	6	10,2	5,0	765	82	3'40"	1,4	—	2'06"	Потушено
3	10	—	—	10,2	5,0	765	82	3'00"	1,24	1,47	1'25"	Потушено
4	10	118	—	10,2	7,2	765	—	4'09"	0,84	1,18	2'00"	Потушено
5	10	83	—	10,2	7,2	765	—	4'28"	0,6	1,25	3'11"	Потушено
6	10	70	—	11,4	1,4	771,7	98	3'00"	0,46	1,7	3'25"	Не потушено
7	10	—	—	11,4	1,4	771,7	98	3'48"	0,7	1,7	3'59"	Потушено
8	10	123	—	12,3	—	—	—	3'00"	0,53	1,4	4'05"	Не потушено
9	10	—	—	12,3	—	—	—	12'32"	0,7	1,4	2'55"	Потушено
10	10	118	—	13,6	4,0	—	76	3'00"	0,6	0,5—1,4	4'09"	Не потушено
11	10	—	—	13,6	4,0	—	76	3'49"	0,6	1,4	10'32"	Потушено
12	10	—	—	13,6	4,0	—	76	3'00"	0,7	1,38	2'55"	Потушено
13	40,6	163	—1	12	5,7	761,2	68	5'58"	0,74	0,85	11'32"	Потушено
14	10	300	34,5	5	1,8	770,3	76	2'25"	0,75	0,8	10'30"	Потушено
15	10	330	34,5	8	4,4	774,5	64	36'20"	0,71	1,6	19'45"	Потушено
16	40,6	130	0	6,2	2,4	771,4	73	5'22"	0,74	0,85	8'27"	Потушено
17	40,6	—	—	6,2	2,4	771,4	73	6'15"	0,76	0,85	2'58"	Потушено

36 мин. В этих опытах весь диэтиловый эфир (толщиной 300—330 мм) к моменту подачи средств тушения оказывался прогретым до температуры кипения ( $34,5^{\circ}$ ) и, несмотря на такие жесткие тепловые условия, тушение достигалось при той же оптимальной интенсивности подачи пены ( $0,7—0,75 \text{ л/сек} \cdot \text{м}^2$ ), но при более продолжительном времени тушения (около 20 мин.).

Следует отметить, что наряду с высокой упругостью насыщенных паров диэтиловый эфир имеет сравнительно низкую температуру самовоспламенения ( $180^{\circ}$ ). Поэтому охлаждение стенок резервуара оказывает большое влияние на процесс тушения диэтилового эфира, так как способствует уменьшению упругости паров диэтилового эфира и исключает возможность его повторного воспламенения. В наших опытах оптимальный расход воды на охлаждение металлических стенок резервуара, при котором обеспечивалось тушение диэтилового эфира, составлял  $0,8—0,85 \text{ л/сек}$  на 1 пог. м длины окружности резервуара.

Характерным является опыт № 10, когда после 3-минутного горения со свободной поверхности была подана химическая пена с интенсивностью подачи  $0,6 \text{ л/сек} \cdot \text{м}^2$ , при этом начальный расход воды на охлаждение стенок составлял  $0,5 \text{ л/сек}$  на 1 пог. м длины окружности резервуара. Учитывая, что химическая пена сильно разрушалась у стенок резервуара, расход воды на охлаждение стенок после 2 мин. тушения был увеличен до  $1,4 \text{ л/сек}$  на 1 пог. м длины окружности резервуара. Несмотря на повышенный расход воды на охлаждение стенок резервуара, тушение диэтилового эфира в этом опыте не было достигнуто, хотя та же интенсивность  $0,6 \text{ л/сек} \cdot \text{м}^2$  при расходе воды  $1,25 \text{ л/сек}$  на 1 пог. м длины окружности резервуара, поданного на охлаждение с самого начала тушения в опыте № 5, обеспечивала тушение.

Очевидно, для успешного тушения диэтилового эфира химической пеной требуется несколько больший расход воды на охлаждение стенок металлического резервуара по сравнению с нормативным<sup>6</sup> для нефтепродуктов с температурой вспышки ниже  $28^{\circ}$ .

Для практических целей в табл. 2 приведен расчет средств тушения горящего диэтилового эфира в стандартном резервуаре.

## Выводы

1. Исследованиями установлена практическая возможность тушения пожаров диэтилового эфира в резервуарах при помощи химической пены.

2. В качестве практической нормы для расчета средств тушения химической пеной, полученной из пеногенераторного порошка ПГП-1, можно рекомендовать интенсивность подачи пены  $0,75 \text{ л/сек} \cdot \text{м}^2$ , как это принято для нефтепродуктов с температурой вспышки ниже  $28^{\circ}$ .

Марка резервуара и емкость, м³	Размеры резервуара				Интенсивность подачи пенн, л/сек·м²	Минимально необходимый расход пенн, л/сек	Количество пеногенераторов ПГ-25 для тушения	Расход			
	диаметр, м	высота, м	набольшая площадь зепкара горючего, м²	длина окружности или периметр, м				пенн, л/сек	пенопорошка ПП-1, кг/сек	волян на тушение, л/сек	волян на охлаждение стенон резервуара, л/сек
Клепаные ОСТ-5125	2,630	2,094	5,42	8,26	0,75	4,07	1	25	0,6	5,0	7,02
	3,244	2,792	8,25	10,19	0,75	6,19	1	25	0,6	5,0	8,66
	3,950	3,440	12,24	12,40	0,75	9,18	1	25	0,6	5,0	10,54
	4,350	4,163	14,85	13,66	0,75	11,14	1	25	0,6	5,0	11,61
	5,267	4,828	21,80	16,54	0,75	16,35	1	25	0,6	5,0	14,06
ГОСТ 793—44 (плоские днища)	1,705	4,140	7,06	11,690	0,75	5,30	1	25	0,6	5,0	9,8
	2,200	2,800	6,16	10,000	0,75	4,62	1	25	0,6	5,0	8,5
	2,400	5,510	13,22	15,820	0,75	9,92	1	25	0,6	5,0	13,3
	2,600	8,850	20,01	23,900	0,75	17,26	1	25	0,6	5,0	20,3
	1,705	4,940	7,16	13,390	0,75	5,37	1	25	0,6	5,0	11,380
(сферические днища)	1,200	3,900	8,58	12,220	0,75	6,44	1	25	0,6	5,0	10,34
	2,400	6,710	16,10	18,220	0,75	12,07	1	25	0,6	5,0	15,45
	2,600	10,010	26,02	25,220	0,75	19,52	1	25	0,6	5,0	21,5
	1,705	4,940	7,16	13,390	0,75	5,37	1	25	0,6	5,0	11,380

3. Расчетное время тушения пожара диэтилового эфира можно принять равным 2,5 мин. при 3-кратном запасе пеногенераторного порошка.

4. На процесс тушения горящего диэтилового эфира существенное влияние оказывает охлаждение металлических стенок резервуара водой. Расход воды на охлаждение необходимо принимать порядка 0,85 л/сек на 1 пог. м периметра резервуара.

Для практических целей в таблице 2 приведен расчет средств тушения горящего диэтилового эфира в стандартных резервуарах.

### ЛИТЕРАТУРА

1. В. В. Бахшицкий, Противопожарная профилактика на химических предприятиях, Госхимиздат, 1954.
2. П. Т. Безуглов, Справочник-словарь по противопожарным мероприятиям при добыче, переработке, хранении и применении огнеопасных жидкостей и газов, Гостопиздат, 1947.
3. М. Г. Годжелло и др., Легковоспламеняющиеся горючие жидкости, Справочник, Изд. МКХ РСФСР, 1956.
4. П. П. Павлов и А. М. Хованова, Горение синтетического диэтилового эфира со свободной поверхности в резервуарах, Информационный сборник ЦНИИПО, Изд. МКХ РСФСР, 1957.

## ТУШЕНИЕ ПОЖАРОВ РЕЗИНЫ, КАУЧУКА И ТРИАЦЕТАТНОЙ КИНОПЛЕНКИ

*Антонов Н. М., Лабеев Н. Ф., Сучков А. А.*

Трудности тушения пожаров резины, синтетического и натурального каучука и изделий из них обусловлены особенностями горения этих материалов. При их горении возникают высокие температуры, достигающие 1200°, и выделяется большое количество тепла — более 10 000 ккал/кг. Кроме того, образуется значительное количество газообразных продуктов и несгоревших твердых частиц в виде густого черного дыма (см. рис. 1).

При хранении резины, каучука и изделий из них в штабелях с воздушными прослойками в случае возникновения пожара огонь легко проникает внутрь штабелей, горение происходит на большой поверхности и условия для тушения еще более усложняются.

До последнего времени у нас и за рубежом отсутствовали достаточно полные данные о средствах и способах тушения таких пожаров. Это приводило к тому, что пожары указанных материалов в большинстве случаев принимали значительные размеры.

В 1957—58 гг. были проведены экспериментальные исследования по выбору наиболее эффективных средств тушения пожаров, резины, каучука и триацетатной пленки.

Приведенные в настоящей статье данные относятся к пожарам в помещениях с достаточным доступом воздуха в зону горения (площадь открытых проемов составляла 0,15 площади пола помещения).

В качестве огнегасительных средств применялись вода, водные растворы смачивателей («ДБ» и керосинового контакта) и пенообразователей («ПО-1» и «ПО-6»).

Смачиватели добавлялись к воде в следующих количествах: «ДБ» — 2%, керосиновый контакт — 4%, пенообразователи — в количестве 4%. Добавка смачивателей снижала поверхностное натяжение воды (примерно с 72 до 30 эрг) и повышала тем самым эффективность ее огнегасительного действия за счет лучшего проникновения воды в глубь горящего материала.

Добавка к воде пенообразователей позволяла получать большое количество пены, которая при тушении пожара оказывает двойное действие: сначала пена покрывает горящий предмет, как бы изолируя его от окружающей среды, затем в результате разрушения ее образуется жидкая пленка, смачивающая горящий предмет.

В результате опытов были получены следующие данные.

1. Интенсивность подачи огнегасительных средств. Величины интенсивности подачи огнегасительных средств являются одними из основных и сходных параметров, обеспечивающих успешное пожаротушение. Кроме того, знание их необходимо для корректирования норм противопожарного водоснабжения, а также для проектирования пожарной техники.

На графике (рис. 2) представлена кривая, характеризующая зависимость величины времени тушения пожара  $t$  от интенсивности подачи огнегасительных средств  $I$ . Эта зависимость получена экспериментально при тушении пожаров автомобильных шин водой, поданной с помощью ручного пожарного ствола или через стационарно установленные в помещении дренчеры. Загруженная шинами

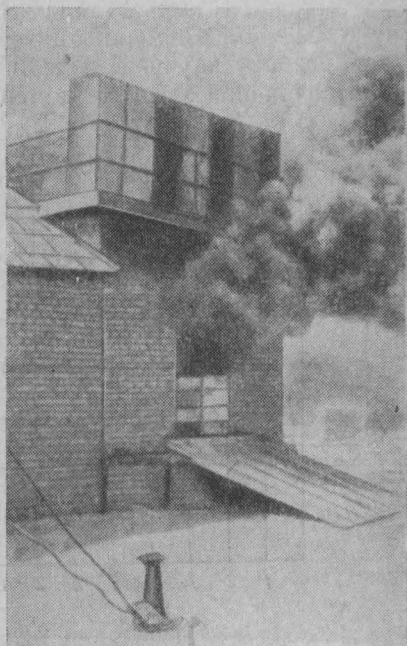


Рис. 1



площадь пола опытной установки была равна  $10 \text{ м}^2$ , а удельная нагрузка  $P$  принималась постоянной и составляла  $50 \text{ кг/м}^2$ .

Из проведенных исследований по тушению пожаров твердых и жидких горючих веществ можно сделать вывод, что наиболее целесообразные с технико-экономической точки зрения величины интенсивности подачи огнегасительных средств (воды или водных растворов со смачивателями) находятся в пределах  $0,35 \geq I \geq 0,06 \text{ л/сек} \cdot \text{м}^2$ . Величины интенсивности в этих пределах достаточны для резины, каучука, изделий из них и триацетатной киноплёнки при различной загрузке помещения.

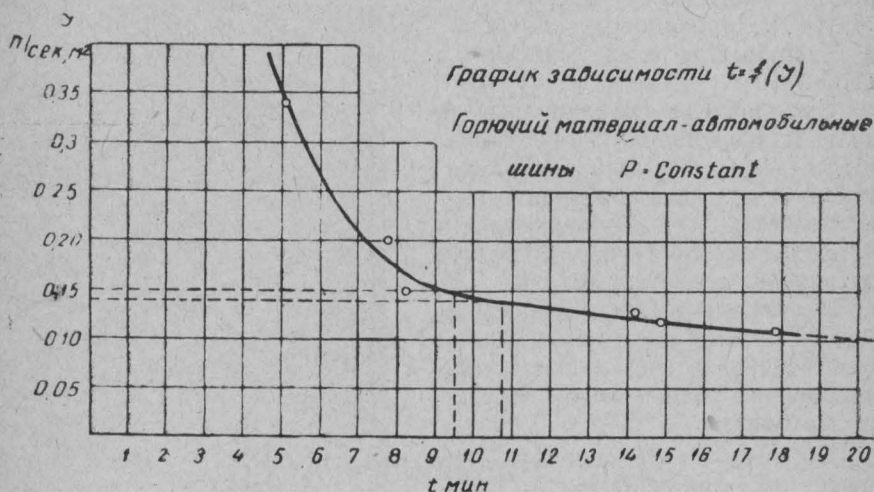


Рис. 2

Следует иметь в виду, что при принятой постоянной величине интенсивности подачи огнегасительных средств, но при различной удельной нагрузке горючего материала необходимое время тушения пожара будет также различным.

Путем математической обработки кривой  $t = f(I)$ , показанной на рис. 2, получаем формулу

$$t = \left( \frac{5,2}{I - 0,05} \right)^{0,578} \quad (1)$$

Зная интенсивность подачи огнегасительного средства, по этой формуле можно, в первом приближении, рассчитать время тушения пожара.

Трансформируя формулу (1) по отношению к  $I$  получаем:

$$I = \frac{5,2}{t^{1,73}} + 0,05 \quad (2)$$

По этой формуле, задавшись временем тушения, можно рассчитать интенсивность подачи огнегасительного средства в  $\text{л/сек} \cdot \text{м}^2$ .

2. Время, необходимое для тушения пожара. Время, необходимое для полного тушения пожаров резины, каучука, изделий из них и триацетатной киноплёнки, складывается из времени, потребного на локализацию и затем на дотушивание пожара. По абсолютной величине оно является расчетным временем, которое должно быть положено в основу для определения мощности водопитателя, при принятой величине интенсивности подачи огнегасительных средств.

