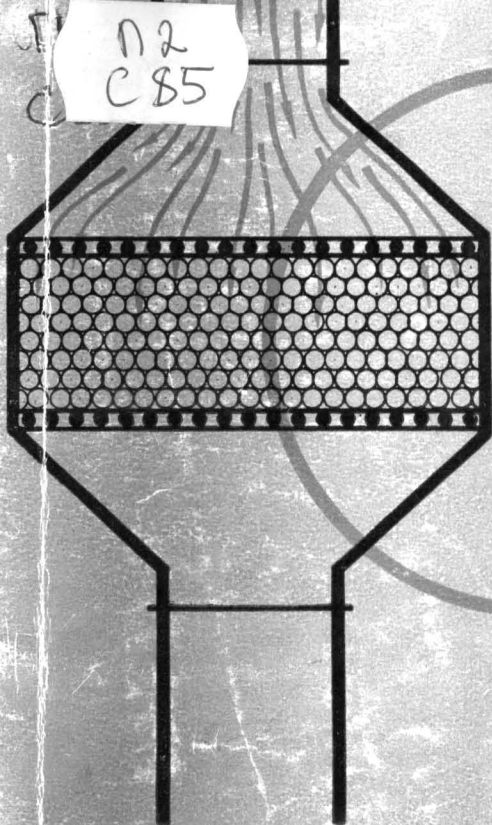


П2
С85

апрель



ЧИТАЛЬНИК

И. И. СТРИЖЕВСКИЙ
В. Ф. ЗАКАЗНОВ

ПРОМЫШЛЕННЫЕ ОГНЕПРЕГРАДИТЕЛИ

И. И. СТРИЖЕВСКИЙ,
В. Ф. ЗАКАЗНОВ

П. 2
С 85

ПРОМЫШЛЕННЫЕ ОГНЕПРЕГРАДИТЕЛИ

87371



ИЗДАТЕЛЬСТВО «ХИМИЯ»
МОСКВА • 1966

В книге изложены основные положения, характеризующие ламинарное и детонационное горение газовых смесей, а также условия гашения пламени в узких каналах. Описаны различные типы огнепреградителей, ориентировочный расчет их гасящих способностей. Рассматриваются вопросы, связанные с сопротивлением огнепреградителей газовому потоку. Приведено описание жидкостных предохранительных затворов, а также способов испытаний сухих огнепреградителей и жидкостных затворов. Даны рекомендации по устройству и применению огнепреградителей.

Книга рассчитана на научных работников, инженеров проектных организаций и промышленных предприятий.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	5
Глава I. Ламинарное горение и детонация	7
Глава II. Локализация пламени в сухих огнепреградителях	
Механизм гашения пламени в узких каналах	13
Обзор экспериментальных работ по гашению пламени в узких каналах	15
Постоянство критерия Пекле на пределе гашения пламени	18
Глава III. Ориентировочный расчет гасящей способности огне- преградителей	34
Глава IV. Сухие огнепреградители	43
Классификация сухих огнепреградителей	43
Огнепреградители для медленногорящих газо- и паро- воздушных смесей	45
Насадочные огнепреградители	45
Кассетные огнепреградители	57
Пластинчатые огнепреградители	63
Сетчатые огнепреградители	64
Огнепреградители для быстрогорящих газо-воздушных смесей	67
Огнепреградители для кислородных смесей горючих газов и паров	69
Глава V. Огнепреградители для ацетилена низкого и высоко- го давления	77
Гашение пламени ацетилено-азотных смесей	89

<i>Глава VI. Сопротивление огнепреградителей</i>	98
<i>Глава VII. Испытания сухих огнепреградителей</i>	108
<i>Глава VIII. Жидкостные предохранительные затворы</i>	116
Предохранительные затворы для природных, городских и коксовых газов	127
Испытания и приемка затворов	127
Техника безопасности при эксплуатации предохранитель- ных водяных затворов	131
Обслуживание водяных затворов в холодное время года	132
<i>Глава IX. Рекомендации по устройству и применению огне- преградителей</i>	137
<i>Литература</i>	142

ВВЕДЕНИЕ

①
[В СССР вопросам создания безопасных условий труда в народном хозяйстве уделяется огромное внимание. В Программе КПСС записано: «Всемерное оздоровление и облегчение условий труда — одна из важных задач подъема народного благосостояния.»] На всех предприятиях будут внедрены современные средства техники безопасности и обеспечены санитарно-технические условия, устраняющие производственный травматизм и профессиональные заболевания»*.

[В Директивах XXIII съезда КПСС по пятилетнему плану развития народного хозяйства СССР на 1966—1970 годы указано: «Обеспечить более широкое внедрение на предприятиях современных средств **техники безопасности и создание санитарно-гигиенических условий.**»] Увеличить производство и улучшить качество необходимых для этого машин и приспособлений, а также специальной одежды и обуви. Предусмотреть создание для указанных целей специализированных производств**.

[Особое значение придается проблеме обеспечения взрывобезопасности при работе с горючими газами и жидкостями. При технологической переработке горючих газов и легковоспламеняющихся жидкостей взрывоопасные газовые смеси могут образоваться в результате утечки горючих газов из аппаратов в производственные помещения или подсоса атмосферного воздуха в аппараты, содержащие горючие газы или пары; в случаях нарушений технологических процессов, сопровождающихся образованием взрывчатой смеси при определен-

* Программа Коммунистической партии Советского Союза, Изд. «Правда», 1961, стр. 95—96.

** Директивы XXIII съезда КПСС по пятилетнему плану развития народного хозяйства СССР на 1966—1970 годы. Изд. политической литературы, 1966, стр. 45.

ном соотношении компонентов; при получении и переработке газообразных веществ, способных к взрывному распаду (например, ацетилена, тетрафторэтилена, ви-нилацетилена, окиси этилена и др.)

На всех взрывоопасных производствах должны быть созданы условия, исключающие возникновение поджигающих импульсов (открытое пламя, электрические разряды действующего электрооборудования, разряды статического электричества, искры, возникающие в результате удара или трения, а также искры, образующиеся при проведении сварочных работ, перегретые детали оборудования, ударные волны, возникающие при резком выравнивании давления, и др.).

Минимальное количество энергии, необходимое для инициирования взрыва смесей горючих газов и паров с воздухом, чрезвычайно мало (0,3—0,01 мдж).

② [Взрывобезопасность технологических процессов во многих случаях может быть обеспечена с помощью различных типов огнепреградителей, находящихся все большее применение в химической, газовой, нефтяной, нефтехимической, угольной, машиностроительной и других отраслях промышленности. Огнепреградители устанавливают в трубопроводах, по которым транспортируются смеси горючих газов или паров горючих жидкостей с воздухом, на емкостях с горючими жидкостями, в трубопроводах для выброса газов, в вентиляционных трубах, на ацетиленовых генераторах и многих других системах, где существует опасность взрыва.]

[В качестве огнепреградителей обычно используют насадки из шариков, гофрированные ленты, проволочные сетки, сухие и орошаемые кольца Рашига, металло-керамические фильтры, а также водяные предохранительные затворы.]

В настоящей книге впервые обобщены литературные и опытные данные об огнепреградителях, даны рекомендации для практического их использования и намечены пути дальнейшей работы в области огнепреграждения. Авторы с признательностью примут все замечания по содержанию книги.

ГЛАВА I

ЛАМИНАРНОЕ ГОРЕНИЕ И ДЕТОНАЦИЯ

В процессе горения всегда происходит движение газа. При этом направление движения определяется характером и условиями горения. Так, в сварочной горелке, где образуется стационарное пламя, горючая смесь и продукты сгорания движутся в одном направлении. При поджигании неподвижной горючей смеси, находящейся в трубе, у открытого конца этой трубы пламя распространяется в сторону закрытого ее конца, а продукты сгорания перемещаются в противоположном направлении. Если горючая смесь поджигается у закрытого конца трубы, то пламя распространяется к открытому концу и в том же направлении нагретые продукты сгорания выталкивают еще не сгоревшую смесь.

При сгорании горючей смеси в закрытом сосуде выделяется значительное количество тепла и резко увеличивается давление газа. Вследствие чрезмерной нагрузки, возникшей при горении газовой смеси, может произойти разрушение резервуара или аппарата. Взрыв сопровождается разлетом осколков, распространением волн давления и звуковых волн.

Распространение пламени осуществляется по двум различным механизмам: сравнительно медленном ламинарном горении и очень быстром детонационном горении. Ламинарное горение распространяется путем передачи тепла от слоя к слою. Свежая горючая смесь и продукты сгорания разделены узкой зоной, называемой фронтом пламени, представляющим собой тонкий слой, в котором происходит подогрев горючей смеси и быстрая химическая реакция. Тепло из зоны реакции

благодаря теплопроводности распространяется в исходную холодную горючую смесь и нагревает ее. Происходит также диффузия продуктов реакции и активных радикалов из зоны реакции в исходную смесь и исходной смеси в зону реакции. Таким образом, в нагретой и разбавленной активными радикалами и продуктами реакции смеси начинается химическая реакция, которая перемещается в направлении исходной горючей смеси.

Пламя произвольной формы распространяется по неподвижной горючей смеси от каждой точки фронта пламени по нормали к его поверхности аналогично распространению сферического пламени при зажигании в центре сферы. Такое ламинарное горение, неосложненное внешними возмущениями (когда отсутствуют конвективные потоки смеси вследствие течения газа или турбулентности), называется нормальным, а скорость перемещения такого пламени по неподвижной смеси вдоль нормали к его поверхности — нормальной скоростью распространения пламени u_n . Величина u_n , являясь физико-химической константой горючей смеси, представляет собой минимально возможную скорость распространения пламени горючей смеси данного состава при определенных значениях температуры и давления.

Ниже приведены данные о нормальной скорости распространения пламени различных горючих газовых и паро-газовых систем:

Горючая система	Величина u_n
Некоторые пламена распада при $p \approx 1 \text{ ат}$	2—3 см/сек
Большая часть углеводородо-воздушных смесей	30—50 »
Наиболее быстрогорящая водородо-воздушная смесь	280 »
Большая часть смесей горючих газов с кислородом	несколько м/сек
Наиболее быстрогорящая ацетиленокислородная смесь	15,4 м/сек

Обычно ламинарное горение протекает со скоростями, значительно превышающими приведенные нормальные скорости пламени. В коротких участках труб скорость пламен смесей горючих газов с воздухом может достигать метров и десятков метров в секунду, а кислородных смесей — даже сотен метров в секунду. Такая

большая скорость сгорания объясняется увеличением поверхности фронта пламени благодаря наличию потока горючей смеси с неравномерным распределением скорости по сечению трубы, а также вследствие турбулизации фронта пламени. Так как на единице поверхности фронта пламени в единицу времени сгорает одинаковое количество горючей смеси, скорость сгорания ее возрастает с увеличением поверхности фронта пламени.

Ламинарное горение происходит в основном с дозвуковыми скоростями и при сгорании горючей смеси в трубе с одним открытым концом; давление, вызванное нагреванием, выравнивается с давлением в окружающем пространстве. При ламинарном сгорании смесей насыщенных углеводородов с воздухом в замкнутом сосуде небольшого объема давление возрастает по мере горения, но в каждый данный момент оно является почти одинаковым в различных местах сосуда и увеличивается обычно не более чем в 8—10 раз. Только при определенных аппаратурных условиях рост давления может быть более высоким.

При воспламенении горючей смеси в длинной трубе в результате расширения продуктов сгорания возникают волны сжатия; фронт пламени вместе с газом вовлекается в быстрое движение со скоростью, в 10—20 раз превышающей нормальную скорость распространения пламени.

Дальнейшее развитие процесса связано с турбулизацией потока газа перед фронтом пламени, теряющим свои плавные очертания и переходящим в турбулентную область сгорания. С увеличением эффективной поверхности пламени его скорость возрастает так же, как температура и давление ударной волны, которая образуется перед фронтом пламени. Прогрессивное увеличение скорости пламени происходит до тех пор, пока в волне сжатия не возникают условия для адиабатического самовоспламенения смеси, т. е. детонации [1, 2].

Таким образом, при детонации пламя распространяется не в результате теплопроводности, а вследствие воздействия ударной волны, приводящей к быстрому нагреву и самовоспламенению смеси. За ударной волной возникает зона быстрой реакции; вместе они образуют детонационную волну, которая распространяется со скоростью 1,5—3,5 км/сек.

Скорость детонации определенной газовой смеси в широкой гладкой трубе зависит не от диаметра трубы или начального давления и температуры смеси, а только от теплоты реакции и состава смеси.

Стационарность процесса распространения детонации обусловлена тем, что скорость детонации значительно превышает скорость звука, т. е. скорость распространения в свежем газе возмущений, вызываемых сгоранием. Поэтому детонационная волна распространяется в газе при неизменном начальном его состоянии и с постоянной скоростью.

Длина преддетонационного участка, т. е. расстояние от точки зажигания до места возникновения детонации, определяется в основном отрезком пути, необходимым для развития пограничного слоя и турбулизации газа в волне сжатия [3]. Преддетонационное расстояние уменьшается с увеличением давления горючей смеси и возрастает с увеличением длины и диаметра трубы. Удлинение трубы как бы создает перед фронтом пламени больший объем газа, и это замедляет рост плотности и температуры свежей смеси при поджати ее за счет расширения продуктов сгорания.

Детонация имеет природу направленного разрушительного удара и при недостаточной прочности сосуда, в котором она распространяется, дробит его стенки. Когда ударная волна достигает плоской неподвижной преграды, расположенной нормально направлению волны, то от преграды распространяется отраженная ударная волна в обратном направлении. При этом в месте отражения происходит примерно двукратное увеличение давления по сравнению с давлением в падающей волне [4].

Детонация обычно распространяется в более узких пределах, чем ламинарное пламя (табл. 1).

Для детонации горючей смеси необходимым условием является полное или почти полное ее сгорание в зоне химической реакции, следующей за ударной волной. Легче всего детонация возникает в трубах при сгорании ацетилена и водорода в смеси с кислородом или с воздухом, смесей углеводородов с кислородом, а также при взрывном распаде ацетилена, озона и других эндотермических соединений.

Смеси практически всех предельных углеводородов с воздухом могут детонировать в узких концентрацион-

Концентрационные пределы распространения ламинарного пламени и детонации [1,5]

Горючий газ	Содержание горючего в смеси с воздухом, %		Содержание горючего в смеси с кислородом, %	
	ламинарное пламя	детонация	ламинарное пламя	детонация
Водород	4—75	18,2—58,9	4,0—94,0	20—90,0
Метан	5,3—14	8,5—11,0	5,1—61	10,0—56,0
Пропан	2,2—9,5	—	3,0—66,0	3,2—37,0
Диэтиловый эфир	1,9—48	2,8—4,5	2,0—82,0	2,7—40
Окись углерода	—	—	15,5—94,0	38,0—90,0
Аммиак	—	—	15—79	25,4—75,4

ных пределах при условии, если поток является турбулентным.

Приближенно преддетонационное расстояние обратно пропорционально $2/3$ величины давления и прямо пропорционально $2/3$ значения температуры [6]. При значительной турбулентности потока преддетонационное расстояние сокращается до 1—1,5 м.

При наличии в смеси водорода и непредельных углеводородов или при обогащении воздуха кислородом преддетонационное расстояние уменьшается еще больше.

Условия возникновения детонации стехиометрических смесей с воздухом водорода, метана, этилена, этана и пропана в трубах различного диаметра и проникновение из них в большой резервуар описаны в работе [7].

В некоторых случаях происходит нестационарное быстрое горение, при котором впереди фронта пламени распространяется ударная волна с амплитудой, недостаточной для воспламенения горючей смеси за время ее сжатия. Но если проходящая ударная волна на своем пути встречает преграду (например, торец трубы), то при ее отражении в газе, сжатом волной, скачком повышается температура (примерно в 2 раза) и создаются условия для воспламенения сжатой несгоревшей смеси. Развивающееся у торца трубы местное давление может значительно превысить давление отражения при детонации. Так, при поджигании пропано-воздушной смеси (4% пропана) капсюлем-детонатором в трубе ди-

аметром 305 мм, длиной 6,7 м и начальном давлении смеси 1 кг/см² давление у торца трубы в режиме нестационарного горения составляло 470 кг/см². В этих же условиях в случае детонации смеси C₃H₈+5O₂ максимальное давление составляло 202 кг/см², т. е. было в 2,3 раза меньше [8].

Если воспламенение горючей смеси происходит не в непосредственной близости к торцу трубы, а на некотором удалении от него во фронте ударной волны, то развивающееся кратковременное максимальное давление может быть еще большим.

В табл. 2 приведены сравнительные данные, характеризующие взрывной распад ацетилена при детонации и режиме нестационарного быстрого горения [9].

Таблица 2

Режимы взрывного распада ацетилена

Начальное давление ацетилена ат	Давление в торце трубы кг/см ²	Скорость пламени в торце трубы или детонации м/сек	Длина разрушенного участка трубы, м
Режим нестационарного быстрого горения (диаметр трубы 360 мм, длина 21 м)			
1,6	1050	1490	1,0
2,0	785	1800	2,5
2,2	745	—	2,5
Режим детонации (диаметр трубы 100 мм, длина 21 м)			
1,6	263	1970	Повреждения отсутствуют То же »
2,0	235	2030	
2,3	310	1940	

Для локализации ламинарного и детонационного пламени горючих газовых и паро-газовых смесей применяют сухие и жидкостные огнепреградители. В связи с разрушительным действием детонации и нестационарного быстрого горения огнепреградители должны отличаться повышенной прочностью [10].