Принятое расчетное время в ряде случаев может быть меньше потребного для ликвидации пожара, так как оно не включает времени, необходимого для разбора горевшего материала, различных предметов и строительных конструкций помещения.

На графике (рис. 3) приведена кривая, характеризующая зависимость необходимого времени тушения от величины удельной за-

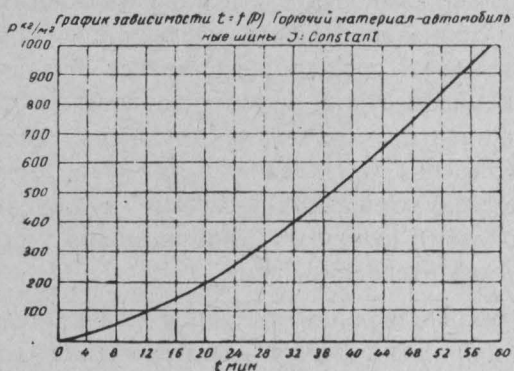


Рис. 3

грузки. Данная кривая получена при тушении пожаров автомобильных шин водой, подаваемой с помощью ручного пожарного ствола или через стационарно установленные в опытном помещении дренажные отверстия. Интенсивность подачи воды при этом была постоянной и составляла  $0,14 \text{ л/сек} \cdot \text{м}^2$ . При данной интенсивности, зная величину удельной загрузки резины или каучука, необходимое время тушения пожара можно определить по формуле, полученной путем математической обработки кривой  $t = f(p)$ , показанной на рис. 3.

$$t = 0,58 \sqrt[3]{p^2}. \quad (3)$$

3. Способы подачи огнегасительных средств. Из опыта тушения пожаров известно, что в зависимости от способа подачи огнегасительных средств на горящий объект степень

его огнегасящей эффективности может быть различной. Если, например, пожар резины или каучука вступил в стадию пламенного горения, то в этом случае более эффективно тушение происходит при применении капельных и особенно туманообразных водяных струй. Значительная часть поданной воды при этом обращается в пар, происходит охлаждение горящих резины или каучука и снижение содержания кислорода в зоне горения.

Следует заметить, что эффективное тушение пожара происходит, когда капельные и туманообразные водяные струи подаются равномерно по всей площади горения материала. Если горение резины или каучука происходит в виде тления, то наиболее эффективное тушение, при прочих равных условиях, достигается при подаче воды в виде цельных (компактных) струй.

Полное тушение развившегося пожара указанных материалов при штабельном хранении больших партий при любых способах подачи огнегасительных средств представляет большие трудности. После того, как пламя сбито, а горящие поверхности охлаждены водой, могут оставаться отдельные труднодоступные в глубине штабелей очаги горения или тления. В связи с этим необходимо производить разборку отдельных участков и дальнейшее их доушивание (проливку) цельными (компактными) струями с небольшими (1 л/сек) расходами воды.

При использовании водных растворов смачивателей или пенообразователей для дозирования — подсасывания последних могут быть применены существующие стационарные или переносные пеносмесители.

В качестве противопожарных мероприятий в складских и промышленных помещениях со значительными количествами каучука, резины и изделий из них целесообразно устраивать водооросительные (спринклерные или дренчерные) системы. В зависимости от местных условий (большие площади помещения, маломощные водоисточники и др.) может быть принято сплошное спринклерование помещения или устройство отдельных водозаградительных зон с установкой открытых водооросительных систем (дренчеров).

Рекомендуемые данные по интенсивности ( $I$ ) и способам подачи огнегасительных средств, а также расчетное время тушения ( $t$ ) пожаров резины, каучука, изделий из них и триацетатной киноплёнки приведены в таблице .

Горючий материал	Огнегасительное средство	Вид струи	Стационарные устройства		Ручные пожарные стволы	
			$I, л/сек \cdot м^2$	$t, мин.$	$I, л/сек \cdot м^2$	$t, мин.$
Резина или технический и натуральный каучук и изделия из них То же » » »	Вода	Капельная	0,1—0,14	до 60	0,1—0,14	до 60
	Вода со смазчиком или пенообразователем	»	0,1—0,14	до 50	0,1—0,14	до 50
	Вода	Цельная	—	—	0,14	до 16
	Вода со смазчиком или пенообразователем	»	—	—	0,14	до 50
	Вода	Туманообразная	0,08—0,10	до 30	0,08—0,10	до 30
Триацетатная кино- пленка То же	»	Капельная	0,06—0,08	до 30	0,06—0,08	до 30
	»	Цельная	—	—	0,08	до 30

## ХИМИЧЕСКИЙ ПЕННЫЙ ОГНЕТУШИТЕЛЬ ОП-5

*Кучер В. М.*

В настоящее время взамен огнетушителя ОП-3 промышленностью изготавливается огнетушитель ОП-5. Огнетушитель ОП-5 имеет сравнительно небольшой вес. Будучи приведен в действие, огнетушитель дает большое количество густой пены, способной тушить начальные пожары как твердых материалов, так и легковоспламеняющихся и горючих жидкостей. По сравнению с огнетушителем ОП-3 огнетушитель ОП-5 имеет следующие преимущества (см. рисунок).

1. Легкобьющиеся стеклянные колбы заменены кислотным стаканом многократного действия с устройством клапанного типа для герметичного закрывания стакана, благодаря чему исключается бой колб при эксплуатации огнетушителей и засорение spryska осколками стекла при действии огнетушителя. Клапан плотно закрывает стакан и позволяет ставить огнетушители на автомобилях и другом транспорте.

2. Выход пены (производительность) огнетушителя повышен на 25% при одновременном снижении расхода компонентов заряда на 25%.

3. Благодаря расположению spryska на горловине и увеличению его диаметра с 4 до 4,7 мм, обеспечена равномерная работа огнетушителя на протяжении всего времени его действия.

4. Вследствие применения кислотной и щелочной частей заряда в сухом виде значительно облегчены хранение и транспортировка зарядов.

5. За счет уменьшения диаметра горловины с 89 до 72 мм и увеличения высоты резьбы с 16 до 21 мм повышена надежность соединения крышки с корпусом огнетушителя.

С целью повышения срока службы огнетушителей, в соответствии с ГОСТ 182—60, внутренняя поверхность огнетушителя ОП-5 должна покрываться двумя слоями эпоксидной эмали марки ЭП-4171, причем перед нанесением покрытия поверхность фосфатируется или пассивируется.

Наружная поверхность огнетушителя также фосфатируется или пассивируется и окрашивается в красный цвет.

Для исключения засорения spryska при эксплуатации и разлива щелочного раствора при переноске или случайном наклоне огнетушителя sprysk нового огнетушителя оборудуется мембраной, которая разрывается после приведения огнетушителя в действие при давлении 0,8—1,5 кг/см<sup>2</sup>.

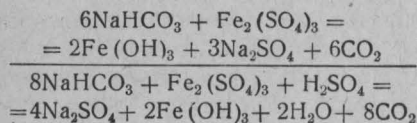
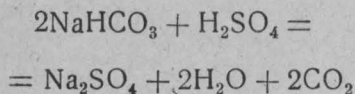
В связи с применением высококачественного антикоррозийного покрытия и надежного резьбового соединения в новом огнетушителе исключен предохранитель.



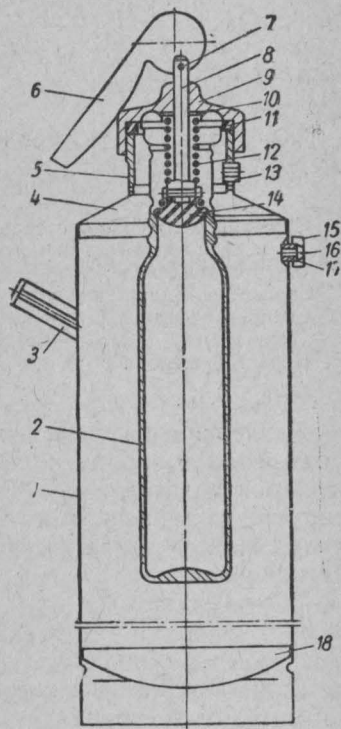
## Основные параметры огнетушителя:

Наибольшая высота, мм . . . . .	745
Наибольшая ширина, мм . . . . .	195
Полезная емкость корпуса, л . . . . .	8,7
Полезная емкость кислотного стакана, л . . . . .	0,45
Выход пены, л . . . . .	50—55
Время действия, сек . . . . .	60±5
Длина струи пены, м . . . . .	6—8
Вес (без заряда), кг . . . . .	не более 4,5
Вес с зарядом, кг . . . . .	около 14

Принцип действия огнетушителя основан на взаимодействии двух растворов (кислотного и щелочного) после переворачивания огнетушителя, в результате чего образуется углекислый газ, интенсивно перемешивающий раствор. Благодаря присутствию солодкового экстракта и образующейся в результате реакции гидроокиси железа получается густая устойчивая пена. Реакция протекает по следующим уравнениям:



Кислотная часть сухих зарядов иностранных фирм состоит либо из сернокислого алюминия, либо из сернокислого железа. Недостатком таких зарядов является то, что при их применении огнетушители могут удовлетворительно работать только при температурах свыше 10°. Применение в кислотной части заряда ОП-5 до 30% (по весу) серной кислоты обеспечивает нормальную работу огнетушителя при температурах до 0°.



Общий вид огнетушителя в разрезе:

1 — корпус; 2 — кислотный стакан; 3 — ручка; 4 — переходник горловины; 5 — горловина; 6 — рукоятка; 7 — штифт; 8 — шток; 9 — крышка; 10 — уплотняющая прокладка штока; 11 — резиновые прокладки (2 шт.); 12 — пружина; 13 — спрыск; 14 — клапан; 15 — накидная гайка; 16 — мембрана; 17 — штуцер предохранителя; 18 — дно

## Заряд огнетушителя и способ его применения

Заряд огнетушителя состоит из двух частей — щелочной и кислотной.

Щелочная часть заряда представляет собой однородный порошок коричневого цвета. Состоит из 400 г бикарбоната натрия (ГОСТ 2156—52), обработанного 50 г солодкового экстракта (ТУ МПП 477—52). Указанные количества компонентов приведены в пересчете на сухое вещество. Щелочная часть заряда может содержать переменное количество гигроскопической влаги, поэтому вес ее колеблется от 450 до 530 г. Транспортируется щелочная часть заряда в картонных коробках.

В огнетушителе ОП-3 вместо солодкового экстракта применялись различные стабилизаторы пены (порошок солодкового корня, пенообразователь ПО-6, экстракт торфяной вытяжки и др.). Практика показала, что в этих случаях качество пены снижалось, поэтому использование их в заряде огнетушителя ОП-5 не рекомендуется.

Кислотная часть заряда состоит из смеси сернокислого окисного железа и серной кислоты и имеет следующий состав:

Суммарное содержание свободной серной кислоты и сернокислого окисного железа, г . . . . .	270±10
В том числе:	
Свободная серная кислота, г . . . . .	не менее 120
Сернокислое окисное железо, г . . . . .	не менее 115
Сернокислое закисное железо, % . . . . .	не более 2
Нерастворимые в горячей воде примеси, % . . . . .	не более 7

В зависимости от количества гигроскопической влаги вес кислотной части заряда колеблется от 330 до 400 г.

Производится кислотная часть заряда в сухом виде; транспортируется в мешочках из кислотостойкого пластика (полиэтилен и др.) или в стеклянных банках с герметически закрывающейся крышкой.

### Зарядка огнетушителя

Для зарядки огнетушителя необходимо.

1. Вскрыть коробку со щелочной частью заряда и высыпать содержимое в чистый сосуд (ведро, или стеклянную бутылку) емкостью не менее 10 л, налить в него 8,5 л чистой воды при температуре 15—30° (не выше) и перемешать до полного растворения комков. Отвернув крышку и вынув кислотный стакан, залить через воронку с мелкой сеткой приготовленный раствор (8,7—8,8 л) в огнетушитель.

Рекомендуется заливать поверх щелочного раствора 50 см<sup>3</sup> какого-нибудь технического жидкого масла, например, машинного. Слой масла уменьшает коррозию огнетушителя на границе воз-

дух—раствор и препятствует испарению воды (на процесс пенообразования масло не влияет).

2. Кислотную часть заряда высыпать из пластикового мешочка (или стеклянной банки) в чистую кислотостойкую (эмалированную) емкость объемом не менее 0,5 л с отметкой уровня на 450 см<sup>3</sup>, долить чистой воды с температурой 80—100° до этой отметки и тщательно перемешать смесь стеклянной (или деревянной) палочкой до полного растворения комков. После охлаждения раствора до температуры ниже 30° заполняют им кислотный стакан огнетушителя через воронку с сеткой (диаметр отверстий не более 2 мм). Наличие в растворе мелкодисперсных нерастворимых примесей допустимо, так как они не влияют на работу огнетушителя и в то же время повышают качество пены.

При массовой зарядке огнетушителей рекомендуется производить растворение кислотной части заряда в общей емкости соответствующего объема (из расчета 450 см<sup>3</sup> готового раствора на один заряд). Удельный вес приготовленного раствора кислотной части — 1,42—1,50 г/см<sup>3</sup>.

Приготовление раствора кислотной части требует соблюдения мер предосторожности. Если брызги раствора попадут на незащищенную часть тела или одежду, эти места необходимо сразу же промыть водой.

При отсутствии зарядов ОП-5 для зарядки можно использовать заряд огнетушителя ОП-3.

Щелочную часть этого заряда растворяют в 8,5 л воды с температурой 15—30° и через воронку с сеткой заливают в баллон огнетушителя ОП-5.

Кислотная часть заряда ОП-3 транспортируется в двух стеклянных колбах. В одной из них содержится раствор серной кислоты (уд. в. 1,65 г/см<sup>3</sup>) а в другой — водный раствор сернокислого окисного железа (уд. в. 1,42 г/см<sup>3</sup>) или же раствор хлорного железа (уд. в. 1,30—1,50 г/см<sup>3</sup>).

Кислотную часть заряда, содержащую раствор сернокислого глинозема (ОСТ 18180—40, уд. в. 1,32), который допущен в виде исключения в зарядах огнетушителя ОП-3, в огнетушителе ОП-5 применять нельзя, так как при смешивании этого раствора с серной кислотой полностью выпадает в осадок сернокислый алюминий (высаливается серной кислотой). Отличить раствор сернокислого глинозема от растворов сернокислого окисного или хлорного железа можно по цвету: первый бесцветный, а второй темно-коричневый, кроме того, в местах запайки колбы имеется красноватый налет (на колбе с сернокислым глиноземом налета нет).

Перед зарядкой огнетушителя ОП-5 кислотной смесью ОП-3 в отдельную емкость объемом не менее 600 см<sup>3</sup> наливают 180 см<sup>3</sup> чистой воды (для предупреждения высаливания сернокислого окисного железа). Затем разбивают осторожно колбы сверху и сливают растворы в емкость. Объем полученного раствора — 550 см<sup>3</sup>. В кислотный стакан заливают 450 см<sup>3</sup> полученного раствора.

Приготовленный таким образом раствор устойчив при длительной эксплуатации, если кислотная часть заряда ОП-3 изготовлена в соответствии с требованиями ГОСТ 182—53. Но так как на практике возможны отклонения от стандарта (повышенный удельный вес раствора сернокислого или хлорного железа, присутствие сверх нормы двухвалентного железа и др.), перед зарядкой огнетушителя ОП-5 необходимо проверить устойчивость смешанного раствора. Для этого приготовленный раствор отстаивают в прохладном месте сутки. Если в течение суток осадок не образуется, то раствор можно использовать для зарядки огнетушителя ОП-5.

Заполнив огнетушитель растворами, смазывают техническим вазелином резьбу на крышке и горловине и, повернув рукоятку, поднимают клапан, сжимающий пружину. Затем навинчивают крышку, подтягивают ее ключом и поворачивают рукоятку клапана в исходное положение. При этом резиновый клапан должен герметично закрывать кислотный стакан.

Плотность прилегания клапана надо проверить: при герметично закрытом стакане между эксцентриком рукоятки и выступом крышки (под ключ) образуется зазор в  $5 \div 10$  мм.

Если стакан в заряженном огнетушителе окажется незакрытым, то из кислотного раствора может испаряться вода, что приведет к выпадению в осадок сернокислого окисного железа. При этом эффективность работы огнетушителя будет снижаться, а в некоторых случаях огнетушитель не даст пены.

Огнетушители с описанными выше зарядами могут нормально работать только при положительных температурах. При эксплуатации в зимних условиях на открытом воздухе или в неотапливаемых помещениях огнетушители следует заряжать морозоустойчивым зарядом, содержащим этиленгликоль или глицерин. Например, чтобы понизить температуру замерзания заряда до  $-20^\circ$ , его приготавливают следующим образом.

Растворив щелочную часть заряда в 5,5 л воды при температуре  $30-35^\circ$ , фильтруют раствор, добавляют к нему 3 л этиленгликоля и после перемешивания заливают в огнетушитель.

В качестве кислотной части заряда используют  $320 \text{ см}^3$  серной кислоты удельного веса  $1,42 \text{ г/см}^3$ . Воду к кислоте добавлять не следует, так как при разбавлении повышается температура замерзания раствора.

Не разрешается также применять для получения морозоустойчивых растворов минеральные соли (поваренную, хлористый кальций и т. п.), поскольку это приводит к интенсивной коррозии корпуса огнетушителя и снижает выход пены вследствие высаливания бикарбоната натрия.

### Приведение огнетушителя в действие

Для приведения огнетушителя в действие необходимо:

- 1) поднести огнетушитель к месту пожара;

2) повернуть рукоятку клапана (расположена на крышке) в вертикальной плоскости на 180°; при этом поднимается клапан, закрывающий кислотный стакан;

3) перевернув огнетушитель вверх дном и слегка встряхнув, направить струю пены в огонь.

При тушении твердых материалов струя должна попадать непосредственно на горящий предмет.

При тушении легковоспламеняющихся и горючих жидкостей в открытых сосудах необходимо направлять струю пены в противоположный борт непосредственно над уровнем жидкости, чтобы пена плавно стекала и покрывала горящую поверхность, не перемешивая жидкость. Ни в коем случае нельзя направлять струю пены на горящую поверхность, так как в этом случае жидкость будет разбрызгиваться, а пожар усиливаться.

Жидкости, разлитые на грунте, тушат, последовательно покрывая пеной горящую поверхность. Начинать тушение следует с наветренной стороны.

Химическая пена является проводником тока, поэтому применять огнетушитель ОП-5 для тушения электроустановок, находящихся под напряжением, *запрещается*.

### Перезарядка огнетушителя

Продукты реакции и остатки кислоты вызывают коррозию корпуса огнетушителя, поэтому после использования огнетушитель следует как можно быстрее промыть водой. Для этого огнетушитель необходимо положить так, чтобы крышка находилась справа. Затем прочищают проволокой спрыск, чтобы убедиться в отсутствии давления в корпусе, отвинчивают крышку и вынимают кислотный стакан. Тщательно промыв внутреннюю поверхность корпуса, держатель со стаканом и крышку, огнетушитель отправляют на зарядку.

\* \* \*

Огнетушители ОП-5 с завода-изготовителя транспортируются в решетчатых деревянных ящиках в укомплектованном виде. В каждом ящике имеется ключ и паспорт-инструкция.

### ОГНЕЗАЩИТНЫЕ КРАСКИ

*Тaubкин С. И., Колганова М. Н.*

Известны покрытия для защиты древесины от огня, сохраняющие огнезащитные свойства после действия воды; к ним относятся краски ПХВО, ПХВ-А, ХЛ, а также краска на основе латекса СВХ. В настоящее время разработан ряд новых составов и, в частности, водостойкое покрытие ФАМ и атмосфероустойчивая краска МХС.



## 1. Водостойкое покрытие ФАМ

Исходя из перспектив развития химической промышленности, выявлена возможность получения покрытий на основе фурановых соединений. Наиболее доступным и дешевым представителем этого вида соединений является фурфурол. Для получения фурфурола в качестве сырья используются различные отходы сельского хозяйства (подсолнечная лузга, кукурузные початки, овсяная шелуха, картофельная ботва и т. д.) и лесохимической промышленности, что позволяет, в связи с простотой технологии производства, вырабатывать фурфурол практически повсеместно и в неограниченных количествах. Фурфурол широко применяется в нефтяной, лесохимической и масложировой промышленности в качестве растворителя, но главная его масса используется в настоящее время в производстве искусственных смол. Смолы на основе фурфурола представляют интерес для целей огнезащиты, так как их образование происходит в присутствии кислых катализаторов, способствующих получению негорючих соединений. Помимо этого, кольчатая структура фурфурольных смол менее подвержена воспламенению, чем целлюлозные материалы, имеющие структуру с открытой цепью.

В результате проведенной исследовательской работы было получено покрытие ФАМ, огнезащитные свойства которого сохраняются после действия воды. Огнезащитный водостойкий состав ФАМ представляет собой сочетание фурфурол-ацетоновой и мочевино-формальдегидной смол в растворе ацетона, к которому добавлен кислый катализатор; предназначается для огнезащитной окраски деревянных конструктивных элементов, древесно-волокистых и древесно-стружечных плит, эксплуатируемых в условиях повышенной влажности воздуха. Может использоваться в качестве грунта для перхлорвиниловых красок и красок СВХ.

### 1. Рецепттура ФАМ

Наименование компонентов	Соотношение компонентов, % (весовые)	Расход компонентов для окраски 1 м <sup>2</sup> окрашиваемой поверхности, г
Мономер ФА кислый ВТУ 11—56—57 . . . . .	54,2	162,6
Бензосульфокислота (92%) ТУ 307—54 . . . . .	8,7	26,1
Ацетон, ГОСТ 2768—44 . . . . .	8,7	26,1
Смола МФ-К . . . . .	28,4	85,2
Итого	100,0	300,0

Наименование компонентов	Соотношение компонентов, % весовые	Расход компонентов для окраски 1 м, окрашиваемой поверхности, г
Состав смолы МФ-К		
Моноаммоний фосфат . . . . .	45,8	
Мочевина . . . . .	18,5	
Формалин 30% . . . . .	35,7	
Итого	100,0	

## 2. Технология приготовления

а) Покрытие ФАМ. К расчетному количеству кислого мономера добавляется смола МФ-К при тщательном перемешивании. После этого добавляется ацетоновый раствор бензосульфокислоты концентрации 46,2% (по весу). Состав наносится на древесину через 8—10 часов после приготовления и выдерживания при комнатной температуре. Срок годности готового состава — 24 часа.

б) Смола МФ-К. В медную емкость, снабженную мешалкой, загружают, согласно рецептуре, мочевины и формалин, перемешивают до растворения мочевины и добавляют постепенно при перемешивании моноаммоний фосфат. Полученную смесь выливают на противни (под вытяжным устройством) и оставляют на сутки до полного затвердения раствора.

Твердая масса подсушивается при температуре 40—60° до состояния, при котором продукт легко измельчается и просеивается через сито № 35 (1225 отверстий на 1 см<sup>2</sup>).

## 3. Технические условия на покрытие ФАМ

- 1) Цвет — черный.
- 2) Вязкость по вискозиметру ВЗ-4 при 20°8'56".
- 3) Практическое высыхание при 20° — 72 часа.
- 4) Эластичность пленки по шкале НИИЛК через 5 суток после нанесения — 1 мм.
- 5) Прочность на удар пленки краски, нанесенной на металлическую пластинку (черной жести) и высушенной при 20° в течение 5 суток, — 15 кг/см.

6) Прочность прилипания пленки покрытия к древесине, определенная методом скалывания, —  $0,8 \text{ кг/см}^2$ .

7) После высыхания краски поверхность пленки должна быть ровной и не иметь отлипа.

8) Потеря в весе окрашенных деревянных образцов после огневого испытания не должна превышать 20% (при расходе покрытия  $300 \text{ г/м}^2$ ).

#### 4. Технология нанесения огнезащитного состава ФАМ

1) Перед нанесением огнезащитного состава ФАМ поверхность древесины должна быть очищена от пыли и грязи. Поверхности, ранее покрытые другими красками, предварительно должны быть очищены от них.

2) Подвергать окраске следует материалы с влажностью не более 15%.

3) Для защиты металла от коррозии, вызываемой покрытием ФАМ, он должен предварительно окрашиваться битумным лаком или покрываться олифой.

4) Нанесение покрытия ФАМ производится кистью за один раз. Кисть должна быть мягкой и иметь длинный волос. Сильный нажим не рекомендуется.

5) Расход покрытия ФАМ на  $1 \text{ м}^2$  не менее 300 г.

6) Нанесение покрытия производится при температуре не ниже  $10^\circ$ .

7) Кисти по окончании работы во избежание склеивания их волосков должны быть тщательно промыты растворителем.

## II. Атмосфероустойчивая краска МХС

В целях противопожарной безопасности важное значение имеет придание огнезащитных свойств масляным краскам, широко используемым для наружных окрасочных работ. В результате проведенной исследовательской работы была получена рецептура огнезащитной масляной краски МХС. Огнезащитная масляная краска МХС представляет собой смесь олифы, пигментов, хлорпарафина и перхлорвинилового смолы. В качестве антипиренов в краску вводятся хлорпарафин и трехокись сурьмы. Предназначается для окраски деревянных конструкций, подвергающихся воздействию атмосферных факторов. Краска МХС по своим лакокрасочным свойствам не уступает масляной краске и, кроме того, обеспечивает огнезащиту окрашиваемого материала. Для изготовления краски МХС, согласно прилагаемой рецептуре, может быть использовано любое лакокрасочное производство, имеющее краскотерку,

## 1. Рецептатура краски МХС

Наименование компонентов	Соотношение компонентов, % (весовые)	Соотношение полуфабрикатов, % (весовые)	Расход компонентов для окраски 1 м <sup>2</sup> окрашиваемой поверхности, г
<b>Основа</b>			
Перхлорвиниловая смола . . . . .	13		11,3
Летучая часть (ацетон — 25%, толуол — 60%, бутилацетат — 15%) . . . . .	87	29	75,7
	100		87,0
<b>Паста</b>			
Двуокись титана . . . . .	7,5		16,0
Цинковые белила . . . . .	32,0	71	68,1
Окись сурьмы . . . . .	7,5		16,0
Мел . . . . .	14,8		31,5
Тальк . . . . .	7,5		16,0
Хлорпарафин . . . . .	14,8		31,5
Олифа натуральная . . . . .	15,3		32,6
Сиккатив . . . . .	0,6		1,3
	100		213,0
Расход общий . . . . .		100	300

## 2. Требования к сырью

Двуокись титана, ТУ МХП 1420—52;  
 Цинковые белила сухие, ГОСТ 202—41;  
 Окись сурьмы, ТУ 2243—52 Минцветмета;  
 Мел, ГОСТ 1418—42;  
 Хлорпарафин, ТУ МХП 2056—49;  
 Тальк, ГОСТ 879—52;  
 Толуол технический, ГОСТ 4809—49;  
 Ацетон технический, ГОСТ 2768—44;  
 Бутилацетат, ОСТ НКПП 528;  
 Перхлорвиниловая смола, ТУ МХП 1719—50;

Пигменты для подцветки (в соответствии с существующими ОСТ);  
Олифа натуральная, ГОСТ 7931—56;  
Сиккатив, ГОСТ 1003—41;  
Сплав К-6, согласно ТУ.

### 3. Технология приготовления огнезащитной краски МХС

1) Приготовление основы. Расчетное количество перхлорвиниловой смолы загружают в мешалку и растворяют без подогревания при хорошем перемешивании в смеси растворителей, после чего сливают через сито в другую емкость.

2) Приготовление пасты. В соответствии с приведенной рецептурой в смесителе замешивают пасту из пигментов, наполнителя, хлорпарафина и олифы. Затем пасту подают на краскотерку, где она растирается до получения однородной массы.

3) Приготовление краски. Готовую пасту загружают в мешалку с основой и перемешивают до получения однородной массы. Перед разливом в тару фильтруют через сито, проверяют вязкость и делают пробную выкраску для проверки цвета и оценки внешнего вида покрытия.

### 4. Технические условия

1) Цвет — любой, кроме чисто белого.

2) Вязкость по вискозиметру ФЭ (сопло № 2) при 20°—1'25".

3) Практическое высыхание при 18—20° и относительной влажности воздуха не более 70%—8 часов.

4) После высыхания краски поверхность пленки должна быть ровной и не иметь отлипа.

5) Потеря в весе образцов после огневого испытания по методу ЦНИИПО (при расходе сырой краски 300 г/м<sup>2</sup>) не должна превышать 20%.

### 5. Технология нанесения краски МХС

1) Перед нанесением огнезащитной масляной краски МХС поверхность древесины должна быть очищена от пыли и грязи.

2) Подвергать окраске следует материалы с влажностью не более 15%.

3) Нанесение краски производится кистью за 2 раза.



4) Время сушки между нанесением каждого слоя не менее 12 часов.