ГЛАВА II

ЛОКАЛИЗАЦИЯ ПЛАМЕНИ В СУХИХ ОГНЕПРЕГРАДИТЕЛЯХ

МЕХАНИЗМ ГАШЕНИЯ ПЛАМЕНИ В УЗКИХ КАНАЛАХ

Известно, что гашение пламени в канале, заполненном горючей смесью, происходит лишь при некоторой минимальной величине диаметра канала, определяемой химическим составом и давлением горючей смеси.]

[Согласно теории пределов распространения пламени [11], гашение его в узких каналах обусловлено тепловыми потерями из зоны реакции к стенкам канала. Если передача тепла из фронта пламени в исходную горючую смесь является основным процессом, способствующим распространению пламени по холодной смеси, то отдача тепла из зоны реакции стенкам канала и отвод тепла в охлаждающиеся продукты сгорания являются потерями тепла. В узких каналах потери тепла вызывают понижение температуры горения в зоне реакции, растяжение этой зоны, увеличение времени реакции и уменьшение скорости распространения пламени.] При уменьшении диаметра канала увеличивается его поверхность на единицу массы реагирующей смеси, т. е. возрастают потери тепла из зоны реакции на единицу массы смеси. Когда эти потери достигают некоторой критической величины, скорость реакции в пламени настолько уменьшается, что дальнейшее его распространение становится невозможным [12].]

[Действие сухих огнепреградителей основано на гашении пламени в узких каналах, через которые свободно

проходит горючая смесь, а пламя распространяться не может.

Пламегасящая способность огнепреградителя зависит в основном от диаметра гасящих каналов и слабо зависит от их длины. Теплопроводность материала стенок каналов вследствие большой разницы между плотностями газа и твердого тела практически не влияет на скорость теплоотвода из пламени. Так, например, отдача тепла из фронта пламени в стеклянной и медной трубках практически одинакова, хотя теплопроводность меди в 520 раз больше теплопроводности стекла.

На принципе гашения пламени в узких каналах основано действие щелевых огнепреградителей во взрывозащищенном электрооборудовании. Гасящий канал щелевого огнепреградителя образуется узким зазором между фланцами и другими деталями электрооборудования. Взрывобезопасность электрооборудования может быть обеспечена также путем применения огнепреградителей, выполненных из металлокерамики и стеклоткани [13].

Принцип гашения пламени в узких каналах использован для обеспечения безопасности ацетиленовых баллонов. В этих баллонах каналы малых размеров образует плотно набитая пористая масса. Флегматизация ацетоном имеет вторичное значение.

Огнепреградители, локализирующие ламинарное пламя, пригодны для пламегашения и при детонационном режиме сгорания [14]. Однако для преодоления возникающих значительных механических нагрузок (давление при детонации возрастает в несколько десятков раз) огнепреградитель, предназначенный для локализации детонационного горения, должен быть достаточно прочным.

При детонации, как и в случае большой скорости ламинарного сгорания, гашение пламени в огнепреградителе может не предотвратить поджигания горючей смеси за огнепреградителем горячими продуктами сгорания. Это может произойти при быстром проникновении через огнепреградитель горячих продуктов сгорания, вызывающих воспламенение горючей смеси [15—17]. Поэтому для локализации детонационного горения необходимо, чтобы высота огнепреграждающего слоя обеспечивала охлаждение горячих продуктов сгорания.

ОБЗОР ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ РАБОТ ПО ГАШЕНИЮ ПЛАМЕНИ В УЗКИХ КАНАЛАХ

В работах, посвященных гашению пламени, приводятся данные о критических диаметрах каналов ($\delta_{кр}$) для гашения пламени различных горючих газовых и паро-газовых смесей, устанавливается связь между гасящей способностью огнепреградителя и химической природой, а также составом горючих газовых смесей.

При определении зависимости $\delta_{кр}$ от содержания горючих газов (метана, светильного газа и водорода) в смеси с воздухом огнепреграждающим материалом служила перфорированная диафрагма [18]. Установлено, что при атмосферном давлении критический диаметр каналов для наиболее быстрогорящих смесей указанных горючих газов с воздухом составляет соответственно 3,6; 1,8 и 0,8 мм.

В работах [19, 20] описывается гашение пламени в щели, образованной плоскими поверхностями, и в отдельных капиллярах. Найдено, что критический диаметр щели для гашения пламени стехиометрической пропано-воздушной смеси при атмосферном давлении составляет 1,8 мм.

Исследовалось также [21] гашение стехиометрической этилено-воздушной смеси при давлениях ниже атмосферного. Экстраполяция опытных данных показала, что при атмосферном давлении $\delta_{кр}$ составляет 1,35 мм.

Определение величины $\delta_{кр}$ для гашения пламени смесей метана, пропана, городского газа и водорода с воздухом при атмосферном давлении производилось также с помощью насадки из стеклянных шариков [21].

Ниже приведены опытные данные о критических диаметрах каналов для гашения различных составов горючих смесей. Значение $\delta_{кр}$ для водородо-воздушной смеси несколько занижено из-за недостаточной высоты огнепреграждающей насадки (всего несколько слоев).

	Метан	Пропан	Город- ской газ	Водо- род
Содержание горю- чего газа в воз- душной смеси, %	9,2	4,0	19	10
Критический диа- метр каналов, мм	2,9	2,2	1,4	0,7

Изучено [22] гашение пламени стехиометрических метано- и водородо-кислородных смесей с помощью огнепреградителей, выполненных в виде металлокерамических пластин из бронзы и стали. Огнепреградитель крепили с помощью фланцев между двумя латунными трубами диаметром 44,2 мм; одна труба длиной 440 мм, другая — 1560 мм. Концы труб были заглушены. В конце более длинной трубы помещался запал. Взрывной сосуд вакуумировали, а затем заполняли горючей смесью. Проскок пламени через огнепреградитель регистрировался по яркой вспышке в трубе из высокопрочного стекла, соединенной с защищаемой трубой, а также с помощью термомпары.

Показано [22, 23], что при увеличении длины пламегасящего канала в 3 раза предельное давление гашения пламени стехиометрических смесей метана и водорода с кислородом возрастает всего лишь на 30%.

В работах [24, 25] для гашения пропано- и этиленовоздушных пламен использовали металлические сетки с размером ячеек от 0,06 до 5,5 мм. Установлено, что для этих смесей достаточен пакет из четырех-пяти сеток с ячейками размером 2 мм. Определение критического диаметра гашения пламени производилось в зависимости от скорости поступления пламени в огнепреградитель. Поскольку в практических условиях такое определение затруднено, приведенные данные не представляют большой ценности.

Изучение процесса гашения пламени стехиометрической пропано-воздушной смеси в плоской щели при постоянном давлении [26] показало, что в условиях опыта при атмосферном давлении величина критического зазора щели составляет 1,65 мм.

Пламя быстрогорящей бензино-воздушной смеси надежно локализует насадка из гравия (фракции 5—7 и 7—10 мм); если насадка состоит из частиц гравия размером более 10 мм, происходит проскок пламени [27].

В этой же работе показано, что пламя бензино-воздушной смеси гасится с помощью двух латунных сеток с размером ячеек 0,5 мм, установленных на расстоянии 2 мм друг от друга. Для гашения пламени бензино-воздушных смесей могут быть также использованы кассетные и сетчатые огнепреградители.

Влияние формы каналов на гашение пламени проверяли на пластинах толщиной 0,8 мм с одиночными прямоугольными прорезями шириной a (1, 2 и 3 мм) и длиной b (отношение $\frac{a}{b} = \frac{1}{2} - \frac{1}{10}$). Было найдено, что $\delta_{кр}$ для щели составляет 2,5 мм, а для трубки — 5 мм. Увеличение длины пламегасящих каналов мало изменяет пределы гашения пламени, если размеры диаметров каналов меньше критического.

Для ориентировочного расчета диаметра пламегасящего канала Рубаном [27] была использована формула, приведенная в работе [28]. Однако эта формула не учитывает влияния длины каналов на пределы гашения пламени.

При определении критического диаметра каналов для гашения в нормальных условиях пламени воздушных смесей этилена, метана, этана и пропана в трубах различного диаметра найдено [29], что для наиболее быстрогорящей смеси этилена с воздухом $\delta_{кр} = 1,7$ мм, в случае пропана и этана $\delta_{кр} = 2,6$ мм и метана $\delta_{кр} = 3,7$ мм.

Критические условия гашения смесей воздуха с пропаном, бензолом, изооктаном, n -октаном, n -деканом, 1-деканом, n -гексаном, 1-гексеном, n -бутилбензолом изучали в широком диапазоне изменения их состава при давлениях 0,3—0,75 ат в условиях свободного истечения продуктов сгорания [30]. Установлено, что во всех случаях значения $\delta_{кр}$ не намного отличаются между собой при 105 °С и абсолютном давлении 1 ат.

Для стехиометрических смесей этих углеводородов с воздухом $\delta_{кр} = 1,66$ —2,03 мм; для водородо-воздушной смеси при 40 °С и 1 ат $\delta_{кр} = 0,5$ мм.

Ниже приведены значения $\delta_{кр}$ для гашения быстрогорящих кислородных смесей водорода, пропана, этилена и ацетилен в трубах при абсолютном давлении 1 ат в условиях свободного расширения продуктов сгорания [31]:

Горячая смесь . . .	$2H_2 + O_2$	$C_3H_8 + 5O_2$	$C_2H_4 + 3O_2$	$C_2H_2 + 2,5O_2$
Критический диаметр, мм . . .	0,35	0,39	0,29	0,16

Ближкие результаты получены в других исследованиях по гашению быстрогорящих смесей в аналогичных

условиях. Экстраполяция данных, приведенных в работе [32], в диапазоне давлений от 0,3 до 1 ат показала, что для стехиометрической ацетилено-воздушной смеси $\delta_{кр} = 0,8$ мм, для стехиометрической смеси $C_2H_2 + O_2$ $\delta_{кр} = 0,12$ мм. При гашении в щелевом канале [33] стехиометрической смеси $2H_2 + O_2$ $\delta_{кр} = 0,18$ мм.

Изучение [34] процесса гашения пламени смеси $CH_4 + 2O_2$ при детонационном режиме сгорания с помощью металлокерамических фильтров со средним размером пор 0,07 мм показало, что критическое давление этой смеси в условиях опыта составляет 2,5 ат.

В результате изучения пределов гашения пламени при различных условиях (критические диаметр, давление, состав) ряда горючих газовых и паро-газовых смесей накоплен известный теоретический и экспериментальный материал для ориентировочной оценки гасящей способности различных типов огнепреградителей без проведения предварительных опытных работ.

ПОСТОЯНСТВО КРИТЕРИЯ ПЕКЛЕ НА ПРЕДЕЛЕ ГАШЕНИЯ ПЛАМЕНИ

Согласно теории [11] на пределе гашения пламени достигается постоянство безразмерного критерия Пекле Pe

$$Pe = u_n \delta c_0 \rho_0 / \lambda_0 \quad (2,1)$$

где u_n — нормальная скорость распространения пламени;

δ — диаметр гасящего канала;

c_0 — удельная теплоемкость исходной смеси;

ρ_0 — плотность исходной смеси;

λ_0 — теплопроводность исходной смеси.

Возможность проникновения пламени через гасящие каналы зависит в основном от двух главных факторов: физико-химических свойств и состава горючей смеси (в свою очередь определяющих величину u_n) и давления p . Нормальная скорость распространения пламени является основной величиной, определяющей размер гасящих каналов и выбор типа огнепреградителя. Чем величина u_n больше, тем меньшего размера канал требуется для гашения пламени. В значительной мере размеры гасящих каналов огнепреградителя зависят от

начального давления горючей смеси. Поскольку во фронте пламени $u_{np} = \text{const}$, величины $Re_{кр}$ для исходной смеси и продуктов сгорания отличаются между собой незначительно.

Позже было получено [28] выражение, позволяющее определить абсолютное значение критерия Пекле на пределе гашения пламени $Re_{кр}$. Для канала критического диаметра

$$\delta_{кр} = \frac{\kappa_b}{u_b} \sqrt{\frac{32 e A}{RT_b}} \quad (2,2)$$

где κ — температуропроводность смеси;

e — основание натуральных логарифмов;

A — энергия активации реакции в пламени;

R — универсальная газовая постоянная;

T — температура, °К;

b — индекс, относящийся к состоянию, соответствующему продуктам сгорания.

В работе [35] показано, что при $u_{np0} = u_b \rho_b$ и $\kappa_b = \lambda_b / c_b \rho_b$, и полагая в первом приближении, что $\lambda_b = \lambda_0 (T_b/T_0)^{3/4}$ и $c_b/c_0 \approx 1,5$, можно получить выражение

$$Re_{кр} = \left(\frac{T_b}{T_0} \right)^{3/4} \cdot \sqrt{\frac{14,2 e A}{RT_b}} \quad (2,3)$$

Из выражения (2, 3) видно, что величина $Re_{кр}$ не может сильно отличаться для различных горючих смесей. Если принять для оценки величины $Re_{кр}$, что $A = 30$ ккал/моль, $T_b = 2500$ °К, $T_0 = 293$ °К, то получим $Re_{кр} = 76$. Однако величина $Re_{кр}$ не может быть строго постоянной для всех горючих газовых смесей, так как она зависит от энергии активации.

В работе [36] также было получено выражение, позволяющее вычислить абсолютное значение критерия Пекле на пределе гашения пламени:

$$Re_{кр} = \frac{u_{np} \delta_{кр} c_0}{\lambda_0} = \sqrt{\frac{16}{0,409 \cdot 10^{-3} \cdot 78} \cdot \frac{\bar{\lambda}^* \lambda_b}{\lambda_0^2}} \quad (2,4)$$

где λ_b — теплопроводность продуктов сгорания;

$\bar{\lambda}^*$ — среднее значение теплопроводности в интервале температур $T_b - T_0$.

Принимая, что $\lambda_b = 3,35 \lambda_0$ и $\bar{\lambda}^* = 2,17 \lambda_0$ (что соответствует зависимости $\lambda \approx T^{3/4}$), $Re_{кр} = 60,5$.

Следует отметить, что величина энергии активации реакции в пламени A входит в уравнение (2,3) для оценки величины $Re_{кр}$, но будучи равной 20—40 ккал/моль (для большинства горючих газовых смесей) и находясь под корнем в выражении (2, 2), при изменении в два раза изменяет величину $Re_{кр}$ лишь на 35 %.

В работе [37] приводится $Re_{кр} = 46$, рассчитанный из опытных данных.

Для объяснения процесса гашения пламени некоторые авторы [20] применили диффузионную модель, высказав предположение о значительном влиянии поверхности вблизи перемещающегося пламени на дезактивацию активных центров. Влияние поверхности должно проявляться в тонком поперечном слое впереди фронта пламени, когда распространяющееся пламя приближается к входу в узкий канал. Если число молекул, реагирующих в этом слое, будет достаточным для поддержания пламени, то пламя пройдет по узкому каналу, в противном случае оно погаснет.

Используя такую модель распространения пламени, авторы [20] предложили диффузионное уравнение гашения пламени, основанное на гипотезе, что общее число эффективных столкновений в единице объема газовой смеси не должно быть ниже определенного критического значения, чтобы пламя могло распространяться. Это критическое значение рассматривается ими как постоянная часть от общего количества молекул на единицу объема.

Согласно этим представлениям, критический диаметр канала любой геометрической формы определяется по уравнению:

$$\delta_{кр} = \left[\left(\frac{BG}{K} \right) \left(\frac{T_b}{T_0^2 c_r} \right) \left(\frac{1}{\sum p_i / D_i} \right) \right]^{1/2} \quad (2,5)$$

где B — константа диффузионного уравнения, определяемая как доля молекул, которые должны прореагировать в зоне реакции, чтобы пламя могло распространяться;

G — константа, связанная с геометрической формой гасящего канала;

K — удельная константа скорости реакции активных центров одного вида с молекулами горючего, $\text{см}^3/\text{сек}$;

c_T — концентрация молекул горючего, $1/\text{см}^3$;

p_i — парциальное давление активных центров одного вида (i — вид активных частиц), ат;

D_i — коэффициент диффузии активных центров одного вида при температуре и давлении зоны реакции, $\text{см}^2/\text{сек}$.

Несмотря на примерное совпадение величин критических диаметров каналов для гашения пламени ряда бедных углеводородо-воздушных смесей, вычисленных по уравнению (2, 5) и определенных экспериментально, это уравнение обладает рядом серьезных недостатков.

В нем не учитывается теплопроводность газа, хотя известно, что от пламени к стенкам узкого канала отводится значительное количество тепла, в то время как диффузия свободных радикалов к стенкам при таких обстоятельствах является предположительной. Одним из доказательств решающего влияния теплоотвода, а не диффузионных процессов на пределы гашения пламени является неизменность этих пределов независимо от природы различных поверхностей, на которых происходит обрыв цепей [38, 39].

Уравнение (2, 5) не применимо для богатых смесей. Величины B , K , p_i нужно определять для каждой горючей смеси, что очень затруднительно.

В работе [40], используя начальную гипотезу, принятую авторами работы [20] при составлении диффузионного уравнения, выведено тепловое уравнение гашения пламени (2, 6), аналогичное уравнению (2, 5). Различие между уравнениями состоит в определении числа активных соударений на единицу объема, которые должны происходить в зоне реакции, чтобы пламя могло распространяться. Предполагается, что это число является постоянной долей общего количества активных соударений F , происходящих при прохождении пламени через единицу объема. Основываясь на этом предположении, определяют критерий распространения пламени, который устанавливает, что зона реакции должна содержать критическую долю общей теплоты, выделяющейся при горении, чтобы пламя могло распространяться.