5) Расход сырой краски на  $1 \text{ м}^2$  — 300 г.

6) Кисти по окончании работы во избежание склеивания их волосков должны быть тщательно промыты растворителем.

## АВТОМАТИЧЕСКАЯ ПОЖАРНАЯ СИГНАЛИЗАЦИЯ ЗА РУБЕЖОМ

*Шестаков А. Л.*

На зарубежных промышленных предприятиях, складах и хранилищах широко применяется автоматическая пожарная сигнализация (АПС) как надежное средство защиты от пожаров. АПС используется на предприятиях химической, резиновой, нефтеперерабатывающей, бумажной и текстильной промышленности.

Особенно часто устанавливаются автоматические извещатели в пожаро- и взрывоопасных цехах, а также в складских помещениях, где весьма незначительное первоначальное загорание без присмотра может развиться в пожар большой интенсивности. Иностранные фирмы выпускают более 100 различных типов автоматических пожарных извещателей.

Наиболее простыми, дешевыми и имеющими массовое распространение являются извещатели, работающие от тепла, т.е. термоизвещатели. Термоизвещатели по принципу их действия делятся на максимальные, дифференциальные и максимально-дифференциальные.

Максимальные термоизвещатели срабатывают тогда, когда температура окружающего их воздуха достигает критической температуры, характеризующей начало пожара. Одни системы максимальных извещателей выпускаются с возможностью регулировки температур срабатывания в пределах от  $50^\circ$  до  $120^\circ$ ; другие — с фиксированной на заводе температурой срабатывания. В США, например, максимальные извещатели выпускаются с фиксированной температурой срабатывания 60, 80, 120 и  $143^\circ$ . Для удобства эксплуатации эти типы различаются внешней окраской.

Принцип действия дифференциальных извещателей заключается в том, что они срабатывают не от критической температуры, а от определенной скорости нарастания ее. В США дифференциальные извещатели регулируются на срабатывание при скорости нарастания температуры  $8^\circ$  в минуту. Во Франции считают необходимым регулировать их на большую чувствительность — на срабатывание от нарастания в  $4^\circ$  в минуту.

Конструировать извещатель на меньшие скорости нарастания, например  $1$ — $3^\circ$  в минуту, нецелесообразно, так как это может при-

вести к ложным тревогам при пуске отопления или при нагреве помещения солнцем.

Максимально-дифференциальный извещатель является комбинированным извещателем, работающим и при определенной скорости нарастания температур и от повышения температуры данного помещения до определенной величины.

Установка извещателей того или иного типа зависит от особенностей охраняемого помещения и производства. Так, например, в помещениях, где по технологическим причинам имеют место резкие колебания температуры (закалочные цехи, сушилки, разливные цехи, пасбурги и пр.) устанавливаются максимальные извещатели, отрегулированные на температуру, превышающую максимальную, которая бывает в данном помещении, на 10—15°. Установка в таких помещениях дифференциальных извещателей недопустима, так как приведет к частым ложным тревогам.

В помещениях со сравнительно постоянной температурой или с температурой, которая изменяется плавно (не выше 2° в минуту) можно устанавливать все указанные выше типы термоизвещателей, но следует отметить, что при равных тепловых условиях дифференциальные извещатели срабатывают быстрее, так как они более чувствительны.

Термоизвещатели срабатывают главным образом от тепловой конвекции воздуха в данном помещении и в весьма незначительной степени от лучеиспускания, поэтому они устанавливаются на потолке охраняемого помещения. Величина охраняемой площади помещения, расстояние между извещателями и от стены зависят от их чувствительности, которая обуславливается их конструкцией и принципом действия. Извещатели, охраняющие какое-нибудь определенное помещение (цех, отделение склада и т. д.), включа-

ются в одну пару проводов и дают один сигнал, присвоенный охраняемому помещению.

По принципу их действия в схеме сигнализации термоизвещатели работают на замыкание линии проводов, на их размыкание или переключение.

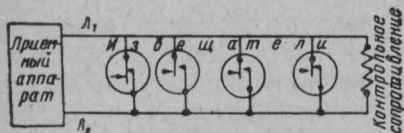


Рис. 1. Схема включения извещателей при работе на замыкание

В первом случае извещатели включаются в линейные провода параллельно и на конце линии включено контрольное сопротивление (рис. 1).

Как видно из схемы, при срабатывании любого из извещателей контрольное сопротивление (1000—3000 ом), шунтируется (закорачивается) контактом извещателя, и контрольный ток, проходящий по линии цепи, значительно возрастает, отчего на станции срабатывает сигнал тревоги.

Схема, изображенная на рис. 2, показывает включение термоизвещателей, работающих на размыкание; в этом случае контакты

извещателей включены в линейную цепь последовательно. При срабатывании любого из извещателей происходит размыкание линейной цепи контроля, и на станции появляется сигнал тревоги.

Включение извещателей, работающих на переключение, показано на рис. 3. В этом случае при срабатывании термоизвещателя



Рис. 2. Схема включения извещателей при работе на размыкание

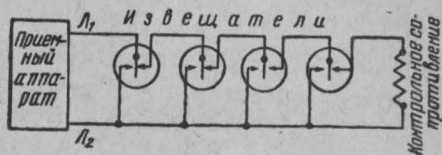


Рис. 3. Схема включения извещателей при работе на переключение

сначала происходит обрыв, а затем замыкание, т. е. работа такого извещателя подобна действию ручного кнопочного извещателя лучевой системы при нажатии его кнопки.

### Максимальные термоизвещатели

Термоизвещатели максимального действия по принципу своей работы делятся на извещатели со сгораемыми или плавкими вставками и самовосстанавливающиеся (ртутные и биметаллические).

#### Извещатели с плавкими или сгораемыми вставками

Простейшим типом максимального извещателя является извещатель типа «ТС» фирмы «Филипп и Пэн» (Франция), срабатывающий от сгорания целлулоидной вставки (рис. 4).

В круглой коробке извещателя 1 в его корпусе монтируется контактная группа, работающая на замыкание с клеммами для включения пары проводов, идущих к сигнальным приборам (звонок, сирена и т. д.). К корпусу прикреплены два Г-образных стержня, направленные вниз: один — неподвижный 2, другой — центральный подвижный 3 со спиральной пружиной, которая стремится втянуть его внутрь коробки. Между загнутыми концами стержней вставляется вставка из целлулоидной ленты 4, при сгорании которой центральный стержень 3 под действием своей пружины идет вверх и замыкает сигнальные контакты извещателя. После срабатывания извещатель необходимо перезарядить, т. е., оттянув центральный стержень, надеть целлулоидную вставку.

На рис. 5 показан извещатель типа «Лоренц» (ГДР), принадлежащий к типу максимальных плавких термоизвещателей. На основании 1 из пластмассы укреплены вертикально две металлические стойки 2 с клеммами 3 для включения двух линейных прово-

дов. На стойках укреплены две стальные пластинчатые пружины 4, соединенные между собой электрически и механически при помощи легкоплавкой вставки 5. В спокойном состоянии двухпроводная

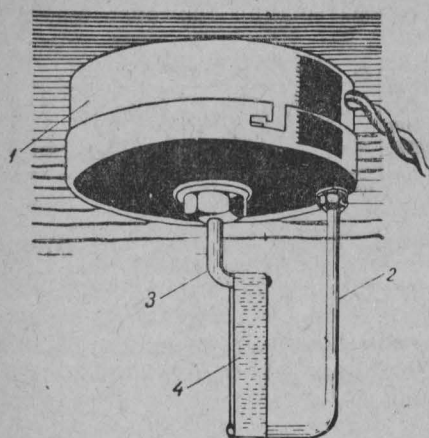


Рис. 4. Термоизвещатель с целлюлоидной вставкой типа «ТС»:

1 — коробка; 2 — неподвижный стержень; 3 — подвижный стержень; 4 — целлюлоидная вставка

линия, идущая от станции пожарной сигнализации, замкнута через катушку сопротивления 6, которая устанавливается на корпусе извещателя и включается в клеммы 3 параллельно легкоплавкой вставке. Таким образом, катушка шунтирована этой вставкой. При повышении температуры охраняемого помещения, на потолке которого устанавливаются эти извещатели, до  $70^{\circ}$  легкоплавкий сплав плавится, благодаря чему пружины под действием силы своей упругости выпрямляются и размыкают шунт катушки сопротивления 6. Ток в линии не прерывается, а значительно уменьшается, за счет чего на станции получается сигнал тревоги.

На рис. 6 изображен вариант извещателя с контрконтактами 7, расположенными по сторонам обеих пружин и соединенными между собой электрически. При таком варианте извещатель работает на замыкание. Причем один линейный провод включен в клеммы 3, другой — в одну из клемм контрконтактов 8. Таким образом, при расплавлении вставки пружины, распрямляясь, замыкают цепь, что дает сигнал тревоги. Для восстановления действия указанных типов плавких извещателей необходимо просмотреть все извещатели, установленные на потолке помещения, где произошло возгорание, и определить, который из извещателей сработал. Для облегчения этой работы был предложен тип плавкого извещателя с хорошо видимым снизу сигналом его срабатывания. На рис. 7 показан этот тип извещателя после срабатывания. В цилиндрическую крышку извещателя из пластмассы

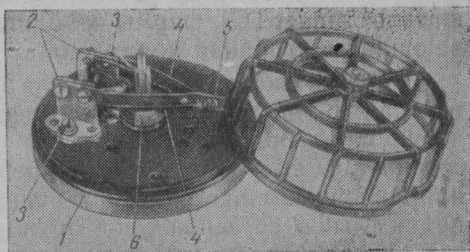


Рис. 5. Извещатель типа «Лоренц»:

1 — основание из пластмассы; 2 — две металлические стойки; 3 — две клеммы; 4 — две стальные пружины; 5 — легкоплавкая вставка; 6 — катушка сопротивления

цвета слоновой кости 1 легко вставляется ярко-красный цилиндр 2, имеющий сверху серьгу, которая продевается сквозь соединенные пружины извещателя. В спокойном положении этот внутренний красный цилиндр не виден, но как только извещатель сработает, т. е. пружины его разъединяются, сигнальный цилиндр опускается вниз на 2 см и по нему можно легко определить, что извещатель сработал.

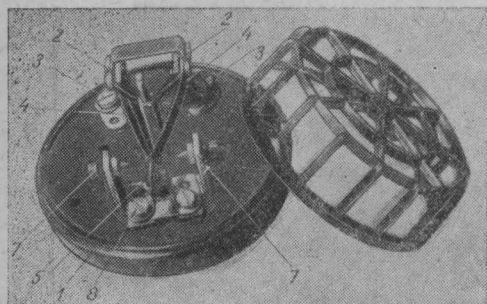


Рис. 6. Вариант извещателя типа «Лоренц» с контрконтактами



Рис. 7. Извещатель типа «Лоренц» с сигнализацией срабатывания:  
1 — цилиндрическая крышка; 2 — внутренний красный цилиндр

Подобные типы плавких извещателей выпускались фирмой «Сименс» с принципом действия извещателя на размыкание линейной цепи.

Термоизвещатель типа «Дерби» (США), изображенный на рис. 8, является также максимальным извещателем плавкого типа. Основные части его — два бронзовых диска, укрепленные один над другим и соединенные с проводами сигнальной цепи (линии). Между этими дисками вставляется третий диск из легкоплавкого сплава, отделенный от них двумя изоляционными прокладками с тремя небольшими отверстиями. При нагреве воздуха у потолка охраняемого помещения до температуры срабатывания извещателя его плавкий диск расплавляется, и расплавленный металл, пройдя через отверстие изоляционной прокладки, замыкает бронзовые диски между собой и тем самым дает замыкание сигнальной цепи и производит тревогу на станции. После срабатывания такой извещатель перезаряжается, т. е. в него вставляется новый легкоплавкий диск.

Извещатели «Дерби» выпускаются трех типов — на 65°, 100° и 141° и устанавливаются на потолке охраняемого помещения на расстоянии 3,8—4,6 м друг от друга и на 1,8—2,2 м от стены.



Имеются извещатели с теплоприемниками в виде кабелей, которые прокладываются по потолку охраняемого помещения и осуществляют защиту сплошной полосой шириной 4—5 м.

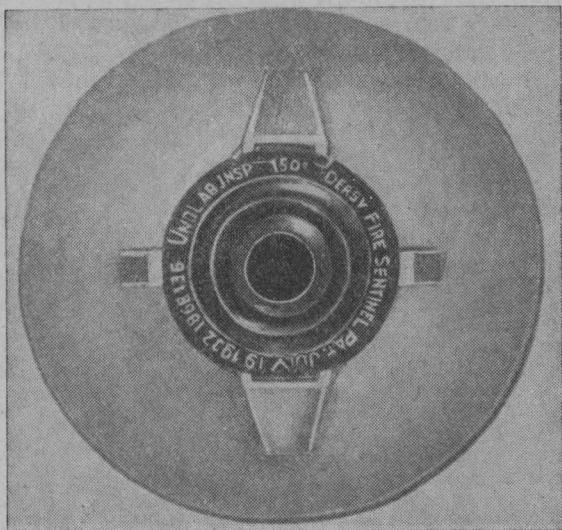


Рис. 8. Термоизвещатель типа «Дерби»

К таким извещателям относятся плавкие кабели типа «Зииланд» (США). Кабели «Зииланд» имеют следующую конструкцию: в центре — медная жила, затем слой легкоплавкого сплава, прикрытого легкопроницаемой для расплавленного сплава изоляцией, второй проводник в виде медной ленты с наружной изоляцией из кембрика. Такой кабель укладывается по потолку длиной не более 500 м. При укладке кабеля расстояние от стены должно составлять 2 м и между кабелями — 4,5 м. При достижении критической температуры в охраняемом помещении (68, 100 или 140° в зависимости от примененного сплава), сплав расплавляется, прожигает изоляцию и соединяет центральный провод со вторым, т. е. замыкает цепь тревоги. После срабатывания участок кабеля с расплавленным сплавом необходимо заменить.

#### Самовосстанавливающиеся максимальные извещатели

К самовосстанавливающимся максимальным извещателям принадлежат ртутные и биметаллические извещатели.

Ртутные извещатели представляют собой обычные контактные термометры, приспособленные для целей автоматического извещения о пожаре.

Наиболее распространенным типом максимальных термоизвещателей являются биметаллические, принцип действия которых основан на деформации биметаллических пластин при нагревании. Биметаллическая пластина извещателей имеет два слоя металла, причем одним из компонентов является активный металл, обладающий большим коэффициентом теплового расширения (например, медь, бронза, латунь, мягкая сталь и др.), а другой компонент имеет весьма малый коэффициент теплового расширения; этим пассивным элементом обычно бывает сплав инвар (сталь + хром + молибден).

При нагревании биметаллической плоской пластины, за счет неравномерного расширения ее слоев, она выгибается пассивным слоем внутрь изгиба. Если она скручена в виде спирали активным компонентом внутрь, то при нагревании она раскручивается. Этой деформацией биметаллических пластин пользуются, чтобы произвести автоматическое замыкание, размыкание или переключение контактов при нагреве охраняемого помещения до критической температуры, которая характеризует начало пожара.

За рубежом выпускается большое число различных типов биметаллических максимальных извещателей. Наиболее распространенными являются извещатели типа «Сименс», «Гент» и «Эдиссон».

На рис. 9 показан биметаллический извещатель типа «Сименс» (ГДР) с размыканием сигнальной цепи. На пластмассовом цоколе 1 к вертикальной стойке прикрепляется U-образная биметаллическая пластина 2, изогнутая активным слоем внутрь. Для того, чтобы пластина при работе изгибалась только в колене, вертикальные концы ее механически укреплены продольными бортиками 3, полученными путем штамповки. На конце пластины имеется серебряный контакт 3, который замыкается контактной пружиной 4. При помощи регулировочного диска 5, надетого на ось эксцентрично, можно усиливать или ослаблять давление на контакт. При нагревании биметаллическая пластина разгибается в месте выгиба, и контакт обрывается, отчего на приемном аппарате появляется сигнал тревоги.

При повороте регулировочного винта поворачивается эксцентричный диск, изменяя тем самым давление на контакт. Причем,

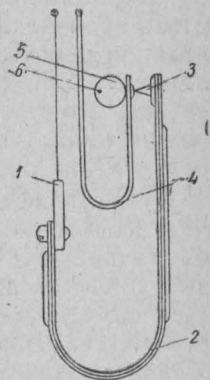


Рис. 9. Биметаллический извещатель типа «Сименс»:

1 — цоколь из пластмассы; 2 — U-образная биметаллическая пластина; 3 — серебряный контакт; 4 — контактная пружина; 5 — регулировочный диск-эксцентрик; 6 — регулировочный винт

чем больше будет это давление, тем больше для размыкания контакта необходимо нагреть биметаллическую пластину.

Этот извещатель может регулироваться на температуры 40, 50, 60, 70, 80 и 90°.

Имеется вариант извещателя с катушкой сопротивления, которая включена параллельно контакту извещателя. В спокойном состоянии, когда контакт извещателя замкнут, катушка закорочена. При срабатывании извещателя, когда контакт размыкается, сигнальная цепь остается включенной на катушку сопротивления и, благодаря весьма значительному уменьшению тока в цепи, на станции срабатывают сигналы тревоги.

Биметаллический извещатель типа «Гент» (США) имеет прямоугольный продолговатый корпус, к которому одним концом (левым) прикреплена биметаллическая пластина активным слоем внутрь. Другой конец пластины может перемещаться, но он через систему рычажков связан с ртутным контактом, включающим сигнальную цепь. При нагревании пластины до критической температуры свободный конец ее загибается наружу и посредством рычажков поворачивает колбочку с ртутным контактом, причем ртуть производит замыкание сигнальной цепи, если система сигнализации работает на замыкание. Если система работает на размыкание, то при срабатывании извещателя ртутный контакт размыкается. Этот извещатель может работать в сырых и пыльных помещениях, а также в производственных цехах с выделением коррозирующих паров и газов.

Биметаллический извещатель типа «Эдиссон» (США) является еще более герметичным, так как его биметаллическая пластина с контактной группой заключена в вертикально укрепленный стеклянный колпачок, наполненный инертным газом. Снаружи трубка защищена чехлом с прорезями, предохраняющим от механических воздействий. Благодаря стеклянному колпачку этот тип извещателя обладает значительной инерцией. Извещатель «Эдиссон» выпускается четырех типов на фиксированные температуры срабатывания: 57, 80, 125 и 147° как на размыкание, так и на замыкание контактов.

### Дифференциальные извещатели

Принцип действия дифференциальных извещателей основан на использовании явлений теплового расширения металлов, жидкостей и газов, а также на действии термопар. Французский дифференциальный извещатель для морских судов построен на действии двух биметаллических спиралей различной чувствительности. При резком повышении температуры более чувствительная спираль раскручивается значительно сильнее другой и замыкает сигнал тревоги. При плавном нагревании обе спирали деформируются почти одинаково, благодаря чему контакта не получается.

Примером дифференциального термоизвещателя, построенного на принципе теплового расширения паров жидкости, может служить извещатель типа «Сименс», изображенный на рис. 10. Извещатель имеет стеклянную запаянную трубку U-образной формы 1, наполненную в средней части ртутью 2. Над ртутью в том и другом колене налит небольшим слоем сернистый эфир 3. Левое колено трубки выполнено из утолщенного стекла 4. Из верхних частей трубки выкачан воздух. В нижнюю часть левого колена впаян платиновый контакт 5; в правое колено немного ниже уровня ртути — парный контакт 6. При быстром нарастании температуры охраняемого помещения сернистый эфир в правом колене трубки с тонким стеклом больше прогреется, чем эфир, налитый в левом колене трубки с толстым стеклом. От нагревания эфир быстро испаряется, и тем самым в правой трубке повысится давление на ртуть, отчего она опустится и разомкнет контакт линейной цепи — на станции появится сигнал тревоги. При охлаждении помещения до нормальной температуры эфир охладится и давление в правом колене спадает, отчего ртуть возвратится в исходное положение и замкнет контакт сигнальной цепи — на станции сигнал тревоги прекратится. При плавном нагревании эфир, находящийся в левом и правом колене, будет испаряться почти с одинаковой интенсивностью и давление в коленах не выйдет из равновесия. Сигнала тревоги не получится.

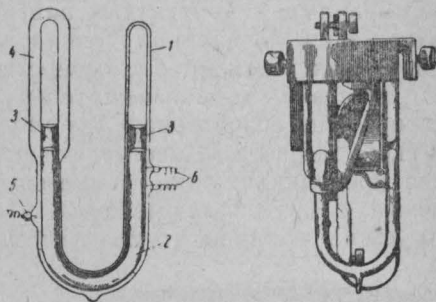


Рис. 10. Извещатель типа «Сименс» жидкостной:

1 — стеклянная трубка; 2 — ртуть; 3 — сернистый эфир; 4 — колено трубки из утолщенного стекла; 5 — платиновый контакт; 6 — парный контакт

Несколько типов дифференциальных извещателей построены на принципе использования теплового объемного расширения воздуха. К таким извещателям относятся извещатель типа «Аутоматик» и извещатель типа «Аэро» (оба — США).

На рис. 11 изображен общий вид извещателя типа «Аутоматик». Теплоприемником его является герметическая камера 1 из тонкой меди сферической формы, в которой находится воздух. От этой камеры в сигнальный аппарат подается тонкая трубка 2 диаметром 1,5—2 мм, оканчивающаяся камерой с тонкой мембраной, при выгибании которой замыкается цепь сигнала тревоги. Так как мембрана снабжена срабатывающим клапаном, то она выгибается только при резком увеличении давления воздуха в трубке, которое возникает при резком нагревании камеры 1.

Видоизменением извещателя «Аутоматик» является французский дифференциальный извещатель «Аэротермик». В нем термо-

элементом служит цилиндрическая камера из медной фольги. При резком нагревании воздух, заключенный в этой камере, расширяется, камера деформируется и размыкает контакты линейной цепи, отчего на станции появляется сигнал тревоги.

К разряду воздушных извещателей относится извещатель «Аэро» (рис. 12), в котором теплоприемником служит не камера, а тонкая медная трубка 1 диаметром 2 мм с воздухом. Трубка заканчивается в приборе, состоящем из 2 ниппелей 2 для ввода двух концов трубки, 2 камер 3 с тонкими гофрированными мембранами 4, контактных винтов 5 для замыкания сигнальной цепи и 2 стравливающих вентилей 6 с отверстиями.

Действие термоизвещателей иногда строится на использовании термоэлектрического эффекта. Известно, что если взять два проводника: один, например, хромелевый, а другой алюмелевый, и сварить их концы попарно, то получится так на-

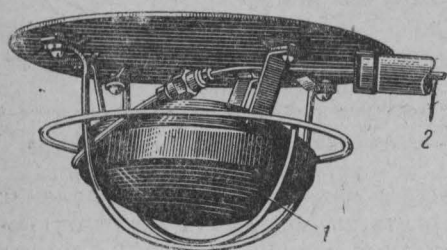


Рис. 11. Извещатель типа «Аутоматик»:  
1 — медная камера; 2 — тонкая трубка.

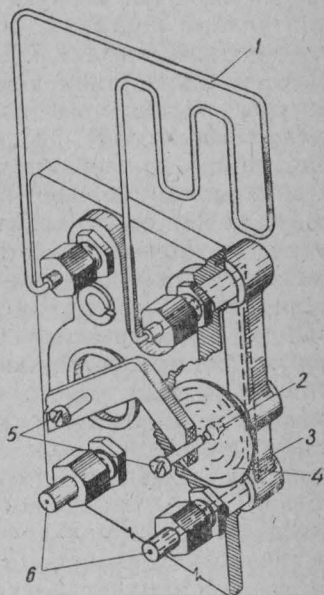


Рис. 12. Извещатель типа  
«Аэро»:

1 — тонкая медная трубка; 2 — два ниппеля; 3 — две камеры; 4 — две мембраны; 5 — два контактных винта; 6 — два стравливающих вентилей

зываемая термопара. Если нагревать один спай термопары, то между горячим и холодным спаем возникнет разность потенциалов.

В извещателе типа «Райчел» (США) в качестве термоэлемента (датчика) использованы две серии термопар, причем одна серия выведена наружу, а другая — внутрь и закрыта корпусом извещателя. Обе серии соединены с контактным гальванометром; при замыкании его контакта включается сигнал тревоги. При резком повышении температуры охраняемого помещения (10—12° в минуту) наружная серия термопар нагреется значительно выше внутренней, за счет чего между сериями термопар возникнет разность потенциалов, достаточная для того, чтобы гальванометр замкнул контакт тревоги. Так как корпус извещателя благодаря двум неболь-



шим выступам не прилегает плотно к потолку, внутренняя серия термопар также нагревается, но в меньшей степени, чем наружная. При плавном повышении температуры помещения разность потенциалов, возникающая между сериями термопар, будет недостаточна для замыкания контакта тревоги в гальванометре.

### Максимально-дифференциальные извещатели

Максимально-дифференциальные извещатели, совмещающие действия максимальных и дифференциальных извещателей, делятся на 2 основных разряда: извещатели, представляющие собой механическое объединение 2 извещателей — максимального и дифференциального; и извещатели, объединяющие работу того и другого извещателя в одной конструкции.

Характерными представителями извещателей первого разряда являются извещатели типа «Сименс» (ГДР) и «Виталарм» (США), а второго — «Хольцер—Кабор» (США) и «СТЕ» (Франция).

Извещатель типа «Сименс», изображенный на рис. 13, представляет собой конструктивное объединение максимального биме-

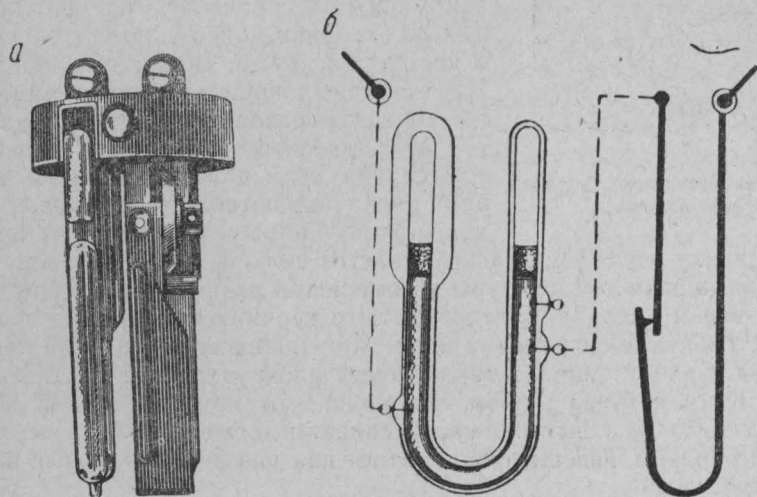


Рис. 13. Максимально-дифференциальный извещатель типа «Сименс»:

а — общий вид; б — схема включения

таллического и дифференциального жидкостного извещателей типа «Сименс», описанных выше. Как видно из схемы, оба эти извещателя включаются в сигнальную цепь последовательно; таким образом, при срабатывании любого из них сигнальная цепь размыкается, на станции появляется сигнал тревоги.

Изображенный на рис. 14 извещатель типа «Виталарм» представляет собой также совмещение двух типов извещателей — дифференциального и максимального, — конструктивно оформленное в

виде ограничителя тока (предохранительной пробки, ввинчивающейся в патрон распределительного щитка освещения). Извещатель «Витальярм» ввинчивается в обычный ламповый патрон, устанавливаемый на потолке охраняемого помещения. В корпусе извещателя располагается биметаллическая пластина, замыкающая контакты сигнальной цепи при нагревании до  $65^{\circ}$ , а также небольшая воздушная камера с тонкой мембраной наподобие мембраны «Аэро», кото-



Рис. 14. Извещатель типа «Витальярм»

рая от резкого повышения температуры под давлением расширяющегося в камере воздуха производит замыкание контакта сигнальной цепи. При срабатывании как максимальной части извещателя, так и дифференциальной загорается красная лампочка, расположенная в нижней части корпуса извещателя.

Извещатель типа «Хольцер и Кабот» представляет собой плоскую круглую коробку, в которой расположены одна на другой две одинаковые биметаллические спирали, скрученные из ленты длиной 30 см. Один конец спирали укреплен к корпусу, а другой является свободным. На свободных концах спирали укреплены контактные пластины таким образом, что эти контакты замыкаются только в том случае, если пластины при нагревании раскручиваются неодинаково. Так как нижняя спираль расположена ближе

к источнику тепла, она раскручивается сильнее верхней, и при резком повышении температуры в помещении разность шага этих спиралей весьма велика, вследствие чего верхняя спираль быстро замыкает контакт сигнальной цепи. При плавном повышении температуры верхняя спираль также будет раскручиваться, причем разность шага верхней и нижней такова, что при нагревании обеих спиралей до  $70^{\circ}$  контакт нижней спирали догонит контакт верхней. Таким образом, извещатель работает как дифференциальный и как максимальный.