Тепловое уравнение гашения пламени имеет вид:

$$\delta = \left(\frac{FGN\lambda x}{c_p \omega} \right)^{1/2} \quad (2,6)$$

где N — общее число молекул в единице объема;
 λ — теплопроводность газа в зоне реакции, $\text{кал}/(\text{см} \cdot \text{сек} \cdot \text{град})$;
 x — мольная фракция горючего;
 c_p — теплоемкость газа в зоне реакции, $\text{кал}/(\text{моль} \cdot \text{град})$;
 ω — скорость реакции, $\text{см}^{-3} \cdot \text{сек}^{-1}$.

В уравнениях (2,5) и (2,6) не учитывается нормальная скорость распространения пламени u_n , являющаяся важной физико-химической константой для оценки условий гашения пламени. Из-за допущенных приближений при выведении уравнения гашения пламени (2,6) в нем отсутствует точное объяснение природы константы F , которую можно определять как константу B в диффузионном уравнении гашения пламени (2,5).

Критические диаметры каналов для гашения пламени смесей пропан — кислород — аргон и пропан — кислород — гелий, полученные экспериментально и рассчитанные по уравнению (2,6), удовлетворительно согласуются. Однако это уравнение не проверено на большем числе горючих газовых и паро-газовых смесей.

В работе [18], относящейся еще к 1933 г., зависимость критического диаметра гашения от скорости распространения пламени, коэффициента теплопроводности газовой смеси, температуры самовоспламенения, теплового эффекта реакции и теплоемкости газа выражается следующей формулой:

$$\delta_{кр} = \frac{4\lambda (T_i - T_0)}{V [Q - c_p (T_b - T_0)]} \quad (2,7)$$

где $\delta_{кр}$ — критический диаметр каналов для гашения пламени;

λ — теплопроводность смеси;

T_i — температура самовоспламенения;

T_0 — начальная температура;

V — скорость распространения пламени (скорость газового потока);

Q — тепловой эффект реакции на единицу объема;

c_p — теплоемкость смеси;

T_b — температура горения.

При выводе этой формулы допущены существенные ошибки. Принято, что из зоны реакции тепло передается только к еще несгоревшему газу, причем отвод тепла возрастает по мере увеличения кривизны фронта пламени; отвод тепла к стенкам канала не учитывается. На самом деле тепло, переданное несгоревшему газу, расходуется на подогрев свежей смеси и возвращается при сгорании подогретой смеси. Кроме того, повышенная отдача тепла к свежему газу, связанная с увеличением поверхности фронта пламени на единицу площади сечения канала, при уменьшении диаметра канала и в отсутствие отвода тепла к его стенкам может вызвать только ускорение распространения пламени.

Температура самовоспламенения не является физико-химической константой горючей смеси и зависит от методики ее измерения и аппаратуры.

Скорость газового потока или распространения пламени является неопределенной величиной, тогда как в формулу для определения критического диаметра гашения пламени должны входить вполне определенные параметры горючей смеси.

Несмотря на такие существенные недостатки, формула (2,7) до сих пор безосновательно рекомендуется для расчета величины $\delta_{кр}$.

Постоянство критерия Пекле на пределе гашения пламени впервые было использовано в работе [41] для характеристики гасящей способности огнепреградителей. При этом экспериментально была определена зависимость критических условий проникновения пламени смесей водорода и окиси углерода с воздухом через насадку из гравия и стальных шаров от состава смеси и размера насадки. Постоянство величины Pe на пределе гашения пламени нашло экспериментальное подтверждение при изменении значений u_n и δ в 10—13 раз. При проведении опытов продукты сгорания свободно вытекали в атмосферу. Разброс значений $Pe_{кр}$ в большей части опытов не превышал $\pm 100\%$.

При детальном определении критических условий гашения пламени в узких каналах [35] изучено задержание пламени с помощью различных огнепреградите-

лей: насадок из стальных шаров диаметром от 2 до 14 мм, насадок из стальных колец Рашига размером 6 и 10 мм, многослойных фильтров из бронзовой сетки, пористых металлических пластин (из металлокерамики) и многослойных фильтров из стеклоткани. Опыты проводили в стальных бомбах высокого давления, установленных в вертикальном положении. Бомбы имели внутренний диаметр от 30 до 61 мм и высоту 200—650 мм и были рассчитаны на давление от 100 до 1000 ат.

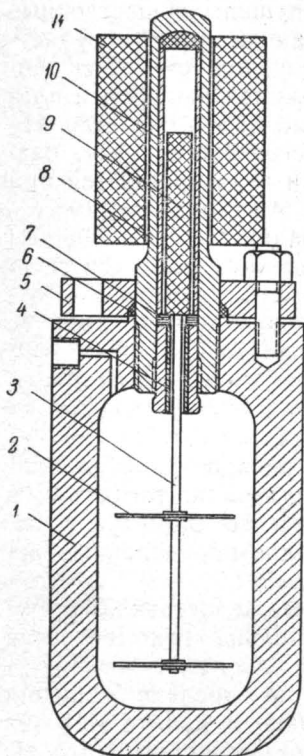


Рис. 1. Смеситель:

1—корпус; 2—крылья; 3—стержень мешалки; 4—направляющая втулка; 5—фланец; 6—алюминиевая прокладка; 7—втулка; 8—головка; 9—сердечник; 10—свинцовая футеровка; 11—соленоид.

Патрон с насадкой или фильтр из огнепреграждающего материала закрепляли во взрывной бомбе так, что разделяли ее на две неравные камеры. В нижней (меньшей) камере смесь поджигали, в верхнюю (большую) камеру газы и пламя могли проникать только через каналы огнепреградителя. Исследуемый огнепреградитель прочно закрепляли в специальной обойме с помощью уплотняющих прокладок. Как показали наблюдения, в отдельных опытах решетка, служившая опорой насадки из гранул, не оказывала гасящего действия.

Исследуемые смеси составляли [42] во взрывобезопасных смесителях высокого давления (рис. 1). Компоненты смеси вводили в смеситель поочередно,

дозировку производили по величинам парциальных давлений, измерявшихся с помощью образцового манометра. После составления смесь перемешивалась электромагнитной мешалкой, не дающей при работе искр трения и разрядов статического электричества.

Размер максимальных пор, характеризующий пламегасящие свойства металлокерамических и стеклотканых фильтров, измеряли общепринятым методом [43] по разности давлений при проникновении первого воздушного пузырька через пористое тело, погруженное в жидкость с известным поверхностным натяжением (вода, этиловый спирт).

Исследованные бронзовые и стальные металлокерамические пластины имели толщину h от 5 до 20 мм; диаметр гранул d изменяли от 0,1 до 2,5 мм, диаметр максимальных пор δ — от 0,041 до 0,59 мм; для насадок из гранул принимали, что $\delta = 0,36 d$. Исследованная стеклоткань типа ТСФ(Щ)-9П (ВТУ 1485—56) отличалась высокой механической прочностью и неизменностью размеров пор.

При изучении критических условий гашения пламени в воздушных и кислородных смесях ацетилена, водорода и метана горючие свойства исследуемых смесей широко варьировались.

Метан, водород, кислород и воздух отбирали из технических баллонов без предварительной очистки. Ацетилен (из баллонов) очищали вымораживанием примесей ацетона при минус 40—50 °С.

Для вычисления критерия Пекле были использованы литературные данные о нормальной скорости пламени исследованных смесей и зависимости ее от давления [44—55].

Зависимость скорости пламени от содержания горючего π в бинарных воздушных и кислородных смесях метана, водорода и ацетилена при атмосферном давлении показана на рис. 2 и 3. На графиках приведены экспериментальные значения u_n , полученные разными авторами, и принятая нами усредненная кривая.

Поскольку для водородо-воздушных смесей значения u_n определяли при 15%-ном и большем содержании горючего, величину u_n более бедных смесей экстраполировали, исходя из предположения о линейной зависимости $\lg u_n$ от π , а значит, и температуры горения (пунктирная прямая на рис. 2). Ввиду отсутствия данных о скоростях пламени бедных кислородных смесей метана значение u_n для смеси критического состава (см. рис. 3) принято, как для воздушных смесей [48]; это обосновано тождественностью горючих свойств самых бедных воз-

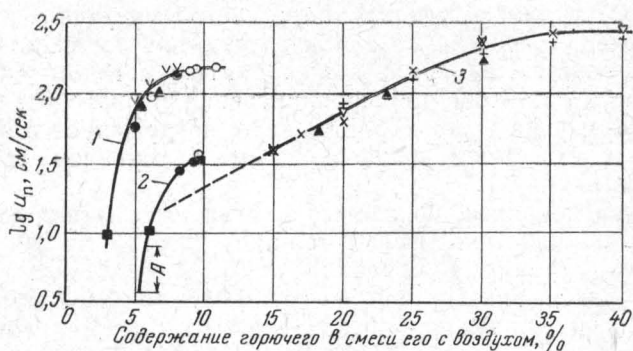


Рис. 2. Нормальные скорости распространения пламени воздушных смесей метана, водорода и ацетилена при атмосферном давлении (по данным разных авторов):

1 — ацетилен; 2 — метан; 3 — водород.

▲ — [51]; ▽ — [52]; ● — [45]; ○ — [44]; ■ — [47]; + — [50]; × — [49]; V — [53]; A — [48].

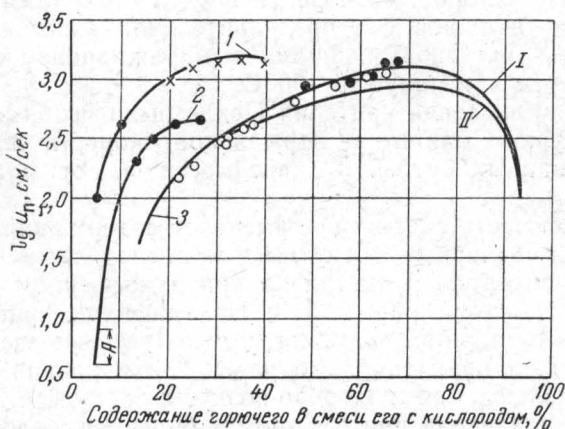


Рис. 3. Нормальные скорости распространения пламени кислородных смесей метана, водорода и ацетилена при атмосферном давлении (по данным разных авторов):

1 — ацетилен; 2 — метан; 3 — водород.

● — [45]; × — [46]; ○ — [55]; A — [48].

душных и кислородных смесей углеводородных газов [56].

Скорости горения смесей $H_2 + O_2$ вычисляли по кривой I (см. рис. 3), полученной по экспериментальным точкам [45, 55], характеризующим максимальное значение u_n , и сглаженной на основании данных [50] (кривая II) и [55]. Абсолютные значения данных [50], по-видимому, занижены, что наблюдается при измерении больших скоростей горения методом бунзеновской горелки, однако они помогают уточнить общий характер зависимости u_n от состава смеси.

Влияние давления на скорость пламени учитывалось, как обычно, с помощью выражения $u_n \approx p^g$ [47]. Принятые экспериментальные значения показателя g приведены в табл. 3.

Таблица 3

Экспериментальные величины показателя g для ряда горючих смесей (по данным разных авторов)

Горючее	Значение показателя g	
	в воздушной смеси	в кислородной смеси
CH_4	-0,27 [45]	+0,11 [45]
H_2	+0,09 [54]	+0,09 [45]
C_2H_2	0 [44]	0

При вычислении теплопроводности смесей $\lambda_{1,2}$ (за исключением смесей водорода) было принято, что

$$\lambda_{1,2} = \pi_1 \lambda_1 + \pi_2 \lambda_2$$

где λ_1 и λ_2 — теплопроводности компонентов.

Для смесей водорода использовали предложенную Я. Б. Зельдовичем следующую эмпирическую закономерность:

$$\lg \lambda_{1,2} = \pi_1 \lg \lambda_1 + \pi_2 \lg \lambda_2$$

Для определения критических условий гашения пламени было проведено 450 опытов, в результате которых установлено 72 предела гашения пламени. Примеры приведены ниже.

Пример 1. Горючая смесь — 40% H_2 + 60% воздуха;
 $u_n = 276$ см/сек (при 1 ат); огнепреграждающий элемент — металло-
 керамическая пластина ($\delta = 0,37$ мм, $h = 20$ мм).

Начальное давление смеси ат	Проскок пла- мени (число опытов)	Задержание пламени (чис- ло опытов)
1,0	—	1
2,0	—	4
2,5	1	1
3,0	3	—

Вычисленное значение $Re_{кр} = 61$ при $p_{кр} = 2,5$ ат.

Пример 2. Горючая смесь — 9,5% CH_4 + 90,5% воздуха;
 $u_n = 34$ см/сек (при 1 ат); насадка ($h = 100$ мм) — стальные
 шары ($d = 2$ мм).

Начальное давление смеси ат	Проскок пла- мени (число опытов)	Задержание пламени (число опытов)
6	—	2
7	—	2
8	1	3
9	1	1
10	2	—
20	1	—

Вычисленное значение $Re_{кр} = 59$ при $p_{кр} = 9$ ат.

Критические условия гашения пламени огнепрегради-
 телями трех типов приведены в табл. 4, 5 и 6.

Из табл. 4—6 видно, что, несмотря на значительное
 различие конструкций огнепреградителей, а также горю-
 чих свойств исследованных смесей, величина $Re_{кр}$ во
 всех случаях сохраняет удовлетворительное постоянство
 при различных условиях опыта: при изменении скорости
 пламени в 100 раз, диаметра пламегасящего канала —
 в 123 раза, давления — в 24 раза.

Для иллюстрации результаты исследований пред-
 ставлены в табл. 7 в широком диапазоне значений u_n ,
 δ и p .

Из табл. 7 видно, что полученные величины $Re_{кр}$,
 в среднем равные 60—70, близки к расчетным и, следо-
 вательно, экспериментальные данные вполне согласуют-

ся с требованиями теории [11, 34]. Многослойные огнепреградители из металлических сеток, а также из стеклоткани весьма эффективны и задерживают распространение пламени в любой воздушной смеси.

Таблица 4

Пределы гашения горючих воздушных смесей насадками из гранул

Диаметр насадки мм	Содержание горючего %	Скорость пламени $u_{п}$ см/сек	Абсолютное давление $p_{кр}$ ат	$Re_{кр}$
<i>Кольца Рашига</i>				
10	H ₂ —15	40	1,5	80
	H ₂ —13	32	1,5	68
	CH ₄ —9,5	34	1,3	72
6,0	H ₂ —17	50	1,5	60
	H ₂ —15	40	1,5	48
	H ₂ —13	32	3,5	99
	CH ₄ —9,5	34	3,0	79
<i>Металлические шары</i>				
14	C ₂ H ₂ —4,0	35	1,0	88
	CH ₄ —9,5	34	1,2	96
6,0	H ₂ —11	25	2,5	60
	CH ₄ —9,5	34	2,3	65
	CH ₄ —8,0	26	2,2	49
	CH ₄ —7,0	15	5,3	70
4,0	H ₂ —13	32	2,8	54
	H ₂ —11	25	5,0	87
	CH ₄ —9,5	34	4,0	65
2,0	C ₂ H ₂ —5,0	72	2,5	64
	H ₂ —11,0	25	6,0	53
	H ₂ —8,4	17	12,0	78
	CH ₄ —9,5	34	9,0	59

Металлокерамические огнепреградители гасят пламена стехиометрических кислородных смесей H₂, C₂H₂ и CH₄. При этом крупнозернистые пластины ($\delta=0,2-0,6$ мм) гасят пламена смесей с H₂ и CH₄ при низких давлениях (1—3 ат), мелкозернистые ($\delta=0,05$ мм)—смесей с H₂ и CH₄ при $p \approx 5$ ат и смесей с C₂H₂ при $p \approx 2$ ат. Таким образом, металлокерамические пластины и трубы, отличающиеся от других материалов способно-

Таблица 5

Пределы гашения пламени металлокерамическими пластинами

Горючая смесь %	Скорость пламени $u_{\text{п}}$ см/сек	Диаметр максимальных пор мм	Абсолютное давление $p_{\text{кр}}$ ат	$Re_{\text{кр}}$
C_2H_2 —33,4	1540	0,041	2,0	72
O_2 —66,6		0,150	0,5	66
C_2H_2 —10	156	0,371	2,7	82
Воздух 90		0,590	1,5	73
H_2 —66,6		0,058	4,5	54
O_2 —33,4	1380	0,122	2,5	61
		0,200	1,5	56
		0,220	2,0	85
		0,236	1,0	43
		(два образца)		
H_2 —40	276	0,371	2,5	61
Воздух—60		0,590	1,3	49
H_2 —30	204	0,236	5,7	91
Воздух—70		0,050	5,3	66
CH_4 —33,4	450	0,137	3,0	95
O_2 —66,6		0,220	2,7	85
		0,236	1,5	77

Таблица 6

Пределы гашения пламени воздушных смесей сетками и стеклотканью

Число слоев в фильтре	Содержание горючего, %	Абсолютное давление $p_{\text{кр}}$ ат	$Re_{\text{кр}}$
-----------------------	------------------------	--	------------------

Бронзовые сетки ($\delta = 0,30$ мм)

5	H_2 —29,6	2,0	—
7	То же	2,0	—
10	»	2,5	46
16	»	2,5	46
16	C_2H_2 —7,75	3,5	72
16	C_2H_2 —5,0	6,0	67

Стеклоткань ($\delta = 0,088$ мм)

1	H_2 —40	1,0	—
2	То же	9,0	60
7	»	9,0	60
1	C_2H_2 —10	1,0	—
2	То же	5,0	—
3	»	7,0	51

Таблица 7

Сравнительные данные о критических условиях гашения пламени в широком диапазоне значений $u_{п}$, δ и p

Горючая смесь %	Скорость пламени $u_{п}$ ($p = 1 \text{ ат}$) см/сек	Диаметр мак- симальных пор мм	Абсолютное давление $p_{кр}$ ат	$Re_{кр}$
$C_2H_2-33,4+O_2-66,6$	1540	0,041	2,0	72
$H_2-66,6+O_2-33,4$	1380	0,200	1,5	56
$CH_4-33,4+O_2-66,6$	450	0,236	1,5	77
H_2-40	276	0,371	2,5	61
C_2H_2-10	156	0,590	1,5	73
$C_2H_2-5,0$	72	0,30	6,0	67
H_2-13	32	3,60	1,5	68
$CH_4-7,0$	15	2,16	5,3	70
$C_2H_2-4,0$	35	5,04	1,0	88
$CH_4-9,5$	34	3,60	1,3	72
То же	34	1,44	4,0	65
»	34	0,72	9,0	59
C_2H_2-10	156	0,371	2,7	82
$C_2H_2-33,4+O_2-66,6$	1540	0,150	0,5	66
$H_2-66,6+O_2-33,4$	1380	0,058	4,5	54
$C_2H_2-33,4+O_2-66,6$	1540	0,041	2,0	72
$H_2-8,4$	17	0,72	12	78
$CH_4-9,5$	34	0,72	9,0	59
$C_2H_2-5,0$	72	0,30	6,0	67
$C_2H_2-7,75$	133	0,30	3,5	72
$C_2H_2-5,0$	72	0,72	2,5	64
$CH_4-33,4+O_2-66,6$	450	0,236	1,5	77
$CH_4-13,5+O_2-86,5$	212	0,590	1,0	58
$C_2H_2-33,4+O_2-66,6$	1540	0,150	0,5	66

стью задерживать распространение пламени по самым опасным газовым смесям, а также высокой газопроницаемостью и прочностью, представляют значительный интерес для использования их в качестве технических огнепреградителей [33].