Характерным типом максимально-дифференциального извещателя является извещатель «СТЕ», принцип действия которого основан на применении термопар. В извещателе «СТЕ» в круглом корпусе расположены две серии термопар, каждая по 400 спаяк. Одна серия расположена над другой, причем нижняя серия своими спаями направлена наружу (вниз) и прикрыта только защитной сеткой, а верхняя серия отделена от нижней изоляционной перегородкой, и спаяи ее направлены вверх. Благодаря этому при резком повышении температуры охраняемого помещения нижняя серия термопар нагревается значительно больше верхней, за счет чего между сериями термопар возникает разность потенциалов, достаточная для

срабатывания сигнальных приборов на станции. При плавном повышении температуры разность нагрева верхней и нижней серии незначительна, так как благодаря четырем вырезам в коробке извещателя тепло имеет доступ к верхней серии, и она тоже нагревается, но в меньшей степени, чем нижняя. Возникающая при этом разность потенциалов недостаточна, чтобы привести в действие сигнальные приборы. Однако при дальнейшем плавном нарастании температуры помещения до критической, например до  $70^\circ$ , разность потенциалов между двумя сериями термпар возрастает до величины, достаточной для срабатывания сигнальных приборов на станции. Таким образом, одно и то же устройство работает как максимальный и как дифференциальный извещатель.

Известно, что большинство пожаров начинается с выделения дыма, и поэтому чувствительные извещатели, реагирующие на дым, имеют большое преимущество перед тепловыми, так как срабатывают значительно быстрее их.

За послевоенные годы большое распространение за рубежом получили швейцарские извещатели типа «Церберус», выпускаемые также английской фирмой «Минерва». Эти извещатели срабатывают в течение нескольких секунд от незначительного количества дыма.

Извещатель типа «Церберус» построен на принципе применения двух ионизационных камер (рис. 15 а). Первая камера I открыта проволочной сеткой, и дым в нее может легко проникнуть. Вторая камера II закрыта, и дым в нее не может попасть. Внутри обеих камер находится препарат радия; каждая камера имеет два электрода, включенных последовательно, к ним от батареи подводится напряжение

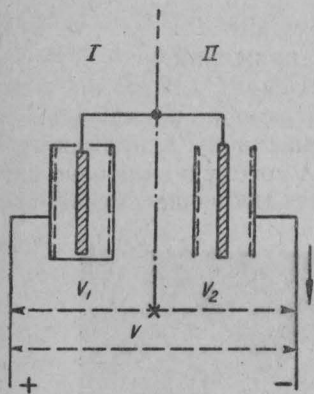


Рис. 15а. Элементарная схема включения двух ионизационных камер

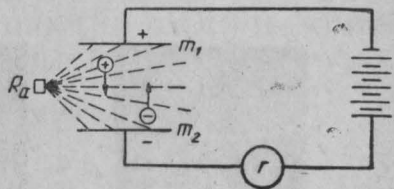


Рис. 15б. Элементарная схема ионизационной камеры

ние  $V$ . Что при этом происходит в каждой камере, видно из элементарной схемы одной камеры, изображенной на рис. 15б. Между электродами  $m_1$  и  $m_2$  помещен радиоактивный препарат  $Ra$ ; излучаемые этим препаратом частицы, сталкиваясь с молекулами воздуха, образуют ионы и электроны. Под действием электрического поля электродов  $m_1$  и  $m_2$  образуется поток ионов и электронов, как показано на рисунке. В цепи появляется электрический ток  $i_1$ . При

появлении в охраняемом помещении дыма, он попадает в камеру  $I$ . Дым состоит из частичек, значительно превышающих по величине и весу молекулы воздуха, находящиеся в камере. Благодаря этому частички дыма препятствуют образованию ионов и замедляют их движение. Частицы дыма сами ионизируются, но, будучи менее подвижны, чаще сталкиваются с противоположно заряженными частицами и происходит рекомбинация. При этом ток  $i_1$  уменьшается до величины  $i_2$ . На рис. 16 изображена диаграмма напряжений и токов в камерах. До появления дыма напряжение в камере  $I$  было  $V_1$ , а во второй камере  $V_{II}$ , в сумме оба эти напряжения составляют  $V$ , подведенное от батареи и не изменяющееся. При появлении дыма ток уменьшается до  $i_2$ , благодаря чему распределение напряжений по камере меняется, но в сумме останется равным  $V$ :

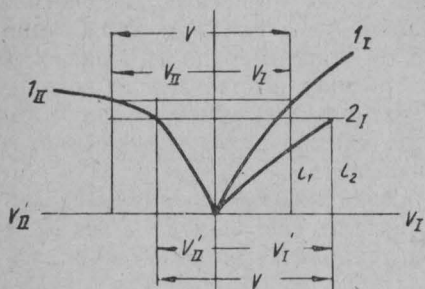


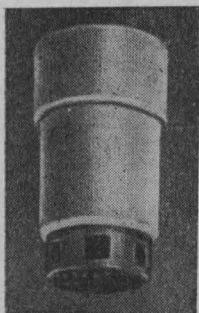
Рис. 16. Диаграмма работы извещателя типа «Церберус»

Рис. 16. Диаграмма работы извещателя типа «Церберус»

му распределение напряжений по камере меняется, но в сумме останется равным  $V$ :

$$V = V_1 + V_{II} = V'_1 + V'_{II}.$$

Как видно из приводимой диаграммы, при сравнительно небольшом уменьшении величины тока разность напряжений  $\Delta V = V'_1 - V_{II}$  будет значительна. Благодаря этому произойдет зажигание лампы-реле, катод и вспомогательный анод которой подключены к электродам камеры  $I$ . Разряд перейдет на анод, и промежуток анод—катод станет проводящим; по цепи, в которую включено сигнальное реле, пройдет ток, и реле сработает, включив сигнал тревоги.



а



б

Рис. 17. Извещатель типа «Церберус»:

а — общий вид; б — в разобранном виде.

На рис. 17 изображен общий вид извещателя «Церберус» и он же в разобранном виде. Извещатель имеет следующие основные части: пластмассовый цоколь  $1$  с винтами для крепления извещате-

ля к потолку и клеммами для включения его в сигнальную цепь, электронная лампа-реле 2, электрод 3 закрытой камеры II, второй электрод 4 закрытой камеры, прикрывающий кожух 5, корпус 6 открытой камеры I с сетками, корпус извещателя из пластмассы 7, в который собираются части 2, 3, 4, 5 и 6. Размещаются эти извещатели на потолке из расчета 1 извещатель на 30—100 м<sup>2</sup> площади охраняемого помещения. В одну группу (под одним номером сигнала) включают не более 50 извещателей. За последние несколько лет за рубежом появляются датчики, работающие от инфракрасного излучения пламени, причем термозлементом в них является фотосопротивление, которое чувствительно реагирует на действие этих лучей. Эти датчики устанавливаются, например, в электрических машинах для включения системы водных распылителей — в случае короткого замыкания и сигнала тревоги.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Mechanical Engineering, 77, 6, 526 (1955) июнь.
2. New fire detector, «Fire», 46, 587, 241 (1954), май.
3. Heat sensitive cable, Mechanical Engineering, 75, 8, 653 (1953) август.
4. New Birmingham alarm, «Fire Protection Review», 12, 170, 782 (1954) декабрь.
5. Handbook of Fire Protection, Crosby—Fiske—Forster, XIX Edition N.F.P.A.
6. Feuermeldenanlagen, V.D.I. Zeitschrift, 96, 24, 802 (1954) август.
7. Review Internationale du feu.
8. La détection automatique des incendies «La sapeur pompier», 587 август—сентябрь, 1960 г.
9. Проспекты фирм: «Autocall» (США), «Philips et Pain» (Франция), «Vitalarm» (США), «American District Telegraph Co» (США), «Automatic Fire Alarm Co» (США), «American Fire Protection Bureau» (США), «New Jersey Fire Alarm Co» (США), «Automatic Sprincler Corporation of America» (США).

## ПОЖАРНАЯ ОПАСНОСТЬ ХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ И НЕКОТОРЫХ ВИДОВ ПРОДУКЦИИ ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

(Обзор зарубежной литературы)

Родэ А. А.

Статистические данные показывают, что количество пожаров в зарубежной химической промышленности значительно больше, чем в других отраслях промышленности. Так, на долю химической промышленности в Англии приходится около 6,5% крупных пожаров (в среднем — 400 пожаров в год). Повышенная пожароопасность предприятий химической промышленности объясняется наличием больших количеств легковоспламеняемых жидкостей, лаков, красок, растворителей, широким применением технологических процессов с использованием высоких давлений и температур.

На одном из английских химических предприятий в 1953 г. произошло 195 пожаров<sup>1</sup>, основными причинами которых были:



разливание горючих жидкостей (15%), утечка газообразных продуктов (10%), искры от сварки и резки (22%), применение открытого пламени (10%), самовозгорание твердых материалов (10%), взрывы (2,5%).

По статистическим данным, в США<sup>2</sup> причины пожаров в лакокрасочных мастерских и цехах (окраска распылением и отделка) распределяются следующим образом: самовозгорание отложений на стенках камер и воздухопроводов — 43%; воспламенение осевших внутри камеры или на стенках воздухопроводов веществ — 12%; трение в электроаппаратах, вентиляторах, подшипниках и дефекты их проводки — 15%; невыполнение правил безопасности при сварке и ремонтных работах в окрасочных помещениях и камерах — 11%; неисправности электроосвещения и неосторожная сушка электроламп — 5%; курение — 5%; неосторожность при очистке камер и вентиляционных каналов — 1%; невыясненные причины — 8%.

На химических предприятиях имеется большое количество пожаро- и взрывоопасных материалов, которые обладают в ряде случаев специфическими свойствами, препятствующими применению обычных средств пожаротушения (вода, пена, газовые составы). Это требует строгого соблюдения профилактических мероприятий, а также правильного использования средств тушения, которые должны выбираться с учетом свойств химических веществ.

### **Пожарная опасность и условия тушения пожаров некоторых веществ, применяемых в химической промышленности**

#### **Каучук и продукты резиновой промышленности**

Тушение пожаров каучука и резиновых изделий, хранящихся на складах в больших количествах, представляет значительные трудности вследствие выделения при горении большого количества дыма, а также сернистых соединений, что требует применения респираторов. При повышении температуры каучук и резина расплавляются, образуя бесформенные кипы, препятствующие подаче воды непосредственно к очагу пожара. Температура пламени при таких пожарах достигает почти 1300°.

Зарубежная практика показывает, что тушение пожаров больших количеств горячей резины при помощи ручных стволов в складских условиях является довольно сложным, так как штабели сырой резины или готовой продукции мешают подавать воду к месту пожара<sup>3,4</sup>. Поэтому американскими исследовательскими организациями были проведены опыты для определения эффективности работы спринклерных систем на складах резиновых шин<sup>5</sup>. Эти испытания показали, что в ряде случаев работа спринклеров, установленных в количестве, соответствующем обычным нормам, не обеспечивает локализации и тушения пожара в складских условиях. На основании результатов этих испытаний, а также по материа-

лам других источников, приводятся следующие рекомендации по противопожарной защите складов резиновых шин и средствам тушения.

1. При установке спринклеров из расчета  $7,4-9,3 \text{ м}^2$  площади склада на один спринклер высота штабеля не должна превышать  $1,8 \text{ м}$ . При необходимости увеличения высоты штабелей до  $3,6 \text{ м}$  количество спринклеров должно быть увеличено вдвое. Просвет между верхом штабелей и спринклером должен быть не менее  $0,75 \text{ м}$ .

2. Ширина штабелей не должна превышать  $8,3 \text{ м}$ ; штабели должны иметь продольные и поперечные проходы для возможности тушения при помощи ручных стволов.

3. Крупные склады необходимо разделять на части огнестойкими преградами.

4. Склады должны быть оборудованы противопожарным водопроводом с пожарными насосами, снабженными автоматическими пусковыми устройствами и достаточным количеством гидрантов. Расход воды на спринклерную сеть должен быть обеспечен в пределах  $63-125 \text{ л/сек}$  в зависимости от размеров склада при напоре  $3,9 \text{ кг/см}^2$ . Для ручных струй расчетный расход воды должен быть дополнительно увеличен на  $30-60 \text{ л/сек}$ .

5. Для тушения пожаров резины и резиновых изделий могут быть использованы углекислотные установки<sup>6</sup> с удельным расходом углекислоты в зависимости от объема помещения (см. табл. 1).

Таблица 1

Объем помещения, $\text{м}^3$	Расход углекислоты, $\text{кг/м}^3$
До 45	1
До 127	0,89
До 1400	0,8
Более 1400	0,73

При этом могут быть применены как объемный, так и поверхностный способы тушения.

Углекислота хорошо проникает к очагу пожара, независимо от конфигурации штабеля. Однако следует отметить, что тушение больших складов углекислотой практически весьма сложно вследствие значительного расхода последней и необходимости длительного охлаждения горевших материалов после тушения для избежания повторного загорания.

6. Для тушения пожаров автомобильных шин и других резиновых изделий могут быть использованы также огнетушители с сухим порошком. По опытным данным, для тушения двух горящих

колес на задней оси автомобиля, полностью охваченных огнем, необходимо использовать 9—11 кг порошкового состава.

### Синтетические смолы и пластические массы

В английском журнале «Файр»<sup>7</sup> приводится следующая классификация пластических масс по их способности к воспламенению и горению при нагревании:

- 1) весьма горючие — нитрат целлюлозы;
- 2) легковоспламеняющиеся, горящие спокойным пламенем — анилино-формальдегидные смолы, полистирол;
- 3) горящие слабым пламенем — ацетатцеллюлоза, этилцеллюлоза, полиэтилен, полиметилметакрилат и др.;
- 4) горящие только после сильного нагрева — хлоркаучуки, меламиноформальдегидные смолы, поливинилхлорид, полиамиды, фенолформальдегидные смолы, мочевино-формальдегидные смолы;
- 5) почти негорючие — политетрафторэтилен.

При сравнительно невысокой температуре пламени и относительно медленном развитии пожара большинства видов пластмасс тушение их зачастую затрудняется выделением при горении вредных продуктов, сильно задымляющих помещение (формальдегид, пары азотной кислоты и др.). Политетрафторэтилен при разложении выделяет сильно ядовитый фтор. Пожары всех пластмасс легко тушатся водой.

Значительно более высокую пожарную опасность представляют многие виды сырья для производства пластмасс: ацетилен, фенол, аллиловый спирт, бензол и др.