Из теории [11] следует, что высота слоя огнепреграждающей насадки (длина пламегасящих каналов) слабо влияет на критические условия гашения. Это обусловлено охлаждением слоя продуктов сгорания, соизмеримого с шириной фронта пламени, не превышающей 1 мм при атмосферном давлении даже у медленных пламен. Очевидно, что охлаждение более далеко

Таблица 8

Влияние высоты огнепреграждающего слоя на критические данные задержания пламени

Горючая смесь %	Огнепреградитель	Диаметр пор мм	δ мм	Значение $p_{кр}$ (в ат) при высоте насадки, мм							$Re_{кр}$		
				5	10	15	20	80	100	250		400	
N_2-17	Насадка из колец Рашига То же » » » Металлокерамические пластины То же	6	2,16	—	—	—	—	—	—	1,5	1,5	—	60
N_2-15		10	3,6	—	—	—	—	—	—	<1,0	1,5	1,5	80
N_2-13		10	3,6	—	—	—	—	—	—	<1,0	1,5	1,5	68
$CH_4-9,5$		10	3,6	—	—	—	—	—	—	<1,0	1,3	1,3	72
$C_2H_2-5,0$		2	0,72	—	—	—	2,0	2,0	—	—	—	—	—
$N_2-66,6+O_2-33,4$	То же	—	0,236	1,0	—	1,0	—	—	—	—	—	—	85
$CH_4-33,4+O_2-66,6$		—	0,137	—	2,8	—	3,0	—	—	—	—	—	85

отстоящих от фронта пламени слоев продуктов сгорания не может влиять на протекание реакции в пламени.

Однако высота огнепреграждающей насадки из колец Рашига влияет на пределы задержания пламени в гораздо более широком диапазоне (табл. 8). Так, при $d=10$ мм изменение высоты насадки h от 100 до 250 мм еще влияет на величину $p_{кр}$, а дальнейшее увеличение h до 400 мм уже неэффективно; при $d=6$ мм насадка высотой 100 мм является достаточной для достижения постоянного значения $p_{кр}$. Это явление связано с влиянием так называемого «краевого эффекта», наблюдаемого в насадочных колоннах. Вследствие хаотического размещения гранул вблизи стенки насадочной колонны, особенно в случае соизмеримости ее диаметра с размерами гранул, могут образоваться каналы больше средних размеров.

По мере увеличения высоты слоя насадки вероятность образования таких обводных каналов (непрерывных по всей высоте насадки) уменьшается, и условия распространения пламени начинают приближаться к условиям распространения пламени в средних каналах. Возможность возникновения «краевого эффекта» снижается с уменьшением размера гранул, что ведет к уменьшению требуемой минимальной высоты слоя насадки для достижения постоянного критического режима гашения. Результаты опытов, приведенные в табл. 4, относятся к такому режиму, когда дальнейшее увеличение h не изменяет пределов гашения.

Для многослойных, а также пористых материалов эти осложнения являются минимальными, и влияние толщины слоя огнепреграждающей среды уже при малых h становится несущественным. Металлокерамические пластины уже при толщине 5 мм обеспечивают достижение постоянного (в пределах точности эксперимента) значения $p_{кр}$ (см. табл. 7); бронзовые сетки с размером ячеек 0,30 мм могут состоять из десяти слоев, а более мелкоканальная стеклоткань — даже из двух-трех слоев (см. табл. 6).

Результаты большого числа исследований, в которых при значительных изменениях условий гашения соблюдалось постоянство давления при подходе пламени к насадке, показывают, что величина критерия Пекле, примерно равная 65, является постоянной.

ГЛАВА III

ОРИЕНТИРОВОЧНЫЙ РАСЧЕТ ГАСЯЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ОГНЕПРЕГРАДИТЕЛЕЙ

Величину $Re_{кр}$ можно использовать для оценки гасящей способности действующих огнепреградителей и расчета необходимых размеров гасящих каналов для любой горючей газовой смеси.

В работе [57] приводится ориентировочный расчет надежности действия сухих насадочных огнепреградителей, устанавливаемых на сбросных трубопроводах, т. е. применяемых в условиях, когда сгорание смеси происходит при атмосферном давлении.

Для практической оценки гасящей способности огнепреградителей расчет критерия Пекле удобно производить, пользуясь преобразованным выражением (2, 1) следующего вида:

$$Pe = \frac{u_n \delta_{кр} \rho}{RT_0 \lambda_0} \quad (3,1)$$

На пределе гашения пламени выражение (3, 1) принимает вид:

$$Pe_{кр} = \frac{u_n \delta_{кр} c_p \rho_{кр}}{RT_0 \lambda_0} \quad (3,2)$$

где $\delta_{кр}$ — критический диаметр каналов для гашения пламени;

$\rho_{кр}$ — критическое давление.

Как видно из выражения (3, 1), для расчета гасящей способности огнепреградителей необходимы следующие данные: а) нормальные скорости распространения пламени горючих газовых смесей; б) теплоемкость и теплопроводности горючих смесей; в) фактический

размер максимальных гасящих каналов данного огнепреградителя.

После подстановки этих величин в выражение (3, 1) вычисляется критерий Пекле. Если найденное значение Re больше $Re_{кр}=65$, огнепреградитель не задержит распространение пламени данной горючей смеси и, наоборот, если величина Re меньше $Re_{кр}=65$, огнепреградитель задержит распространение пламени. При этом «запас надежности» η огнепреградителя, который находят из отношения $Re_{кр}$ к вычисленному значению Re , должен составлять не менее 2:

$$\eta = \frac{Re_{кр}}{Re} = \frac{65}{Re} \geq 2,0$$

Пример. Необходимо определить, задержит ли распространение пламени стехиометрической метано-воздушной смеси огнепреградитель с насадкой из фарфоровых шариков диаметром 5 мм при начальной температуре смеси $T=293^\circ K$ и избыточном давлении 1 ат.

Принимаем, что $\delta=0,36 d$ (d — диаметр шариков). После подстановки всех данных в выражение (3, 1) находим, что $Re=29$ и $\eta=2,2$. Следовательно, при данных условиях огнепреградитель с указанной насадкой надежно задержит распространение пламени наиболее быстрогорящей смеси, состоящей из 9,5% CH_4 и 90,5% воздуха.

Используя факт постоянства $Re_{кр}$ на пределе гашения пламени, можно вычислить критический диаметр каналов для любой горючей системы, если известны u_n , а также теплоемкость и теплопроводность газовой системы.

С помощью ориентировочного расчета можно проверить надежность насадочных огнепреградителей, находящихся в эксплуатации, и изъять из употребления огнепреградители, не обеспечивающие взрывобезопасности.

Примерный расчет пламегасящей способности распространяется, как указывалось, только на сбросные огнепреградители, максимальные гасящие каналы которых поддаются определению, а диаметр этих каналов при эксплуатации остается постоянным.

Пламегасящая способность огнепреградителя рассчитывается по каналу максимального размера, поскольку пламя в первую очередь пройдет по этому каналу. Размер пор в насадке из одинаковых шариков принимается равным 0,36 величины диаметра шарика.

У кассетных огнепреградителей из гофрированной и плоской лент за величину максимального пламегасящего канала принимается значение высоты, опущенной из вершины треугольника гофра на плоскую ленту.

В материале, изготовленном из пористой металлокерамики и металловолокна, всегда имеются поры различных размеров, от количества и соотношения которых зависят свойства пористых элементов. Особую роль при использовании пористых элементов в качестве огнепреградителей играют максимальные поры. Для определения диаметра максимальных пор применяют способ, основанный на измерении давления, при котором через образец, пропитанный жидкостью, начинает проникать газ, что характеризуется появлением пузырьков. При этом давление должно быть тем больше, чем меньше сечение капилляра. Величина давления зависит также от поверхностного натяжения жидкости, ее плотности и краевого угла, характеризующего смачиваемость.

Математическая связь всех величин определяется следующим уравнением:

$$2\pi r\alpha \cos \theta = \pi r^2 h \Delta g \quad (3,3)$$

где r — радиус капилляра, см;

α — поверхностное натяжение жидкости, дин/см;

θ — угол смачивания, град;

h — высота столба жидкости, см;

Δ — плотность жидкости, г/см³;

g — ускорение силы тяжести, см/сек².

Левая часть уравнения выражает силу поверхностного натяжения, действующего на границе мениска жидкости в капилляре. Благодаря капиллярной силе жидкость поднимается и удерживается в капилляре на определенной высоте. Правая часть уравнения представляет собой вес поднятого столба жидкости. Принимается, что поры в материале имеют круглое сечение, которое постоянно по всей длине капилляров.

Из уравнения равновесия (3, 3) можно определить диаметр пор

$$D = \frac{4\alpha \cos \theta}{h \Delta g} \quad (3,4)$$

Предполагая, что материал смачивается полностью $\theta=0$; $\cos \theta=1$), получаем

$$D = \frac{4\alpha}{h\Delta g} \quad (3,5)$$

Если давление воздуха измеряется с помощью ртутного манометра, то формула примет вид:

$$D = \frac{4\alpha \cdot 10^4}{981 \cdot 13,6h} \text{ мк} \quad (3,6)$$

После упрощения получаем

$$D = \frac{3\alpha}{h} \text{ мк} \quad (3,7)$$

Зависимость максимального диаметра пор от приложенного давления для образцов, пропитанных водой и этиловым спиртом, показана на рис. 4. Так как по-

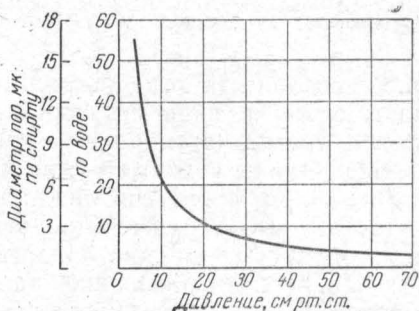


Рис. 4. Зависимость размера пор от приложенного давления.

верхностное натяжение спирта по сравнению с поверхностным натяжением воды в несколько раз меньше, то при равном давлении воздуха в образцах, пропитанных спиртом, открываются поры соответственно меньшего диаметра.

Для определения максимального размера пор может быть использован прибор, показанный на рис. 5. Образец зажимают в патрон (рис. 6). Методика определения подробно описана в работе [43].

Универсальным способом регенерации металлокерамических элементов огнепреградителей при их засорении пылью, содержащейся в газе, является обратная продувка тем же примерно количеством газа, которое расходуется при нормальной работе.

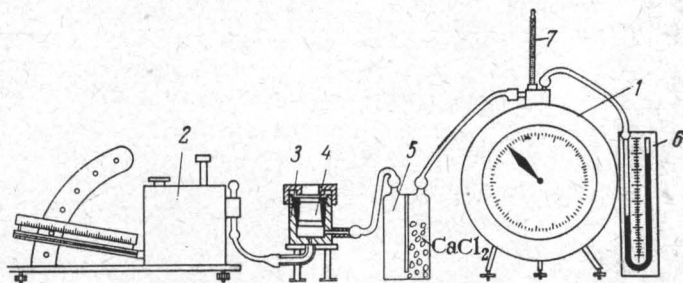


Рис. 5. Схема установки для определения максимального размера пор материала:

1 — газовый счетчик; 2 — манометр; 3 — патрон; 4 — образец; 5 — склянка Тищенко; 6 — манометр; 7 — термометр.

Пламегасящая способность огнепреградителей с огнепреграждающим слоем в виде стружки, нарезанных кусков проволоки и других частиц, характеризующихся большим отношением длины к диаметру, не может быть

рассчитана, так как при применении этих насадок трудно предотвратить образование каналов, размеры которых превосходят критические. Такие насадочные огнепреградители, как ненадежные, должны быть изъяты из эксплуатации и заменены огнепреградителями серийного выпуска.

В табл. 9 приведены систематизированные авторами расчетные и экспериментальные данные о теплоемкости и теплопроводности значительно-

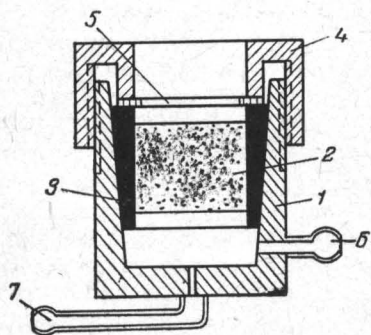


Рис. 6. Патрон для крепления цилиндрического образца:

1 — корпус; 2 — образец; 3 — резиновая обойма; 4 — крышка; 5 — металлическая шайба; 6 и 7 — патрубки для подачи и отвода воздуха.

го количества горючих газов и паров, данные о нормальных скоростях пламени горючих газовых и парогазовых смесей, а также значения $\delta_{кр}$ и δ зап. $\left(\frac{\delta_{кр}}{2}\right)$, найденные из выражения (3,2), для смесей горючих газов и паров с воздухом при 1 ат.

Теплопроводность части горючих газов была определена с помощью коэффициента вязкости по формуле, приведенной в работах [58, 59].

$$\lambda = \frac{15}{4} \cdot \frac{R}{M} \eta \left(\frac{4}{15} \cdot \frac{c_v}{R} + \frac{3}{5} \right) \quad (3,8)$$

где M — молекулярный вес газа;

c_v — теплоемкость при постоянном объеме;

η — вязкость.

Теплопроводность другой части газов была вычислена по формуле, приведенной в работе [60]

$$\lambda = \frac{c_p}{K^*} (14,52 T_R - 5,14)^{2/3} \cdot 10^{-6} \quad (3,9)$$

где $K^* = T_{кр}^{1/6} M^{1/2} p_{кр}^{2/3}$ — характеристическая константа;

$T_R = \frac{T_0}{T_{кр}}$ — приведенная температура, °K;

$T_{кр}$ и $p_{кр}$ — критическая температура (°K) и давление (ат).

Значения теплоемкостей компонентов горючих смесей находили по справочным данным [61, 62]. При вычислении теплоемкости горючих смесей принимали:

$$c_{p \text{ смеси}} = \pi_1 c_{p1} + \pi_2 c_{p2} \quad (3,10)$$

где c_{p1} и c_{p2} — соответственно молярные теплоемкости горючего компонента и воздуха;

π_1 и π_2 — соответственно содержание горючего компонента и воздуха в смеси, %.