По американским данным<sup>8, 9, 10</sup> пластмассы могут быть разделены на три группы по горючести:

1-я группа — пластмассы, которые воспламеняются от обычного источника огня и горят примерно с такой же скоростью, как ацетат целлюлозы;

2-я группа — пластмассы, горящие слабым пламенем, которое гаснет при небольшой тяге. Горение может развиваться или не развиваться после удаления источника воспламенения;

3-я группа — пластмассы, которые горят только при воздействии на них пламени от постороннего источника.

К 1-й группе относятся ацетат целлюлозы, акрилат, полистирол, поливиниловый спирт; ко 2-й — фенолформальдегид, формальдегид мочевины, винилхлорид; к 3-й — винилацетат, поливинилхлорид. Наряду с пожароопасностью необходимо учитывать также взрывоопасность порошкообразных веществ, применяемых в промышленности пластмасс.

В табл. 2 приведены допустимые концентрации кислорода, при которых не происходят взрывы пыле-воздушных смесей этих веществ.

В табл. 3 приведены некоторые свойства, характеризующие пожаро- и взрывоопасность отдельных порошковых материалов, применяемых в промышленности пластмасс.

Вещество в порошкообразном состоянии	Допустимое содержание кислорода, %	Вещество в порошкообразном состоянии	Допустимое содержание кислорода, %
Казеин . . . . .	7	Фталевый ангидрид . . . . .	11
Ацетат целлюлозы . . . . .	7	Смолы на основе полистирола . . . . .	7
Пресспорошок на основе ацетата целлюлозы . . . . .	7	Пресспорошок на основе полистирола . . . . .	9
Хлопчатобумажные очесы . . . . .	7	Синтетический каучук . . . . .	11
Кумароновые смолы . . . . .	11	Шеллак, камедь . . . . .	9
Гексаметилентетрамин . . . . .	11	Смолы на основе мочевины . . . . .	11
Лигниновые смолы . . . . .	7	Пресспорошок на основе мочевины . . . . .	9
Пресспорошок на основе метилметакрилата . . . . .	7	Смолы на основе винила . . . . .	11
Фенольные смолы . . . . .	9	Пресспорошок на основе винила . . . . .	15
Пресспорошок на основе фенольных смол . . . . .	7	Древесная мука . . . . .	7

Испытания показали, что практически все пластмассы при горении и разложении выделяют вредные вещества, поэтому имеется опасность отравления ими в закрытых помещениях. Основными токсичными компонентами являются окись углерода, циановые соединения и аммиак. Кроме того, выделяются альдегиды и кетоны, а в некоторых случаях — следы окислов азота, фенолы и амины.

### Некоторые металлы

Наибольшую пожарную опасность представляет магний в виде отходов механической обработки (мелкой стружки и порошка). Температура воспламенения его зависит от степени измельчения частиц металла и может изменяться, по американским данным<sup>11</sup>, от 650° до 480° и ниже (для пыли). Пожары магния отличаются высокой температурой и характерны тем, что такие общепринятые и наиболее широко применяемые средства тушения, как вода, углекислота, азот и галогенированные углеводороды, не обеспечивают тушения, а наоборот, способствуют усилению горения и взрывам.

Порошкообразное вещество	Температура воспламенения облака пыли, °С	Минимальная энергия зажигания, джоули	Максимальное давление взрыва, кг/см <sup>2</sup>	Скорость нарастания давления, кг/см·сек		Минимальная взрывная концентрация, кг/м <sup>3</sup>
				средняя	максимальная	
Гексаметилентетрамин . . . . .	410	0,01	4,5	66	180	0,015
Шеллак, камедь . . . . .	390	0,01	4,0	87	210	0,015
Смолы на основе фенола . . . . .	400	0,01	4,3	96	220	0,025
Кумароно-инденовые смолы . . . . .	520	0,01	4,4	96	210	0,015
Пресспорошки на основе ацетата целлюлозы	320	0,01	4,3	83	158	0,025
Пентаэритритол . . . . .	450	0,01	4,6	69	151	0,030
Ацетат целлюлозы . . . . .	410	0,015	4,8	56	123	0,035
Смолы на основе лигнина . . . . .	450	0,00	4,85	53	190	0,010
Хлопчатобумажные очесы . . . . .	470	0,025	4,7	61	210	0,050
Древесная мука . . . . .	430	0,020	4,4	58	146	0,040
Пресспорошки на основе фенола . . . . .	490	0,01	4,4	63	146	0,030
Синтетический каучук . . . . .	320	0,03	4,1	52	131	0,030
Фталевый ангидрид . . . . .	650	0,015	3,4	89	119	0,015
Пресспорошки на основе метилметакрилата	440	0,015	4,0	40	84	0,020
Пресспорошки на основе мочевины . . . . .	450	0,08	4,4	50	127	0,075
Пресспорошки на основе полистирола . . . . .	560	0,04	3,5	52	116	0,015
Смолы на основе мочевины . . . . .	470	0,08	4,6	24	60	0,070
Смолы на основе полистирола . . . . .	490	0,12	3,1	25	46	0,020
Смолы на основе винила . . . . .	530	0,16	3,4	18	34	0,040
Казеин . . . . .	520	0,06	3,4	13	35	0,045
Пресспорошки на основе винила . . . . .	690	—	—	—	—	—
Хлорированные углеводороды жирного ряда	840	—	—	—	—	—



Для тушения и локализации небольших пожаров магния в зарубежной практике применяют асбест и тальк. При больших пожарах их использование может привести к усилению горения. Под действием высоких температур они выделяют кристаллизационную воду, которая, разлагаясь, выделяет водород. Для тушения магния употребляют также песок, полевой шпат, кварцевую пыль, карбонат и бикарбонат натрия, тяжелые нефтяные масла и др.<sup>12, 13, 14</sup>

По американским данным, эффективные и надежные средства для тушения больших пожаров магния пока еще не разработаны; однако имеются сведения о тушении пожара магния в количестве 680 кг при помощи порошкового состава на основе графита (расход порошка составил около 1000 кг при скорости подачи 1 кг/сек). Отмечается, что тушение происходит при покрытии горящего металла сплошным слоем порошка толщиной около 1,5 см. Кроме графита выпускаются также составы на основе поваренной соли. Интересно отметить, что в практике некоторых американских пожарных команд успешное тушение пожаров магния было достигнуто применением мощных водяных струй, подаваемых на безопасном расстоянии. Тушение в этом случае основано на быстром охлаждении очага пожара и самого металла большими количествами воды и может быть успешным только при отсутствии мелкой магниевой стружки или пыли<sup>15, 16</sup>.

Для тушения пожаров магния в замкнутых объемах, по новейшим американским данным<sup>16</sup>, лучший результат дает применение трехфтористого бора, присутствие которого в самых незначительных количествах резко замедляет скорость окисления магния и повышает температуру его самовоспламенения. При тушении рекомендуется поддерживать огнегасительную концентрацию трехфтористого бора до тех пор, пока температура металла не снизится до 370°, что гарантирует невозможность повторного загорания. Применяется также треххлористый бор, который значительно менее эффективен (при тушении треххлористым бором требуется создавать концентрацию его в 10 раз большую, чем в случае применения трехфтористого бора) и выделяет при тушении пары соляной кислоты, обладающие раздражающим действием.

К магнию близок по свойствам кальций. Он способен самовозгораться на воздухе в мелкоизмельченном состоянии, самовоспламеняется при нагревании до 300°. Для его тушения рекомендуются порошковые составы, аналогичные составам для тушения магния.

Значительную пожарную опасность представляет титан. В процессе его получения, когда он находится в виде «губки», а также в измельченном состоянии он активно соединяется с кислородом воздуха и с азотом при температуре выше 800°. На воздухе порошок титана загорается при температурах 330—590°, а в углекислом газе — при 680°. Самовозгорание титановой стружки возможно при нормальной температуре в случае попадания на нее масла.

По вопросу о возможности успешного тушения пожаров титана имеются различные точки зрения. Некоторые американские специалисты считают, что эффективное тушение пожаров больших количеств титана известными огнегасительными средствами невозможно. Сравнительно небольшие пожары титана могут быть потушены крупнораспыленной водой. Применение четыреххлористого углерода, а также, вероятно, и других галоидопроизводных углеводородов, не дает положительных результатов. Эффективность применения графита, сухого песка и других порошкообразных веществ и составов является сомнительной и требует дополнительного изучения. Следует отметить, что прекращение горения титана может быть достигнуто путем окружения горящего металла кольцом из огнегасительного порошка, так как горение титана ограничивается в этом случае периметром такого кольца.

Американские нормы<sup>17</sup> предусматривают ряд профилактических требований при производстве и использовании титанового порошка: изготовление его должно производиться в воде или инертной атмосфере, сушка — в вакуум-сушилках при температуре не выше 110°. Работа с сухим порошком титана должна производиться в специальных герметичных установках, где необходимо создавать инертную атмосферу (для углекислого газа содержание кислорода не допускается, для аргона — допускается не более 4%, для азота — не более 6% и для гелия — 8%). Правилами техники безопасности предусматривается применение обуви с мягкими подошвами и одежды из негоряемого материала без карманов, установка взрывобезопасного оборудования и другие мероприятия.

Для тушения пожаров рекомендуется использование систем с инертными газами (аргон или гелий), рассчитанных на объемное или местное тушение. Огнетушители с зарядом из сухого порошка могут применяться для локализации пожаров.

**Цирконий.** Температура воспламенения порошкообразного циркония в воздухе близка к 160°, в атмосфере азота — к 530°, в углекислом газе — 560°. При температуре до 50° порошок устойчив в воздухе или под слоем воды. При высоких температурах цирконий энергично соединяется с фосфором, серой, галоидами и другими неметаллами<sup>14</sup>.

Причинами пожаров циркония могут быть тепловые импульсы, разряды статического электричества, трение, ударная нагрузка и др. Так, при распылении в воздухе в виде облака порошок циркония может самовозгораться от действия наведенных зарядов статического электричества. Смоченный водой порошок циркония более безопасен в обращении, так как он труднее загорается, но при этом развитие пожара после загорания происходит очень интенсивно, так как металл разлагает воду, соединяясь с кислородом, причем происходит сильное разбрасывание порошка. Наиболее опасен порошок с содержанием 5—10% воды. По американским данным<sup>10</sup>, пожары циркония при хранении на складе могут также происходить внезапно и без явных причин.

Для тушения сравнительно небольших количеств циркония могут быть использованы пена (при условии высокой интенсивности ее подачи), а также сухой песок и порошковые составы, применяемые для тушения пожаров магния. Для локализации пожара и охлаждения не участвующего в горении металла могут быть использованы спринклерные системы (при количестве металла в боксе не более 180—220 кг); способы надежного тушения больших количеств металла пока не разработаны.

При хранении больших количеств циркония необходимо принимать такие меры предосторожности, как разделение хранилищ на отдельные боксы с огнестойкими преградами вместимостью не более 200 кг металла каждый и применение устройств, предохраняющих склад от затопления водой.

Значительную пожарную опасность могут представлять также мелкоизмельченные торий и гафний (имеющие аналогичные с титаном и цирконием свойства), церий, который загорается при  $160^{\circ}$ , селен и некоторые другие металлы. Обладает способностью к самовозгоранию мокрая цинковая пыль. Сплавы указанных выше металлов более склонны к самовзрыванию, чем чистые компоненты<sup>14</sup>.

Уран<sup>16, 18</sup> в мелкоизмельченном состоянии может загораться при обычной температуре, горение порошка протекает с развитием высокой температуры, что препятствует применению таких средств тушения как вода и углекислота. Анализ причин взрывов и пожаров показывает, что существенное влияние на самовозгорание и воспламенение урана оказывает присутствие водорода. Самовозгорание урана и других указанных выше металлов, которые либо были получены из их гидридов, либо подвергались действию воды, может возникнуть часто без явных причин. Могут быть также случаи самовозгорания или взрывов урана не только на воздухе (урановый порошок легче загорается во влажном воздухе, чем в сухом), но и во влажной атмосфере аргона. Установлено также, что с водяным паром горящий уран реагирует более энергично, чем с кислородом воздуха.

Для тушения урана рекомендуются порошковые составы, изолирующие его от кислорода воздуха. Наиболее подходящим для этой цели является фтористый кальций.

Плутоний в порошкообразном состоянии имеет, кроме свойств, аналогичных свойствам урана, сильные токсические свойства<sup>18</sup>.

По последним американским данным<sup>16</sup>, одно из боропроизводных — триметоксибороксин — может быть использовано в качестве заряда для огнетушителей, предназначенных для тушения титана, циркония, магния и других металлов. Тушение при использовании этого нового огнегасительного вещества достигается за счет образования на поверхности металла плотной корки из соединений бора.

Испытания пылей титана, циркония, тория, урана и их гидридов показали, что порошки урана, гидрида урана и гидрида тория,

рассыпанные тонким слоем, самовозгораются при комнатной температуре после нескольких минут пребывания их на воздухе. Остальные порошки загораются при температурах 100—540°.

При комнатной температуре распыленные в воздухе порошки урана, гидрида урана и циркония загораются сразу. Титан, торий и их гидриды в виде мелкого порошка или пыли, взвешенных в воздухе, загораются при температурах 260—500°.

Достаточным импульсом для воспламенения всех этих порошков может явиться слабая электрическая искра, а при действии мощного разряда некоторые из них загораются в углекислоте. Энергия загорания в слое — от 1 до 3 микроджоулей, в облаке пыли — от 3 до 200 микроджоулей. Нижний концентрационный предел взрыва пыли — от 45 до 300 г/м<sup>3</sup>. При взрывах в бомбе давление поднимается до 8,9 кг/см<sup>2</sup> при средней скорости нарастания давления до 360 кг/см<sup>2</sup>·сек и максимальной скорости нарастания давления до 700 кг/см<sup>2</sup>·сек.

Таблица 4

Металл	Температура воспламенения		Максимальное давление, кг/см <sup>2</sup>	Скорость нарастания давления, кг/см <sup>2</sup> ·сек	
	в слое порошка	в облаке пыли		средняя	максимальная
Алюминий . . . . .	538—586	643—700	4—4,4	74—152	158—400*
Сурьма . . . . .	332	414	1,4	6	10
Кадмий . . . . .	250	570	—	—	—
Хром . . . . .	675**	900	—	—	—
Медь . . . . .	270**	700	—	—	—
Сплав магний—алюминий	470—480	534—430	3,9—4,4	112—165	180—210
Железо . . . . .	280—460	315—780	2,5	—	—
Свинец . . . . .	270—300	710—580	—	—	—
Магний . . . . .	475—525	520—540	4,6—5,1	102—112	220—335*
Марганец . . . . .	—	450	2,2	15	28
Кремний . . . . .	705	950	4,4	31	83
Олово . . . . .	430	630	2,4	35	60
Титан . . . . .	430	498	3,6	53	116
Цинк . . . . .	498	600	2,5	50	95
Цирконий . . . . .	210	20	2,9	42	180

\* Величина сомнительная, так как возможно в опыте допущена ошибка.