Теплопроводности горючих смесей, кроме смесей, содержащих водород, вычисляли по формуле, приведенной в работе [63]:

$$\lambda_m = \sum_{i=1}^h \frac{\lambda_i}{1 + \frac{1}{\pi_i} \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^h A_{i,j} \pi_j} \quad (3,11)$$

Таблица 9

Расчетные и экспериментальные данные о некоторых физико-химических параметрах ряда горючих веществ (газов и паров) в смеси с воздухом (по данным различных авторов)

Горючее	c_p кал/моль-град	$\lambda \cdot 10^5$ кал/(см-сек-град)	Концентрация горючего %	u_p макс. см-сек	$\delta_{кр}$ мм	$\delta_{зап.}$ мм
Водород	6,89 [61]	42,00 [69]	42,40	280,0 [77]	0,80	0,40
Аммиак	8,52 [62]	5,70 [66]	20,00	23,0 [78]	5,70	2,85
Оксид углерода	6,96 [61]	5,97 [69]	52,50	45,0 [79]	2,90	1,45
Сероводород	10,8 [65]	1,83 [60]	6,55	58,8 [80]	2,20	1,10
Метан	8,54 [62]	8,00 [70]	9,96	35,0 [44]	4,10	2,05
Метанол	11,5 [66]	3,40 [60]	11,85	57,2 [81]	2,26	1,13
Ацетилен	10,5 [62]	5,30 [71]	10,50	156,0 [44]	0,86	0,43
Этилен	10,41 [62]	4,80 [72]	7,30	70,0 [77]	2,00	1,00
Этан	12,58 [62]	5,79 [70]	6,28	40,1 [82]	3,40	1,70
Диметилсульфид	17,71 [67]	2,07 [59]	4,46	33,0 [80]	2,26	1,13
Метилацетилен	14,5 [62]	3,81 [60]	5,86	69,9 [82]	1,90	0,95
Пропен	15,27 [62]	3,60 [59]	5,04	43,8 [82]	3,00	1,50
Циклопропан	13,2 [68]	3,39 [60]	4,97	47,5 [83]	2,80	1,40
Ацетон	15,2 [66]	2,80 [66]	5,00	42,6 [80]	3,1	1,55
Пропан	17,57 [62]	4,5 [73]	4,3	41,4 [77]	3,0	1,5
Изопропанол	19,8 [66]	2,93 [59]	4,17	41,5 [81]	3,1	1,55
1,3-Бутадиен	19,01 [62]	3,28 [60]	4,34	54,5 [83]	2,4	1,2
2-Бутин	18,63 [62]	2,41 [60]	4,36	51,5 [82]	2,50	1,25
1-Бутин	19,46 [62]	2,72 [60]	4,30	58,1 [82]	2,2	1,1
1-Бутен	20,47 [62]	3,18 [59]	3,87	43,2 [82]	3,0	1,5
2-Метилпропен	21,30 [62]	3,4 [59]	3,83	37,5 [82]	3,5	1,75
Этилацетат	26,0 [66]	2,61 [66]	4,03	37,0 [80]	3,4	1,7
Бутан	23,29 [62]	3,78 [70]	3,52	37,9 [82]	3,4	1,7

2-Метилпропан	23, 14 [62]	3, 34 [59]	3, 48	34, 9 [82]	3, 7	1, 85
Диэтиловый эфир	27, 0 [66]	3, 69 [66]	3, 38	48, 0 [80]	2, 7	1, 35
Циклопентен	17, 95 [62]	2, 23 [60]	3, 48	40, 4 [83]	3, 3	1, 65
1-Пентен	26, 19 [62]	3, 19 [60]	3, 07	42, 6 [82]	3, 2	1, 6
Циклопентан	19, 82 [62]	2, 39 [60]	3, 16	37, 3 [83]	3, 6	1, 8
Пентан	28, 73 [62]	3, 44 [70]	2, 92	38, 5 [82]	3, 4	1, 7
2,2-Диметилпропан	29, 07 [62]	3, 56 [60]	2, 85	33, 3 [82]	4, 0	2, 0
2-Метилбутан	28, 39 [62]	3, 19 [60]	2, 89	36, 6 [82]	3, 5	1, 75
Бензол	19, 52 [62]	2, 17 [66]	3, 34	40, 7 [82]	3, 2	1, 6
Циклогексен	25, 10 [62]	2, 20 [60]	2, 41	40, 3 [83]	3, 3	1, 65
Метициклопентан	26, 24 [62]	2, 27 [60]	2, 75	36, 0 [83]	3, 6	1, 8
Циклогексан	25, 40 [62]	2, 36 [59]	2, 65	38, 7 [82]	3, 4	1, 7
2,2-Диметилбутан	33, 91 [62]	3, 02 [60]	2, 43	35, 7 [82]	3, 6	1, 8
2,3-Диметилбутан	33, 59 [62]	2, 88 [60]	2, 45	36, 3 [82]	3, 6	1, 8
2-Метилпентан	34, 46 [62]	2, 97 [60]	2, 46	36, 8 [82]	3, 5	1, 75
3-Метилпентан	34, 20 [62]	2, 93 [60]	2, 48	36, 7 [82]	3, 5	1, 75
Гексан	34, 20 [62]	3, 18 [70]	2, 52	38, 5 [82]	3, 3	1, 65
Метициклогексан	32, 27 [62]	2, 14 [60]	2, 43	37, 5 [83]	3, 4	1, 7
Гептан	39, 67 [62]	2, 8 [66]	2, 26	38, 6 [82]	3, 3	1, 65
2,2,3-Триметилбутан	39, 33 [62]	2, 54 [60]	2, 15	35, 9 [82]	3, 6	1, 8
2,3-Диметилпентан	39, 67*	2, 70 [60]	2, 22	36, 5 [82]	3, 5	1, 75
2,4-Диметилпентан	39, 67*	2, 76 [60]	2, 17	35, 7 [82]	3, 5	1, 75
3,3-Диметилпентан	39, 67*	2, 74 [60]	2, 12	35, 3 [81]	3, 6	1, 8
2,2,4-Триметилпентан	45, 14 [67]	2, 46 [60]	1, 65	41, 2 [84]	3, 2	1, 6
Воздух	6, 96 [61]	6, 25 [74]	—	—	—	—
Кислород	7, 02 [61]	6, 35 [69]	—	—	—	—
Азот	6, 96 [61]	6, 15 [75]	—	—	—	—
Двуокись углерода	8, 87 [61]	3, 90 [69]	—	—	—	—
Гелий	4, 96 [61]	36, 00 [69]	—	—	—	—
Аргон	4, 97 [61]	4, 22 [76]	—	—	—	—

Примечание. Значения c_p и λ для воздуха, кислорода, азота, двуокиси углерода, гелия и аргона приведены для расчетов критического диаметра пламегасящих каналов.

* Применяли значение c_p для гептана.

Для смеси двух газов $j \neq 1$ эта формула принимает следующий вид:

$$\lambda_{\text{смеси}} = \frac{\lambda_1}{1 + A_{1,2} \frac{\pi_2}{\pi_1}} + \frac{\lambda_2}{1 + A_{2,1} \frac{\pi_1}{\pi_2}} \quad (3,12)$$

Коэффициенты $A_{i,j}$ вычисляются следующим образом, когда $A_{i,j} = A_{1,2}$:

$$A_{1,2} = \frac{1}{4} \left\{ 1 + \left[\frac{\mu_1}{\mu_2} \left(\frac{M_2}{M_1} \right)^{3/4} \frac{\left(1 + \frac{S_1}{T} \right)}{\left(1 + \frac{S_2}{T} \right)} \right]^{1/2} \right\}^2 \frac{\left(1 + \frac{S_{1,2}}{T} \right)}{\left(1 + \frac{S_1}{T} \right)} \quad (3,13)$$

где μ_1 и μ_2 — вязкость первого и второго газов;

S_1 и S_2 — постоянные Сутерленда первого и второго газов;

$$S_{1,2} = \sqrt{S_1 S_2}$$

Постоянная Сутерленда вычисляется по формуле

$$S = 1,5 T_b$$

где T_b — абсолютная температура кипения при атмосферном давлении.

Вычисление теплопроводности смесей с использованием постоянной Сутерленда не является точным, но для приближенных расчетов оно приемлемо [64], так как определение постоянной Сутерленда с ошибкой 20% дает погрешность при вычислении значения теплопроводности смеси только 1%.

Из табл. 9 видно, что если величина u_n горючих газов и паров в смеси с воздухом находится в пределах 45 см/сек, то $\delta_{кр} \approx 3$ мм, а $\delta_{зап.} \approx 1,5$ мм. Это указывает на то, что для гашения пламени этих горючих смесей можно применять огнепреградители с относительно большим размером пламегасящих каналов (например, огнепреградители с насадкой из шариков диаметром 5—6 мм).

СУХИЕ ОГНЕПРЕГРАДИТЕЛИ

КЛАССИФИКАЦИЯ СУХИХ ОГНЕПРЕГРАДИТЕЛЕЙ

Различные сухие огнепреградители отличаются друг от друга способом устройства, размером, формой и количеством отверстий.

По способу устройства огнепреградители подразделяют на четыре типа: а) с насадкой из гранулированных материалов; б) с прямыми каналами; в) из металлокерамики или металловолокна; г) сетчатые огнепреградители; по роду установки на три типа: а) устанавливаемые на трубах для выброса горючих газов в атмосферу или на факел; б) на коммуникациях; в) перед горелками.

На рис. 7 схематично изображены наиболее распространенные виды огнепреградителей.

Насадочный огнепреградитель (рис. 7, а) представляет собой корпус 1, в котором между решетками 3 находится насадка 2 (стеклянные или фарфоровые шарики, гравий, корунд и другие гранулы из прочного материала, а также кольца Рашига).

Кассетный огнепреградитель (рис. 7, б) представляет собой корпус 1, в котором находится огнепреграждающая кассета 2 из гофрированной и плоской металлических лент, плотно свитых в рулон.

Пластинчатый огнепреградитель (рис. 7, в) представляет собой корпус 1, в котором находится пакет 2 из плоскопараллельных металлических пластин со строго определенным расстоянием между ними.

Сетчатый огнепреградитель (рис. 7, г) представляет собой корпус 1, в котором находится пакет 2 плотно сжатых металлических сеток.

Металлокерамический огнепреградитель (рис. 7, ∂) представляет собой корпус 1, в котором находится огнепреграждающий элемент — пористая металлокерамическая пластина 2. Герметичность достигается с помощью прокладок 4. Пористый металлокерамический элемент может быть выполнен в виде плоского диска или трубки.

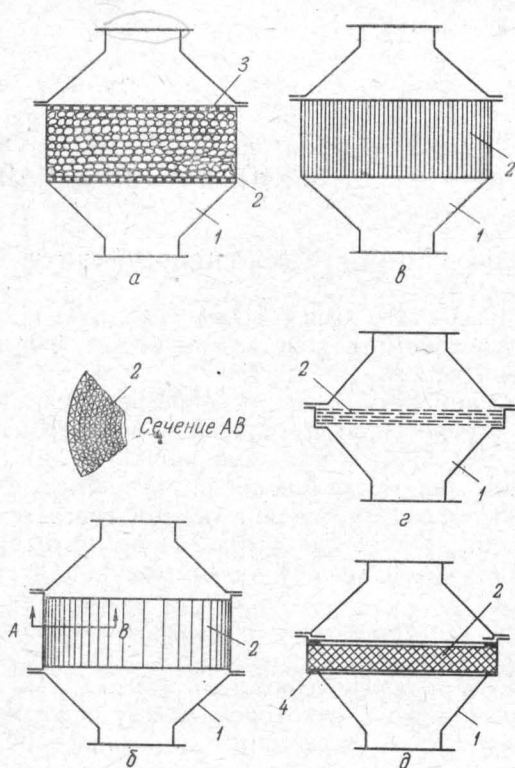


Рис. 7. Схемы различных типов огнепреградителей: а — насадочный; б — кассетный; в — пластинчатый; г — сетчатый; д — металлокерамический. 1 — корпус; 2 — насадка (шарики, кассета, кассета из пластин, сетки, металлокерамика); 3 — решетки; 4 — прокладки.

ская пластина 2. Герметичность достигается с помощью прокладок 4. Пористый металлокерамический элемент может быть выполнен в виде плоского диска или трубки.

ОГНЕПРЕГРАДИТЕЛИ ДЛЯ МЕДЛЕННОГОРЯЩИХ ГАЗО- и ПАРОВОЗДУШНЫХ СМЕСЕЙ

Для гашения медленногорящих газо- и паро-воздушных смесей с нормальной скоростью распространения пламени не более 45 см/сек чаще всего применяют насадочные и кассетные огнепреградители.

НАСАДОЧНЫЕ ОГНЕПРЕГРАДИТЕЛИ

В качестве насадок используют стеклянные или фарфоровые шарики, а также гравий. Размер частиц насадки выбирают с таким расчетом, чтобы диаметр пламегасящих каналов не превышал $\sim 1,5$ мм при избыточном давлении горючей смеси 1 ат; при этом достигается примерно двукратный запас надежности насадки. Высота насадки в таких огнепреградителях обычно не превышает 200 мм.

На одном из заводов, вырабатывающих азотные удобрения, эксплуатируется насадочный огнепреградитель, предназначенный для гашения пламени смеси окисьюглеродная фракция—воздух. Окисьюглеродная фракция (CO —27%, N_2 —63%, H_2 —7% и CH_4 —3%) получается при производстве аммиака в результате очистки технологического газа от окиси углерода и инертных примесей путем промывки газа жидким азотом. Концентрационные пределы распространения пламени смеси окисьюглеродная фракция—воздух [85] составляют 38—65%. Максимальная величина u_n , найденная методом полной поверхности с помощью бунзеновской горелки, равна 33 см/сек и соответствует смеси, состоящей из 50% окисьюглеродной фракции и 50% воздуха; $\delta_{кр}$ канала, образованного шариками диаметром 8 мм, составляет 2,8 мм для наиболее быстрогорящей смеси окисьюглеродная фракция—воздух (при двукратном запасе $\delta_{кр} = 1,4$ и $d_{\text{шарика}} = 4$ мм). Определение $\delta_{кр}$ производилось в закрытом сверху, вертикально расположенном стеклянном цилиндре диаметром 50 мм и высотой 500 мм. В середине цилиндра помещали насадки из стальных шариков диаметром 6; 9,5 и 14 мм. Поджигание смеси производили снизу путем переплавления тонкой нихромовой проволоки. Вблизи концентрационных пределов критические диаметры каналов для гашения пламени определяли с помощью стеклянных трубок.

На основании полученных данных была разработана конструкция огнепреградителя с условным диаметром 600 мм для свечи сжигания окисьюглеродной фракции, схематически изображенного на рис. 8. Насадка (шарики, гравий) с размером гранул 4 мм имеет высоту 200 мм. При максимальной пропускной способности 7000 $\text{м}^3/\text{ч}$ газа сопротивление огнепреградителя не превышает 100 мм вод. ст.

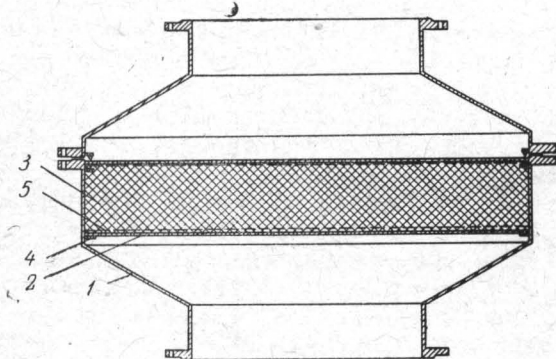


Рис. 8. Насадочный огнепреградитель для свечи сжигания окисьюглеродной фракции:

1 — корпус; 2 — решетки; 3 — насадка; 4 — опорное кольцо; 5 — сетка.

В течение последних 10 лет нашел применение способ дегазации угольных пластов и горных выработок. Обычно дегазационные установки отсасывают из шахт негорючую метано-воздушную смесь, содержащую 40—50% метана, которая чаще всего выбрасывается в атмосферу. Однако при случайном обвале пород, внезапном выбросе газа и угля, а также при движении транспорта герметичность газопроводов дегазационной установки может нарушиться, вследствие чего отсасываемый газ разбавится воздухом и образуется горючая метано-воздушная смесь. Кроме того, в отдельных, даже не аварийных, случаях концентрация метана в отсасываемом газе может снизиться до взрывоопасной [86, 87].

Во избежание распространения пламени в случае образования горючей метано-воздушной смеси и ее поджигания необходимо устанавливать огнепреградители

на входе газа в дегазационную установку, перед пламенным калориметром и газоопределителями установки, а также до и после эксгаустеров и перед выбросом газа в атмосферу. В некоторых зарубежных правилах установка огнепреградителей после эксгаустера не предусмотрена [88].

Надежность действия насадочных огнепреградителей для локализации пламени рудничного газа исследовали [88, 89] с помощью установки, приведенной на рис. 12.

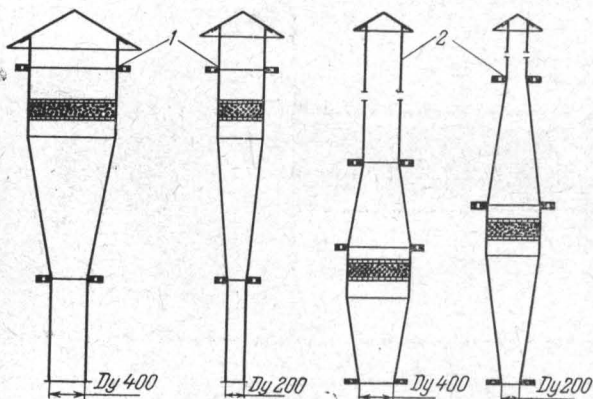


Рис. 9. Схемы огнепреградителей для рудничного газа:
1 — в исполнении А; 2 — в исполнении В.

В исполнении А (рис. 9) огнепреградители устанавливают перед выбросом рудничного газа в атмосферу на высоте несколько метров над поверхностью крыши. В исполнении В огнепреградители располагают в нижней части трубы, присоединяя к верхнему фланцу огнепреградителя трубу длиной несколько метров. В обоих случаях огнепреграждающий элемент (рис. 10) имеет одинаковое устройство. Насадка 1 из стеклянных шариков расположена на сетке 2 с размером отверстий 10 мм (толщина проволоки 3 мм), покрытой сеткой 3 с размером отверстий 2 мм. Над слоем шариков также уложены сетки: сначала с отверстиями 2 мм и над ней — с отверстиями 10 мм. Верхняя сетка скреплена с нижней и обе поддерживаются опорной крестовиной (рис. 11).

Для испытаний огнепреградителей, вмонтированных в факелы рудничного газа, на надежность задержания

метано-воздушного пламени использовали установку, показанную на рис. 12. Смесь природного газа с воздухом под абсолютным давлением 5 ат готовили в смесителе емкостью 725 л и направляли через две трубки в пространство под и над огнепреграждающей насадкой. Состав образовавшейся в огнепреградителе горючей смеси контролировали при помощи газового интерферометра.

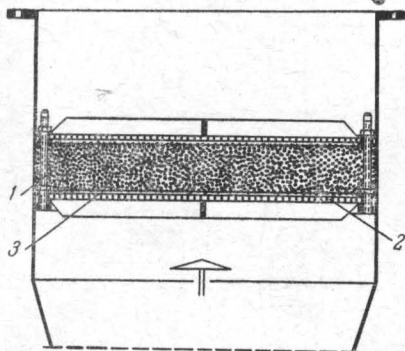


Рис. 10. Огнепреграждающий элемент:

1 — насадка из стеклянных шариков; 2 — сетка с размером отверстий 10 мм; 3 — сетка с размером отверстий 2 мм.

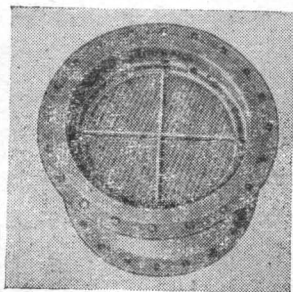


Рис. 11. Огнепреградитель для рудничного газа с сетками и поддерживающей их крестовиной.

Горючую смесь поджигали в объеме над огнепреградителем, который изолировался от окружающего воздуха бумажной лентой. Нижнее отверстие огнепреградителя закрывали листом органического стекла; с помощью зеркала наблюдали проскок пламени. В некоторых опытах нижнее отверстие открывали непосредственно перед поджиганием горючей смеси.

Контрольными опытами установлено, что сетки при отсутствии насадки не задерживают распространения пламени метано-воздушных смесей.

С целью определения минимальной высоты h_s , при которой 20 раз подряд задерживалось пламя, обладающее максимальной скоростью распространения, проводили опыты с сухой насадкой из стеклянных шариков диаметром 5, 6 и 8 мм.

Полученные данные приведены ниже:

Диаметр шариков, мм	5	6	8
Высота насадки h_s , мм	20	$\frac{30}{32}$	проскок пламени

Примечание. В числителе для огнепреградителя в исполнении А, в знаменателе — в исполнении В (см. рис. 9).

При условном диаметре трубопровода D_y 200 и 400 мм у огнепреградителей в исполнении А пространство над насадкой составляло соответственно 486 и 1450 л.

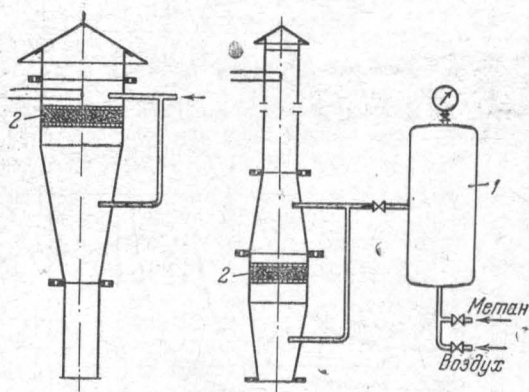


Рис. 12. Схема установки для испытаний огнепреградителей для рудничного газа:
1 — смеситель; 2 — насадка.

Как показали опыты, месторасположение запального устройства в пространстве над насадкой не влияет на величину h_s . После каждого опыта весь внутренний объем факела тщательно продували воздухом для удаления продуктов сгорания.

На рис. 13 показана зависимость минимальной высоты насадки из стеклянных шариков диаметром 5 и 6 мм от содержания метана в смеси с воздухом при D_y трубопровода огнепреградителя в исполнении А (см. рис. 9) 400 мм.

Шарики диаметром более 6 мм не следует применять в огнепреградителях для рудничного газа. Фактическая высота насадки из шариков принималась с коэффициентом надежности 1,4—1,5 и составляла 60 мм при

диаметре шариков 5 мм и 90 мм при диаметре шариков 6 мм.

Для определения в факельных огнепреградителях минимальной высоты насадки из гравия (зерна размером 6—10 мм) и шариков диаметром 5 и 6 мм в каче-



Рис. 13. Зависимость минимальной высоты насадки из стеклянных шариков от содержания метана в воздухе при $D_y=400$ мм.



Рис. 14. Критическая высота насадки из гравия и шариков для горючей системы метан—водород—воздух в огнепреградителях рудничного газа при $D = 200$ и 400 мм:

1 — при насадке из зерен гравия диаметром 6—10 мм; 2 — при насадке из шариков диаметром 6 мм; 3 — при насадке из шариков диаметром 5 мм.

$\Delta + \circ$ — для огнепреградителей в исполнении А; $\times \bullet$ — для огнепреградителей в исполнении В.

стве горючего газа в смеси с воздухом применяли систему метан—водород различного состава. Содержание горючего во всех опытах соответствовало максимальной скорости распространения пламени. Полученные результаты приведены на рис. 14.

При применении шариков диаметром 8 мм не удалось локализовать пламя даже метано-воздушной смеси.

На рис. 15 приведены данные о предельных размерах частиц насадки, установленных в лабораторных условиях и в факельных огнепреградителях применительно к различным горючим газам в смеси с воздухом. Во всех опытах содержание горючего компонента в воздухе соответствовало максимальной скорости распространения пламени.

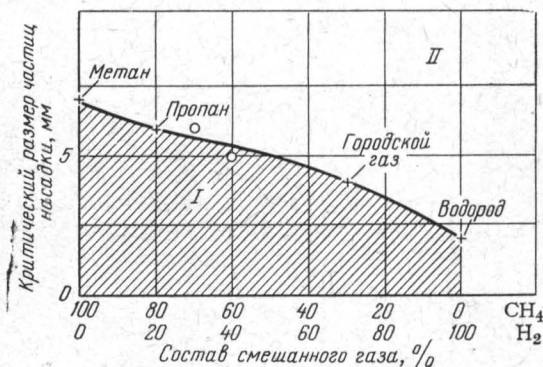


Рис. 15. Критический размер гранул насадки для различных горючих газов в смеси с воздухом:

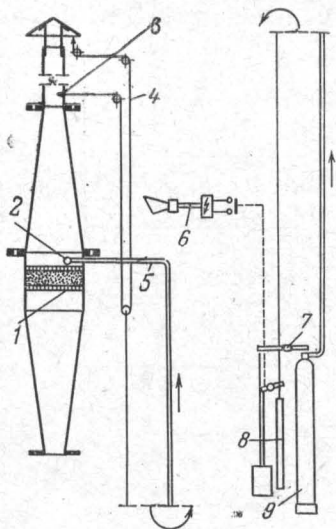
I — проскока пламени нет при высоте насадки, превышающей критическую; II — проскок пламени во всех случаях.

При воспламенении рудничного газа у выходного отверстия факела, например в результате удара молнии, вытекающая смесь будет гореть на поверхности насадки огнепреградителя в исполнении А (см. рис. 9); в случае исполнения В и малой скорости выдуваемого рудничного газа пламя становится недоступным для наблюдения. Выделяемое при горении рудничного газа тепло может сильно разогреть насадку и корпус огнепреградителя, что обусловит проскок пламени в защищаемое пространство в направлении к эксгаустерам.

Для предотвращения длительного горения пламени на поверхности насадки рекомендуется применять автоматическое устройство (рис. 16), с помощью которого можно погасить горящий факел, не выключая газодувку и, следовательно, установку отсасывания.

Пламегасящее средство можно подавать также с помощью электрического или пневматического привода.

Если отсасываемый рудничный газ почти полностью направляется для дальнейшего использования и поэтому факельная линия, особенно на выбросе факела, действует временно, то в холодное время года возможно замерзание огнепреградителя. Для предотвращения его замерзания можно использовать рационально смонтированный электрический или паровой обогрев (рис. 17).



1 — огнепреградитель; 2 — пламегасящее сопло; 3 — легкоплавкая заглушка; 4 — трос; 5 — трубопровод гасящего вещества; 6 — сирена; 7 — быстрооткрывающийся вентиль; 8 — канатный противовес; 9 — средство тушения.

52

ду цилиндрами заполнено осушающим веществом 7 (например, цеолитом), поглощающим влагу из воздуха и не поглощающим паров горючей жидкости. Холодный воздух, проходя через штуцер 4, поступает в корпус 3 и через перфорированные отверстия цилиндра в огнепреградитель 8. Если размер гранул цеолита не превышает 5—6 мм, то в большинстве случаев осушитель является также огнепреградителем. К штуцеру 4 присоединяют дыхательный клапан [89].

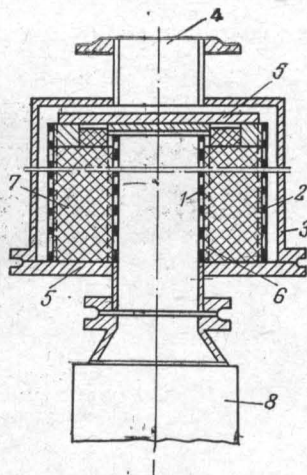
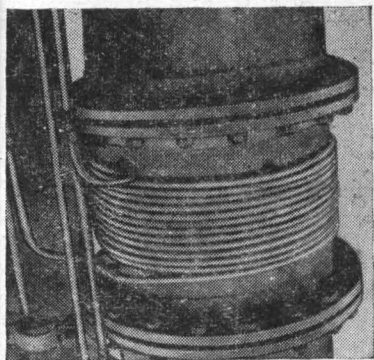


Рис. 17. Огнепреградитель с паровым обогревом.

Рис. 18. Устройство для осушки приточного воздуха:

1, 2 — перфорированные цилиндры; 3 — корпус; 4 — штуцер; 5 — заглушка; 6 — сетка; 7 — осушающее вещество; 8 — огнепреградитель.

В коммуникационных насадочных огнепреградителях, расположенных горизонтально, существует опасность образования в верхней части полого пространства между материалом насадки и внутренней стенкой корпуса, вследствие чего огнепреградитель становится ненадежным. Для устранения этого недостатка разработаны конструкции (рис. 19), в которых слой насадки возвышается над поперечным сечением [88]. Об аналогичных конструкциях сообщается в работах [90, 91].

Огнепреградитель снабжен смотровыми и грузочным люками; наличие грузочного люка дает воз-

возможность легко удалить насадку для чистки. При загрузке насадки следует обеспечивать плотную засыпку.

Насадочные огнепреградители применяют также на установках для налива железнодорожных цистерн нефтепродуктами [92] с целью локализации пламени паров нефтепродуктов, содержащихся в воздухе.

Установка по производству полиакриламида и хранилище нитрила акриловой кислоты снабжены огнепреградителями [93], представляющими собой трубу диаметром 100 мм и длиной 200 мм, заполненную

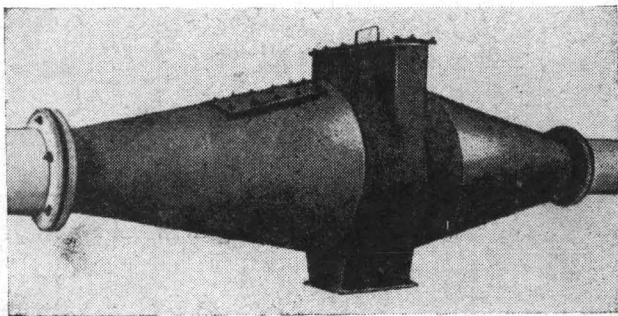


Рис. 19. Горизонтальный огнепреградитель со смотровым и загрузочным люками.

обрезками медной проволоки диаметром 1,5 мм и длиной 10—30 мм. Слой насадки высотой 200 мм находится между двумя сетками (64 ячейки на 1 см²).

Этот огнепреградитель обладает рядом существенных недостатков. Как уже указывалось ранее (см. стр. 38), нельзя применять в качестве насадки частицы с большим соотношением длины к диаметру (в данном случае $l:d=7:20$), так как при этом трудно избежать образования каналов, размеры которых превышают критические. Размеры пламегасящих каналов в таких случаях в значительной степени зависят от уплотнения насадки. Пламегасящая насадка заключена только между двумя слоями тонкой сетки, что при взрыве может привести к ее разрушению, выбросу насадки и проскоку пламени в защищаемое пространство.

Опытный образец огнепреградителя, предназначенный для установки по производству полиакриламида

и хранилища акрилонитрила, был испытан на задержание пламени наиболее взрывоопасной эфиро-воздушной смеси. Пламя эфиро-воздушной смеси было задержано огнепреградителем при атмосферном давлении, но при этом не были определены критические условия гашения пламени, в связи с чем нельзя считать огнепреградитель надежным.

При производстве синтетических материалов и изделий из них большое значение имеет рекуперация жидких органических растворителей (например, спиртов, эфиров, ацетона, бензола и др.), пары которых образуют с воздухом взрывоопасные смеси. Для защиты аппаратуры, емкостей и трубопроводов на рекуперационных установках устанавливают насадочные, сетчатые и каскадные огнепреградители [91].

На рис. 20 показан насадочный огнепреградитель, в котором насадка фиксируется при помощи решеток и нажимных винтов.

Для трубопроводов диаметром 300—1200 мм используют огнепреградители системы ВТР с кольцевым слоем гравия (рис. 21). Слой гравия толщиной 70—80 мм и с размером гранул 3,5—5,5 мм заключен между двумя концентрическими перфорированными цилиндрами (диаметр отверстий 10 мм, шаг 15 мм), покрытыми с внутренней стороны проволоочными сетками из меди или нержавеющей стали с ячейками в свету 2×2—3×3 мм. Цилиндры с насадкой помещены в корпус. Сверху к наружному цилиндру по всей его длине приварен бункер, проходящий через стенку корпуса. В бункере находится запас гравия для автоматической компенсации насадки в случае ее убыли. Наличие бункера с запасом гравия исключает возможность

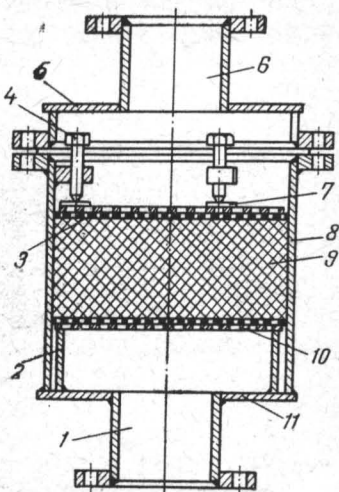


Рис. 20. Гравийный огнепреградитель:

1, 6 — патрубки для входа и выхода горючей смеси; 2 — опорное кольцо; 3 — сетка; 4 — нажимной винт; 5 — крышка; 7 — прижимные планки; 8 — корпус; 9 — гравий; 10 — решетка; 11 — дно.

проскока пламени через незаполненные места, которые могли бы образоваться при отсутствии компенсационного устройства. На гравийном огнепреградителе системы ВТР установлена разрывная мембрана.

Гравий во избежание некондиционного зернения желателно заменить стеклянными или фарфоровыми шариками диаметром 5—6 мм. Огнепреградители с такой насадкой весьма надежны в эксплуатации и не

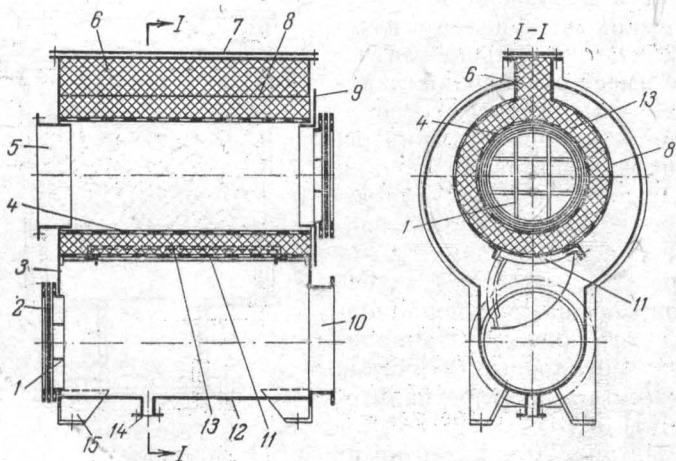


Рис. 21. Огнепреградитель системы ВТР с кольцевым слоем гравия:

1 — опорная решетка; 2 — мембрана; 3 — боковая стенка; 4 — перфорированный цилиндр; 5, 10 — патрубки для входа и выхода горючей смеси; 6 — бункер; 7 — крышка бункера; 8 — внешний перфорированный цилиндр; 9 — крышка кольцевого пространства; 11 — люк для выгрузки гравия; 12 — корпус; 13 — гравий; 14 — патрубок для отвода конденсата; 15 — установочные лапы.

нуждаются в прокладках для уплотнения огнепреграждающего слоя.

Насадочные огнепреградители можно эффективно использовать в качестве коммуникационных, например, на обвязках резервуаров с горячими жидкостями и в других случаях. Однако серийный выпуск таких огнепреградителей еще не организован.

В отдельных случаях огнепреградителями могут служить колонны при достаточной их прочности, загруженные катализатором, орошаемые скрубберы с насадкой

или аппараты кипящего слоя. При этом для предотвращения распространения пламени метано-воздушной смеси в кипящем слое [94] должно быть 0,1—0,8 г/л частиц со средним диаметром 5—10 мк и поверхностью 1000—6000 см²/г. Основным фактором, определяющим способность частиц в кипящем слое локализовать взрыв, является величина их поверхности, соприкасающаяся с движущимся пламенем. С помощью тонко размолотых порошков различных материалов можно подавлять пламя и при детонационном режиме сгорания [95].

КАССЕТНЫЕ ОГНЕПРЕГРАДИТЕЛИ

Большое распространение получили кассетные огнепреградители с регулярной насадкой. Они выпускаются серийно с условным диаметром трубопровода 50, 100, 150, 200, 250, 300 и 350 мм.

Общий вид такого огнепреградителя [96] типа ОП ($D_y = 350$ мм) показан на рис. 22. Огнегасящим элементом является предохранительная кассета 1, которая помещается в кожух 2 и зажимается между верхней 3 и нижней 4 частями корпуса. Уплотнение кассеты в корпусе осуществляется с помощью прокладок 5.