\*\* При данной температуре стало заметно окисление. Горения не было.

В табл. 4 приводятся данные по воспламенению некоторых металлических пылей<sup>10</sup>.

Скорость распространения пламени по облаку пыли при равномерном ее распределении в объеме воздуха — от 600—990 м/сек до 1800 м/сек в отдельные моменты.

### **Борьба со взрывами в химической промышленности**

По нормам для электроустановок и правилам страхового общества США взрывоопасными считаются следующие положения:

#### **Класс I**

Группа А — атмосфера, содержащая ацетилен.

Группа В — атмосфера, содержащая водород и другие газы с эквивалентной опасностью.

Группа С — атмосфера, содержащая пары этилового эфира.

Группа Д — атмосфера, содержащая пары газаolina, бензина, спирта, ацетона, растворителей\*, естественный газ.

#### **Класс II**

Группа Е — атмосфера, содержащая металлическую пыль.

Группа F — атмосфера, содержащая угольную и коксовую пыль.

Группа G — атмосфера, содержащая зерновую пыль.

#### **Класс III**

Помещения, где обрабатываются сгораемые волокнистые материалы.

#### **Класс IV**

Помещения, где хранятся легковоспламеняемые волокна.

Для предупреждения взрывов применяется подача в обычную атмосферу азота, углекислоты или инертного газа с целью уменьшения концентрации кислорода.

В табл. 5 приводятся данные о максимально допустимых концентрациях кислорода в атмосфере при добавлении к воздуху в качестве инертной среды азота, углекислоты и инертного (выхлопного) газа.

Давления, развиваемые при взрывах смесей некоторых газов и паров с воздухом, а также пыле-воздушных смесей, приводятся в табл. 6.

---

\* Растворителем считается всякая горючая жидкость с температурой вспышки ниже 43°.



Таблица 5

Газ или пары жидкости	Максимально допусти- мое содержание кисло- рода (%) в инертной среде			Количество единиц объема инертной среды, дающее в смеси с еди- ницей объема горючего газа безопасную смесь при любом смешении с воздухом		
	азота	углеки- слоты	инерт- ного (выхлоп- ного) газа	азота	углеки- слоты	инерт- ного (выхлоп- ного) газа
Водород . . . . .	5	5,9	5,1	16,5	10,2	11,0
Окись углерода . . . . .	5,6	5,9	5,6	4,1	2,2	2,4
Этилен . . . . .	10,0	11,7	10,2	15,3	9,0	9,8
Метан . . . . .	12,1	14,6	12,3	6,0	3,2	3,5
Этан . . . . .	11,0	—	—	12,8	—	—

Таблица 6

Вещество в смеси с воздухом	Давление взрыва, кг/см <sup>2</sup>	Вещество в смеси с воздухом	Давление взрыва, кг/см <sup>2</sup>
Аммиак . . . . .	3,5	Зерно . . . . .	2,6—3,2
Бромистый этил . . . . .	1,8	Древесина . . . . .	2,6—3,1
Бутан . . . . .	7,3	Сера . . . . .	2,2—2,9
Дихлорэтилен . . . . .	5,3	Резина . . . . .	2,5—4,0
Пропан . . . . .	7,3	Пробка . . . . .	2,7
Газолин . . . . .	7,0	Удобрения . . . . .	2,4—3,6
Хлористый этил . . . . .	6,1—6,9	Лекарства . . . . .	1,5—3,0
Хлористый метил . . . . .	4,8—5,7	Смолы, воск, мыла . . . . .	2,2—4,2
Светильный газ . . . . .	6,7	Уголь . . . . .	1,7—3,4
Этан . . . . .	7,6	Пластмассы и смолы . . . . .	3,1—4,8

Американская промышленная статистика<sup>20</sup> показывает (по данным до 1948 г.), что из общего числа взрывов, принесших значительный ущерб — 724, наибольшее количество взрывов приходится на элеваторы — 177, деревообрабатывающие заводы — 106, мельницы — 100, предприятия химической промышленности — 83 и предприятия, связанные с производством или получением в виде отходов металлической пыли, — 59.

Как уже отмечалось, борьба со взрывами имеет большое значение для предприятий химической промышленности. Наряду с вышеупомянутыми профилактическими мероприятиями, устройством вышибных проемов и др., в Англии разработан способ предотвращения развития взрыва, позволяющий ограничить величину нарастающего при взрыве давления до пределов, не представляющих опасности для емкостей, зданий и сооружений<sup>21, 22, 23, 24</sup>.

Способ подавления взрыва был разработан английской фирмой «Гравинер» в начале для защиты от взрывов самолетных баков, а затем использован для борьбы со взрывами пылей на химических производствах, при приготовлении древесной муки и т. д. Этот способ рекомендуется также для защиты дизельных двигателей, компрессорных установок, химических аппаратов, в которых проводятся каталитические процессы, размольного и пылеподающего оборудования, циклонов и фильтров, электростатических установок высокого напряжения и др.

Подавление взрыва достигается путем распыления огнегасительной жидкости, например, четыреххлористого углерода, бромистого метилена и др. При этом происходит уменьшение скорости и затем полное прекращение процесса горения, в связи с чем нарастание давления прекращается, не достигая опасных значений.

Устройство для подавления взрывов состоит из чувствительного датчика давления, который замыкает электроцепь малоинерционного детонатора в случае нарастания давления со скоростью около  $0,35 \text{ кг/см}^2 \cdot \text{сек}$  или при достижении заданного давления, которое может быть очень невысоким —  $0,035 \text{ кг/см}^2$  (промышленный образец датчика имеет регулируемый диапазон срабатывания в пределах  $0,04—0,18 \text{ кг/см}^2$ ), и огнегасительного устройства, содержащего жидкий состав. Этот состав помещен в сосуд полусферической или бутылкообразной формы, внутри которого расположен и детонатор. При взрыве детонатора стенки сосуда, изготовляемого из хрупкой пластмассы или из тонколистового металла, раздробляются, и жидкость распыляется по объему защищаемого пространства.

По экспериментальным данным, для смеси гексана с воздухом взрыв детонатора происходит через 10 миллисекунд после начала взрыва. Тушащая жидкость распыляется в виде тумана со скоростью, превышающей  $60—90 \text{ м/сек}$ . Эта скорость значительно больше скорости движения фронта пламени, вследствие чего обеспечивается быстрое подавление взрыва в замкнутом объеме. Подавление взрыва достигается за 15 миллисекунд, при этом максимальная величина давления достигает не более, чем  $0,2 \text{ кг/см}^2$ .

Применение сосудов с огнегасительным составом емкостью 100 см<sup>3</sup> позволяет подавлять взрыв в радиусе 120—150 см, 225 см<sup>3</sup> — в радиусе 150—180 см и 540 см<sup>3</sup> — в радиусе 240—300 см.

Проверка промышленной установки, проведенная на одном из шведских заводов (в помещении 2,55×2,85×2,35 м были установлены 10 5-литровых емкостей с огнегасительным составом) путем взрыва пропано-воздушной смеси от мощной электрической искры, показала, что максимальная величина давления в помещении достигла всего 0,11 кг/см<sup>2</sup>. В настоящее время разработаны также устройства для защиты трубопроводов, в которых быстрое выбрасывание огнегасительного состава достигается за счет применения сжатого под давлением 18 кг/см<sup>2</sup> азота. При таком способе подачи 3 л жидкости выбрасывается за 150 миллисекунд.

Установками описанного выше типа за последние 5 лет было подавлено 35 взрывов, причем во всех случаях основное оборудование установок не пострадало<sup>25</sup>. Из 35 успешно предупрежденных аварий 14 приходится на взрыв в производственных помещениях, где получают или применяют серу и ее смеси, 12 — взрывы древесной муки, 3 — пиритов, 3 — ацетата целлюлозы, 2 — пыли зерна и 1 — сахарной пыли.

Этот способ не может быть успешно применен для борьбы со взрывами металлических пылей, так как температура их горения очень высока, и огнегасительные составы разлагаются. Это относится и к веществам, выделяющим при горении или разложении кислород.

Для защиты от взрывов металлических пылей рекомендуется применение вышибных проемов, исходя из нормы 1 м<sup>2</sup> площади проема на каждые 7,7 м<sup>3</sup> помещения.

Тот же принцип быстрого разрушения сосуда, заполненного жидкостью, при взрыве детонатора, цепь которого замыкается малоинерционным датчиком, используется для мгновенного открывания вышибных проемов с целью защиты здания от разрушения. Проем выполняется в виде 2 стеклянных или пластмассовых дисков, закрывающих с двух сторон пространство, заполненное жидкостью. По данным журнала «Энджиниринг», такое устройство обеспечивает эффективность применения вышибных проемов, практически равную той, которая имела бы место, если бы эти проемы совсем не были закрыты. Этот принцип использован также для устройства быстросрабатывающих клапанов, преграждающих распространение взрыва по трубопроводам или проходам в соседние емкости или помещения — срабатывание клапана на трубопроводе диаметром 200 мм происходит за 80 миллисекунд.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. I. H. Hutchinson, Fire Protection in a Chemical Factory. Fire, 48, 600, 17 (1955).
2. Pesonen Pekka, Ruiskumaalaus ja palonvaara, «Tehostaja», 5, 74, 77—78 (1957).

3. S. C. Tarrit, Fall River Rubber Fire, Quarterly of NFPA, **35**, часть 1, 3, 249—268 (1942).
  4. Singaporés Largest Rubber Factory Swept by Fire. Fire, **43**, 543, 66 (1950).
  5. Fire Tests on Rubber Fire Storage, The Rubber Age, **V**, 65, 2, 180—181 (1949).
  6. Fighting Fire in the Rubber Factory with Carbon Dioxide, The Rubber Age, **IV**, 47, 1, 172—174 (1940).
  7. What Fireman should know about Plastics, Fire, **IX**, 45, 567, 65—66 (1952).
  8. Fire Hazard of Plastics, Fire Engineering, **112**, 4, 290—291, 306, 307 (1959).
  9. The Hazards of Syntetic Plastics, Mechanical Engineering, **72**, 12, 987—989 (1950).
  10. G. E. Stecker, Fire Prevention and Fire Protection Fundamentals, 1953.
  11. The Fire Hazard of Magnesium, Safety Maintenance, **114**, 4, 62 (1957) октябрь.
  12. Quarterly of the NFPA, 1944, май.
  13. A. Webster, Fire Hazards of Metals, Fire Protection Review, **X**, 17, 168, 651—652 (1954).
  14. B. Holman, Metals and Fire Risks, Fire **XI**, 46, 581, 107—109 (1953).
  15. Manual of Firemanship, часть 1, 15 (1943).
  16. P. F. Degaeta and A. A. Weintraub, Fire and Explosion on Metals (приводится библиография—10 источников), Fire Engineering, **112**, 6, 461—463 (1959).
  17. National Fire Protection Association, 481—P—1956.
  18. The Institut of Fire Engineers Quarterly, **18**, 29, 27 (1958) январь — март.
  19. National Fire Codes, **11**, V, NFPA Boston, 1958.
  20. Crosby—Fiske—Forster. Handbook of Fire Protection, 1958.
  21. Explosion Suppression, Flight, **60**, 2240, 796—798 (1951).
  22. Suppression of Explosions in Industrial Plants, Engineering, **177**, 4603, 493—495 (1954).
  23. D. W. Merewood, Industrial explosion protection, Brit. Chem. Engineering, **3**, 4, 188—190 (1958).
  24. Explosion protection and suppression in industry, Graviner Equipment Manual, 1959.
  25. Chemical and Process Engineering, 1959, март.
-

# СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Введение	3
Годжелло М. Г., Коршак З. В., Толчинский С. С., Светлова Л. М. Основные физико-химические свойства и показатели взрыво- и пожароопасности некоторых веществ	8
Розловский А. И., Ройзен И. С., Середина Н. П., Сущев П. Г. Пределы взрываемости некоторых смесей технических углеводородов с кислородом	87
Баратов А. Н. Зависимость нижних концентрационных пределов воспламенения газо-воздушных смесей от молекулярной структуры горючих компонентов	97
Фетисов П. А. Воспламеняющая способность электрического искрения в различных газо-паро-воздушных взрывчатых смесях	110
Ройзен И. С., Медведева В. С. Статическое электричество и меры по борьбе с ним в химической промышленности	130
Тaubкин С. И. Горючесть пленок лаков	159
Годжелло М. Г., Коршак З. В. О нормировании ослабленных проемов для зданий и сооружений	161
Стрижевский И. И., Бородулин А. А., Канер Б. Л. Защита ацетиленовых трубопроводов от разрушения	172
Годжелло М. Г. Применение негорючих газов и паров для предупреждения взрывов и пожаров	191
Розловский А. И., Ройзен И. С., Сущев П. Г. Применение азото-воздушных смесей для передавливания горючих жидкостей, в частности изопропилового спирта	195
Ройзен И. С. Использование пластмасс и синтетических материалов для борьбы с пожаро- и взрывоопасностью производств	199
Годжелло М. Г. Новый способ очистки сероуглеродных резервуаров от шлама	213
Розловский А. И., Ройзен И. С., Сущев П. Г., Феррари Е. А. Выбор легированных сталей для изготовления взрывобезопасных вентиляторов	216
Жданов С. М., Макаров В. М. Автоматические пожарные извещатели	223
Мантуров Н. И., Овсейчик Т. Г. Огнегасительные составы на основе бромистого этила	242
Петров И. И., Реутт В. Ч. Тушение пожаров горючих жидкостей в резервуарах методом перемешивания	249
Соловьев А. А., Петров И. И., Крайнов А. П., Усатенко В. И. Борьба с пожарами на предприятиях искусственного волокна	273
Родэ А. А., Сухов Я. В., Матвеева Г. И. Пожарная опасность и тушение пожаров щелочных металлов — натрия и калия	275
Павлов П. П., Селина В. Г., Гогельганс Р. Г. Тушение пожаров диэтилового эфира химической пеной	293
Антонов Н. М., Лабеев Н. Ф., Сучков А. А. Тушение пожаров резины, каучука и триацетатной кинопленки	298
Кучер В. М. Химический пенный огнетушитель ОП-5	304
Тaubкин С. И., Колганова М. Н. Огнезащитные краски	309
Шестаков А. Л. Автоматическая пожарная сигнализация за рубежом	315
Родэ А. А. Пожарная опасность химических производств и некоторых видов продукции химической промышленности (Обзор зарубежной литературы)	329