Предохранительная кассета изготавливается из алюминиевой ленты толщиной 0,3—0,47 мм, выпускаемой в виде рулонов. Рулон разрезают вдоль дисковыми ножницами с двумя режущими колесами. Гофрированная лента получается при пропускании плоской ленты через станок с двумя нажимными валиками с нарезанными зубьями [97]. Для образования огнепреграждающей кассеты гофрированная лента накладывается на плоскую, обе вставляются в прорезь стального стержня и спирально навиваются вокруг него.

Для придания кассете достаточной прочности ленты наматываются в натянутом состоянии, при этом высота гофров несколько уменьшается. В результате получается кассета с прямыми вертикальными пламегасящими каналами в виде треугольника с основанием 3,9—4,0 мм и высотой 1,25—1,50 мм. Длина пламегасящих каналов (высота кассеты) равна 80 мм. Для увеличения прочности кассеты сквозь нее пропускается стальной стержень 6, концы которого крепятся в корпусе огнепреградителя.

Пропускная способность огнепреградителя составляет 1000—1200 м³/ч (в расчете на воздух). Конструкция позволяет производить осмотр или смену предохранительной кассеты.

Кассетные огнепреградители устанавливают на резервуарах или на газовых коммуникационных трубопроводах резервуарных парков для светлых нефтепродуктов и нефтей, на хранилищах с органическими растворителями, на емкостях с аммиачной водой и др.

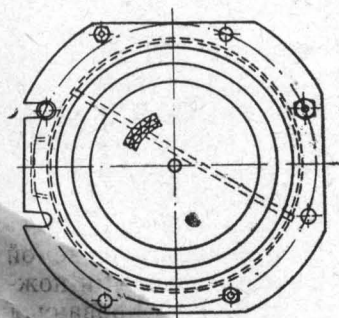
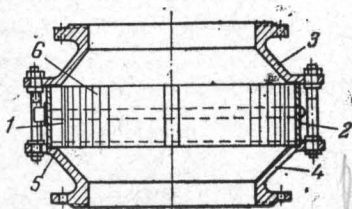


Рис. 22. Кассетный огнепреградитель типа ОП:

1 — предохранительная кассета; 2 — кожух; 3 — верхняя часть корпуса; 4 — нижняя часть корпуса; 5 — прокладка; 6 — стальной стержень.

Следует иметь в виду, что тонкая алюминиевая лента, применяемая для изготовления кассет, является недостаточно прочным материалом, а коррозионная устойчивость ленты невелика.

Авторами проведены испытания ряда образцов кассетных огнепреградителей типа ОП на надежность локализации пламени наиболее быстрогорящей пропановоздушной смеси с такой же нормальной скоростью распространения пламени, как у наиболее быстрогорящей бензино-воздушной смеси. Полученные результаты показали, что предельное абсолютное давление гашения пламени $p_{кр}$ составляет

1,24 ат, в отдельных случаях оно равно лишь 1,05 ат.

Из этого следует, что огнепреградители типа ОП имеют в среднем запас надежности только 24%, что недостаточно, так как уже при небольшом повышении рабочего давления горючей смеси в коммуникациях произойдет прорыв пламени в защищаемое пространство.

Огнепреградители рекомендуется устанавливать на всех отверстиях, через которые пламя может проникнуть внутрь емкости: на вентиляционных патрубках; под

дыхательными и предохранительными клапанами; на наполнительных и разгрузочных трубопроводах; на трубопроводах для обвязки резервуаров и на устройствах для отбора проб на анализ.

За рубежом выпускается дыхательный клапан с вмонтированным кассетным огнепреградителем [98]. Плоская и гофрированная ленты изготовлены из нейзильбера или из нержавеющей стали. Высота треугольника гофра не превышает 0,7 мм при длине пламегасящего канала 10 мм. В корпусе огнепреградителя расположены две такие кассеты на небольшом (несколько миллиметров) расстоянии друг от друга. Такие огнепреградители не только предотвращают проскок пламени при взрыве и выдерживают взрывное давление, но и в течение длительного времени (до 2 ч) сохраняют способность предотвращать проскок пламени в защищаемый объем при горении смеси на поверхности верхней кассеты.

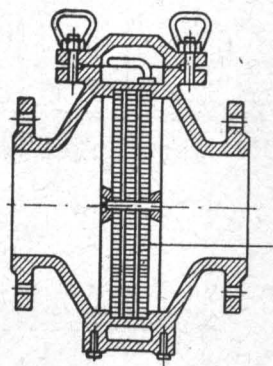


Рис. 23. Кассетный огнепреградитель.

Для установок по отсасыванию из шахт рудничного газа испытывали не только насадочные, но и кассетные огнепреградители (рис. 23). В работе [88] указывается, что высота треугольника гофра составляет 0,7 мм, ширина 2 мм и длина 10 мм. В каждый корпус вмонтированы три кассеты, отстоящие друг от друга на несколько миллиметров. Кассетные огнепреградители можно применять в продувочных линиях установок для отсасывания рудничного газа в тех случаях, когда длина продувочной трубы, присоединяемой после огнепреградителя, не превышает 15 м и огнепреградитель снабжен автоматическим устройством для пламегашения при стационарном горении смеси на поверхности кассеты.

О применении кассетных огнепреградителей в дегазационных установках для предотвращения распространения пламени до и после эксгаустеров сообщается в работах [97—102]. Кассета состоит из мельхиоровых гофрированной и плоской лент толщиной 0,08 мм.

В случае стационарного горения пламени на поверхности кассеты отрыв и гашение пламени смесей светильный газ — воздух происходит при скорости 14 м/сек и смесей рудничный газ — воздух — 3,5 м/сек.

При поджигании смеси, содержащей 9% метана, в длинной трубе может произойти детонация, в результате которой ленты деформируются, разрушаются и огнепреградитель выходит из строя. В связи с этим для ослабления действия детонационного горения или ударных волн огнепреградителя необходимо снабжать [103] антидетонационными устройствами (рис. 24).

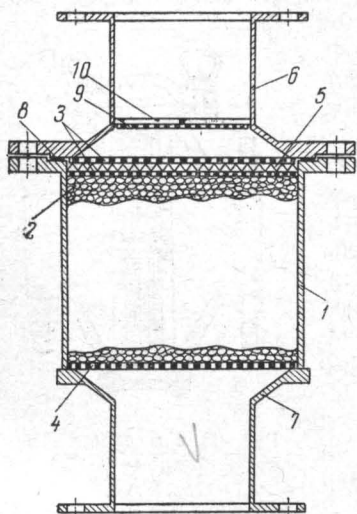


Рис. 24. Огнепреградитель с решетчатым диском для разрушения детонационной волны:

1 — корпус; 2 — насадка; 3, 4 — решетки; 5 — пружина; 6 — верхний патрубок; 7 — нижний патрубок; 8 — прокладка; 9 — решетчатый диск; 10 — ребра жесткости.

В работе [104] приведены обстоятельные экспериментальные исследования о гашении пламени бензино-воздушных смесей, проводившиеся с целью создания огнепреградителя для устранения опасности воспламенения в самолетах, вызываемого взрывом газов при сгорании смеси в карбюраторе или воспламенением скопившегося бензина вблизи приемного устройства карбюратора. Опыты проводили при атмосферном давлении в потоке с наиболее быстрогорящей бензино-

воздушной смесью. Пламя одноцилиндрового двигателя гасили пучком трубок и набором плоских и гофрированных металлических пластин. Испытываемый огнепреградитель устанавливали во всасывающей трубе двигателя. Критические условия гашения пламени определяли путем изменения состава горючей смеси и размера пламегасящих каналов.

В результате многочисленных опытов был разработан огнепреградитель в виде кассеты из плоской и гоф-

пированной стальных лент, плотно свитых в рулон. Этот огнепреградитель обладал малым сопротивлением и задерживал в течение многих часов пламя, возникающее при взрывах (70 взрывов в 1 мин) наиболее быстрогорящей бензино-воздушной смеси. Высота треугольника гофра составляла 0,53—0,76 мм, что значительно меньше критического диаметра каналов для гашения пламени наиболее быстрогорящей бензино-воздушной смеси; длина гасящих каналов составляла 25,4 мм.

Для гашения дефлаграционного пламени смеси горючего газ—воздух, распространяющегося при проскоке из горелки к смесителю (общему для нескольких горелок), рекомендуется устанавливать после смесителя и перед горелками кассетный огнепреградитель из гофрированной и плоской лент [105].

При обратном проскоке пламени и горении смеси на поверхности огнепреградителя (поскольку горючая смесь продолжает поступать из смесителя) кассета может нагреться до температуры, достаточной для поджигания смеси за огнепреградителем. Во избежание этого предусматривается устройство для отключения потока горючей смеси после задержания пламени, но до разогрева огнепреграждающего элемента. Устройство для отключения потока горючей смеси размещают в корпусе огнепреградителя.

При хранении бензина и других легковоспламеняющихся жидкостей во взаимосвязанных резервуарах огнепреградители устанавливают не только на сбросных линиях, но и на соединительных трубопроводах (обвязках), что предотвращает распространение пламени во все резервуары, если оно возникнет в одном из них.

На рис. 25 показана схема установки огнепреградителей и арматуры на обвязках трех резервуаров [106], а на рис. 26 — схема централизованной (групповой) установки огнепреградителей и дыхательной аппаратуры ЦДУ-4гр (320Н) в резервуарном парке для нефти емкостью 320 тыс. м³ [107].

В связи с возможностью возникновения в обвязочных трубопроводах детонационного горения смеси горючего пара с воздухом огнепреградители, устанавливаемые на обвязках, должны быть рассчитаны на более высокие давления по сравнению со сбросными огнепреградителями. Кроме того, огнепреградители на обвяз-

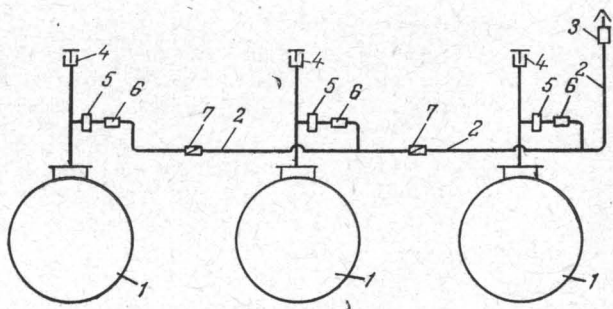


Рис. 25. Схема установки огнепреградителей и арматуры на обвязках трех резервуаров:

1 — резервуары; 2 — общий вентиляционный трубопровод; 3 — огнепреградитель на линии выброса газов в атмосферу; 4 — предохранительные клапаны; 5 — безынерционные запорные клапаны; 6 — коммуникационные огнепреградители; 7 — амортизатор.

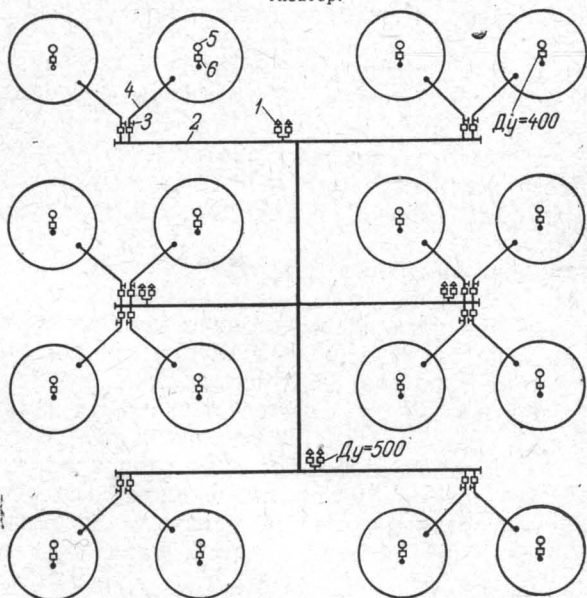


Рис. 26. Схема централизованной (групповой) установки огнепреградителей и дыхательной аппаратуры ЦДУ-4гр (320Н) в резервуарном парке для нефти емкостью 320 тыс. м³:

1 — дыхательные клапаны; 2 — асбоцементные трубы диаметром 400 мм; 3 — поворотные заслонки; 4 — металлические трубы диаметром 400 мм; 5 — предохранительные клапаны; 6 — огнепреградители.

ках должны иметь антидетонационное устройство. Огнепреградители, установленные на емкостях с горючими жидкостями, обладающими высокой температурой кипения, следует периодически продувать водяным паром или нагретым газом, чтобы предотвратить закупорку каналов огнепреградителя.

При приемке и монтаже кассетных огнепреградителей типа ОП (см. рис. 22) необходимо иметь в виду следующее. Иногда кассета неплотно прилегает к прокладке, в результате чего образуется зазор между корпусом и кассетой огнепреградителя, по которому пламя может проникнуть в защищаемый объем, минуя кассету. В некоторых случаях слабо затянуты гайки на упорных шпильках, что может привести к смещению кассеты. Чугунные корпуса из-за низкого качества отливки имеют поры и поэтому не всегда достаточно герметичны. Наружные концы штифтов, закладываемые с боковой поверхности кассеты для ее закрепления, заделываются неплотно.

От заводов-изготовителей кассетных огнепреградителей необходимо требовать полного устранения указанных недостатков.

Применение кассетных огнепреградителей особенно целесообразно, когда по условиям эксплуатации требуется минимальное сопротивление огнепреградителя.

ПЛАСТИНЧАТЫЕ ОГНЕПРЕГРАДИТЕЛИ

В угольной промышленности [88] для защиты эксгаустеров рудничного газа иногда устанавливают огнепреградители, представляющие собой пакет металлических пластин шириной 50 мм. Промежутки между пластинами шириной 0,5—0,7 мм, через которые проходит рудничный газ, являются пламегасящими каналами. Площадь поперечного сечения огнепреградителя должна быть больше площади сечения защищаемого трубопровода во избежание значительного сопротивления газовому потоку. На рис. 27 показан пластинчатый огнепреградитель для трубопровода диаметром 300 мм.

Известен также огнепреградитель [108], состоящий из 129 медных пластин толщиной 1 мм. Зазор между пластинами составляет 0,5 мм. Пакет пластин помещается в корпус огнепреградителя, верхняя и нижняя

части которого стягиваются болтами. Пластины устанавливают параллельно оси газопровода [109].

Испытания пластинчатых огнепреградителей показали [88], что надежность их действия снижается с увеличением длины присоединенного трубопровода и с повышением давления при взрывном горении в трубе. Для гашения стационарного пламени внутри корпуса огнепреградители необходимо снабжать соответствующими устройствами. Промежутки между пластинами должны

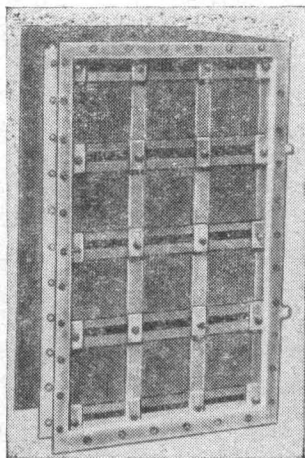


Рис. 27. Пастинчатый огнепреградитель
на $D_y=300$ мм.

составлять 0,3—0,4 мм, однако изготовление огнепреградителей с таким зазором и длительное его сохранение при эксплуатации настолько затруднительно, что пластинчатые огнепреградители не нашли значительного применения.

СЕТЧАТЫЕ ОГНЕПРЕГРАДИТЕЛИ

Сетчатые огнепреградители начали применять в шахтерских лампах (лампах Дэви) еще в начале прошлого века для предотвращения взрывов рудничного газа, но они не нашли широкого применения в качестве промышленных образцов.

В работе [110] сетчатые огнепреградители (рис. 28) рекомендованы для защиты установок, в которых сжигают городской газ. Огнепреграждающий элемент 1 состоит из 12 слоев медной сетки с размером ячеек 0,25 мм, зажатых между двумя перфорированными пластинами 2. Пакет сеток укреплен в съемной обойме 3. Корпус огнепреградителя изготовлен из ковкого чугуна или алюминиевого сплава и состоит из двух одинаковых частей, соединенных болтами с расположенной между ними съемной обоймой.

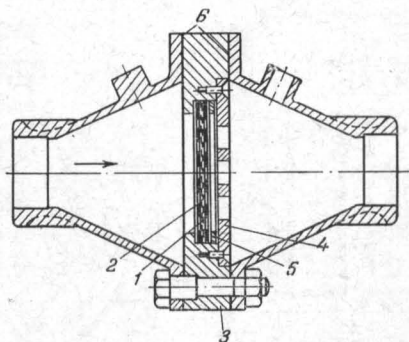


Рис. 28. Сетчатый огнепреградитель:

1 — огнепреграждающие сетки; 2 — перфорированные отражательные пластины; 3 — съемная обойма; 4 — удерживающая пластина; 5 — уплотняющее кольцо; 6 — прокладки из омедненного асбеста.

Действие сетчатых огнепреградителей испытывали на установках по отсасыванию рудничного газа [111, 88]. К трубопроводу диаметром 150 мм и длиной 15 м присоединяли огнепреградитель из трех сеток с размером отверстий 0,42 мм. Сетки располагали на расстоянии нескольких миллиметров друг от друга и укрепляли распорными кольцами. При проведении испытаний наблюдался прорыв пламени. Сетки быстро прогорали и рвались вследствие недостаточной механической прочности.

На рис. 29 показана конструкция сетчатого огнепреградителя [91] большой пропускной способности (до 40 000 $\text{м}^3/\text{ч}$), предназначенного для установок по рекуперации растворителей. Каждая гильза обмотана тре-

мя и более слоями сетки из меди, латуни или нержавеющей стали (размер ячейки в свету 0,3—0,4 мм). Для предотвращения разрушения огнепреградителя от взрывной волны служат предохранительные мембраны, расположенные на корпусе огнепреградителя против патрубков 4 и 7.

Для определения надежности локализации пламени этими огнепреградителями необходимо испытать их в полигонных условиях.

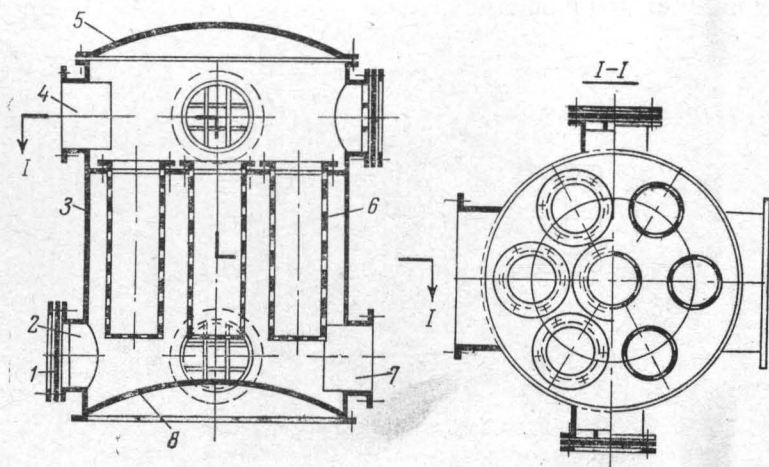


Рис. 29. Сетчатый огнепреградитель большой пропускной способности:

1 — мембрана; 2 — патрубок с опорной решеткой для предохранительной мембраны; 3 — корпус; 4 — патрубок для входа горючей смеси; 5 — крышка; 6 — гильзы с огнепреграждающими сетками; 7 — патрубок для выхода горючей смеси; 8 — днище.

Защиту фильтров для аэрозолей рекомендуют производить с помощью огнепреградителей в виде мелкосетчатой металлической ткани, локализирующей распространение пламени пыле-воздушных смесей [112].

Сетчатые огнепреградители не сложны в изготовлении и обладают небольшим сопротивлением газовому потоку. Недостатками их являются малая механическая прочность огнепреграждающего элемента и возможность быстрого прогорания сеток при возникновении факела пламени на их поверхности.

ОГНЕПРЕГРАДИТЕЛИ ДЛЯ БЫСТРОГОРЯЩИХ ГАЗО-ВОЗДУШНЫХ СМЕСЕЙ

Для гашения быстрогорящих смесей воздуха с ацетиленом, водородом, этиленом или окисью этилена (см. табл. 9, стр. 40) необходимы огнепреградители с небольшим диаметром пламегасящих каналов, например с насадкой в виде стеклянных или фарфоровых шариков [90]. При применении шариков диаметром не более 1 мм огнепреградители надежно локализуют пламя наиболее быстрогорящих водородо- и ацетилено-воздушных смесей. Насадка огнепреградителя должна иметь высоту не менее 80 мм. На рис. 30 показана конструкция

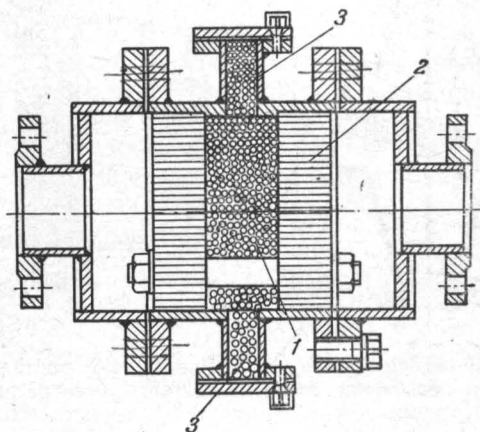


Рис. 30. Горизонтальный насадочный огнепреградитель для водородо- и ацетилено-воздушных смесей

1 — насадка; 2 — ребристая решетка; 3 — компенсирующий слой насадки.

такого огнепреградителя, снабженного решетками с охлаждающими ребрами.

Устройство огнепреградителя, показанное на рис. 31, дает возможность без разборки корпуса быстро заменить насадку через небольшое боковое отверстие.

Конструкция насадочного огнепреградителя, в котором исключается образование краевого эффекта при его горизонтальном расположении, показана на рис. 32. В корпусе предусмотрены люки для контроля и пополнения насадки в случае ее частичного измельчения или утряски. Такие огнепреградители можно располагать

как вертикально, так и горизонтально. Они могут быть использованы в первую очередь в ацетиленовых и водородных производствах на линиях выброса продувочных газов в атмосферу. В результате опытов по гашению пламени наиболее быстрогорящих водородо- и ацетилено-воздушных смесей с помощью насадки высотой 80 мм из гранул корунда размером 0,5—1,0 мм по методике, описанной на стр. 24, установлено, что предельное избыточное давление гашения пламени составляет 3,8 ат для смеси 42% H_2 +58% воздуха и 4 ат для смеси 10,5% C_2H_2 +89,5% воздуха.

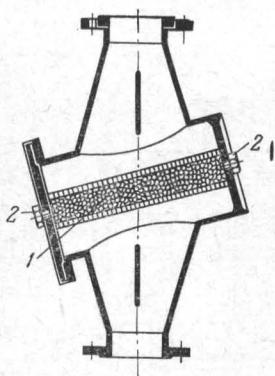


Рис. 31. Насадочный огнепреградитель с боковыми отверстиями:
1 — насадка; 2 — боковые отверстия для замены насадки.

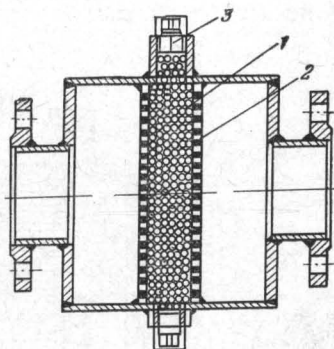


Рис. 32. Горизонтальный насадочный огнепреградитель с люками:
1 — насадка; 2 — перфорированная решетка; 3 — люк.

Эти данные указывают на возможность применения огнепреградителей с насадкой из гранул корунда размером 0,5—1,0 мм для локализации пламен наиболее быстрогорящих воздушных газовых смесей.

Применение насадочных огнепреградителей может быть сопряжено с трудностями, если давление удаляемого горючего газа не преодолевает сопротивления огнепреградителя, а также при содержании в горючем газе пыли смолистых или легко конденсирующихся и возгораемых веществ, засоряющих огнепреградитель. Это может произойти при выбросе в атмосферу ацетилена или водорода низкого давления, так как для них огнепре-

градители заполняются мелкой насадкой, оказывающей значительное сопротивление газовому потоку, а также при содержании в сбрасываемом газе паров бензола и других примесей.

Если отходящие горючие газы не направляются на факел, а выбрасываются в больших количествах в атмосферу, возникает опасность сильного взрыва при воспламенении горючей воздушной смеси, например от удара молнии.

При низком давлении выбрасываемого газа, а также при содержании в нем пыли или смолистых веществ применение огнепреградителей становится невозможным. В этих случаях по согласованию с органами надзора выбрасываемые горючие газы разбавляются азотом до получения негорючих смесей. По мере разбавления водорода азотом область распространения пламени сужается, а при содержании 65% азота распространение пламени в смеси прекращается независимо от соотношения между водородом и воздухом [113]. Если подача азота для безопасного разбавления горючего нетоксичного газа производится постоянно, то огнепреградитель можно не устанавливать.

ОГНЕПРЕГРАДИТЕЛИ ДЛЯ КИСЛОРОДНЫХ СМЕСЕЙ ГОРЮЧИХ ГАЗОВ И ПАРОВ

Огнепреградители для кислородных смесей горючих газов и паров применяют главным образом при газопламенной обработке металлов. Эти смеси обладают наибольшими нормальными скоростями распространения пламени; величина u_n составляет от 1—2 до 15,4 м/сек, а критический диаметр каналов для гашения пламени при атмосферном давлении колеблется в пределах 0,5—0,07 мм.

Такие небольшие каналы легче всего получить путем применения в качестве огнепреграждающего материала пористой металлокерамики или металловолокна. Металлокерамические пластины и трубы находят в настоящее время широкое применение в качестве фильтров [114, 115] при очистке сырой нефти непосредственно в буровых скважинах и в других случаях.

Для изготовления металлокерамических фильтров из сферических шариков стальную проволоку распыляют электрометаллизационным аппаратом. При попада-

нии распыленного металла в воду образуются частицы сферической формы диаметром 0,1—2 мм. Поверхность сферических частиц обычно покрыта окислами железа, препятствующими нормальному процессу спекания, поэтому ее восстанавливают водородом в электропечи при 800 °С в течение 2 ч. Затем частицы сортируют по размерам. В отобранном по фракциям порошке содержится еще большое количество частиц неправильной формы. Для их удаления производится откатка порошка на стеклянном листе, поставленном под углом 20°. Круглые частицы скатываются с наклонной плоскости, а частицы неправильной формы остаются на стекле и удаляются.

Из восстановленного металлического порошка путем прессования изготавливают элементы. Для увеличения пористости и улучшения процесса прессования к порошку добавляют 1,5—5% улетучивающегося при нагревании связующего вещества (парафин и углекислый аммоний). Смеси засыпают в пресс-формы и прессуют под давлением 1—4 тс/см². Спрессованные образцы спекают в электропечи при 1050—1250 °С [115] и затем в ряде случаев подвергают диффузионному хромированию. Металлокерамические образцы из нержавеющей стали изготавливают иногда из несферических порошков [116].

Для изготовления фильтров применяют также оловянистофосфористую бронзу следующего состава: 8—10% олова, 1—2% цинка, 0,4—0,5% фосфора, остальное медь. Расплавленный, хорошо раскисленный и перегретый металл льют тонкой струей на сильную струю воды. При этом получается порошок, который состоит из частиц разных размеров и формы. Порошок просеивают через набор сит с отверстиями в свету 0,085; 0,105; 0,18; 0,3; 0,5 и 0,85 мм и производят откатку круглых частиц.

Перед спеканием порошок для очистки поверхности от окислов подвергают травлению соляной кислотой (1:1), промывают водой до нейтральной реакции, затем спиртом и сушат при 50 °С.

Подготовленный таким образом порошок засыпают в форму небольшими порциями и уплотняют. В отличие от других изделий порошковой металлургии бронзовые фильтры изготавливают спеканием порошка без предварительного его прессования, так как при прессо-

вании сферические частицы деформируются, в результате чего искажаются форма и размеры фильтрующих каналов. Спекание производят при 820—840 °С в течение 20—30 мин с последующим охлаждением образца в печи до 400—300 °С.

Стальные и бронзовые металлокерамические фильтры изготавливают в виде дисков и трубок [114, 115].

В настоящее время развивается новая отрасль порошковой металлургии — металлургия волокна [117]. Исходным материалом является металлическое волокно с диаметром проволоки 25—100 мк и отношением длины к диаметру 50—200:1. Волокно получают резкой проволоки и обработкой металлов резанием. Полученный из волокна войлок пористостью 70—97% подвергается дальнейшей обработке давлением, спеканию, горячему прессованию и сварке.

Металловолокно отличается большей пористостью, чем металлокерамические плиты, а при одинаковой пористости металловолокно является более прочным и пластичным. Методы металлургии волокна применяют для изготовления фильтров с высокой пористостью, проницаемостью и прочностью. Такие фильтры являются перспективными в качестве огнепреградителей.

Для гашения ламинарного и детонационного пламени наиболее быстрогорящих топливо-кислородных смесей [118] разработаны следующие типы металлокерамических огнепреградителей.

Огнепреградители без разгрузки давления. В огнепреградителях этого типа гашение пламени производится металлокерамической пластиной. При этом в подводящих коммуникациях и в корпусе огнепреградителя возникают большие давления.

Огнепреградители с односторонней разгрузкой давления. В этих огнепреградителях (рис. 33) при взрыве (в случае превышения определенного давления) открывается пружинный предохранительный клапан и происходит разгрузка давления.

Огнепреградители с двусторонней разгрузкой давления. Они отличаются от предыдущих только тем, что разгрузка давления осуществляется с обеих сторон от огнепреграждающего металлокерамического элемента.

Огнепреградители с разгрузкой давления и прекращением подачи газа. Эти огнепреградители, помимо раз-

грузки давления, должны одновременно перекрывать газовый поток.

В связи с тем, что не во всех случаях указанные предохранительные функции требуются одновременно, возможно комбинирование отдельных элементов разных конструкций огнепреградителей [119].

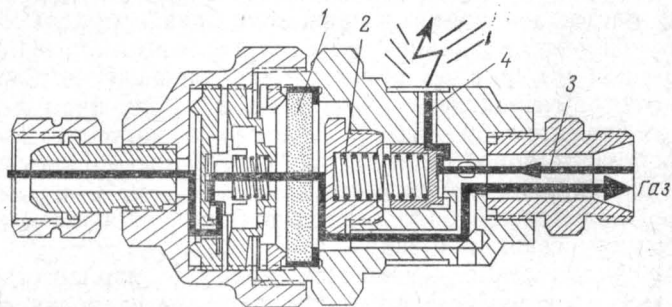


Рис. 33. Металлокерамический огнепреградитель с односторонней разгрузкой давления:

1 — металлокерамическая пластина; 2 — пружина; 3 — направление обратного удара пламени; 4 — отверстие для сброса давления.

Обратный клапан, смонтированный в корпусе огнепреградителя, пропускает газ только в одном направлении, что при надежной его работе должно препятствовать образованию горючей кислородной смеси в случае перетекания горючего в кислородную линию или кислорода в линию горючего при проведении сварочных работ.

Разработана конструкция, в которой огнепреграждающим элементом является металлокерамическая трубка из карбонильного порошка (состоящего из весьма чистого железа). Из этого порошка с размером частиц 1—10 мк путем холодного прессования получали пористый элемент, прочность которого увеличивали спеканием в нейтральной атмосфере при температуре ниже точки плавления.

Огнепреградитель с таким металлокерамическим элементом локализует пламя смеси, состоящей из 33% C_2H_2 и 67% O_2 , при избыточном давлении до 4 ат [120]. В корпусе огнепреградителя расположен предохранительный клапан, который должен срабатывать при об-

ратном перетекании кислорода. Для таких случаев металлокерамические элементы из карбонильного железа мало пригодны вследствие возможной их коррозии и опасности возгорания. Нельзя также применять металлокерамические элементы из медных сплавов, если возможен их контакт с ацетиленом. Наиболее приемлемы элементы из нержавеющей стали.

В работе [121] исследовано гасящее действие металлокерамических огнепреградителей для локализации обратного удара пламени при сварочных работах. Опыты проводили в потоке при пропускании через огнепреградитель смеси, состоящей из 35% C_2H_2 и 65% O_2 , в количестве 3 м³/ч. Фотографированием установлено, что в подводящей коммуникации перед огнепреградителем после инициирования возникает детонационный режим сгорания смеси.

При разовом воздействии детонационной волны на огнепреградитель пламя ацетилено-кислородной смеси локализуется. Если же на огнепреградитель действуют быстро следующие одна за другой детонационные волны, образующиеся в результате сгорания натекающей горючей смеси, металлокерамические элементы, как показали непосредственные измерения, разогреваются до высокой температуры и поджигают горючую смесь за огнепреградителем, что может вызвать последующий взрывной распад ацетилена при отсутствии кислорода.

Сухие огнепреградители с металлокерамическими элементами испытывали при непрерывном пропускании 1000 л/ч смеси, состоящей из 30% C_2H_2 и 70% O_2 . Поджигание смеси производили каждые 10 сек. Установлено [122], что после многократных поджиганий горючей смеси металлокерамический элемент разогревается и происходит проскок пламени в защищаемое пространство. Отмечено также, что обратные клапаны засоряются.

На рис. 34 показан металлокерамический огнепреградитель типа ЗСС-1, предназначенный для локализации пламени метано-кислородной смеси при газопламенной обработке металлов [33]. В корпусе 1 огнепреградителя укреплены диск 2 для разрушения детонационной волны и металлокерамическая бронзовая трубка 3 диаметром 40 мм и длиной 250 мм при

толщине стенки 7 мм. Трубка изготовлена из сферических бронзовых частиц диаметром 0,2 мм и плотно закреплена в корпусе с помощью дырчатой шайбы 4 и грибка 5, который закрывает верхнее отверстие трубы.

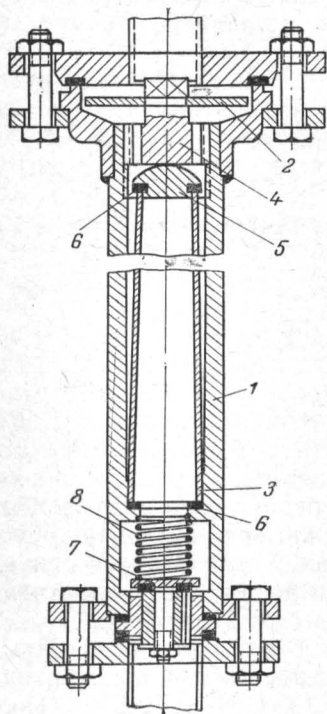


Рис. 34. Металлокерамический огнепреградитель типа ЗСС-1:

1 — корпус; 2 — диск; 3 — металлокерамическая бронзовая трубка; 4 — дырчатая шайба; 5 — грибок; 6 — прокладки; 7 — золотник; 8 — пружина.

Герметизация осуществляется при помощи прокладок 6. В нижней части корпуса расположен обратный клапан. Золотник 7 обратного клапана прижимается к седлу пружины 8.

Горючий газ поступает по коммуникации в огнепреградитель снизу, проходит через обратный клапан, сквозь стенки трубки, через отверстия дырчатой шайбы и зазор между диском и корпусом огнепреградителя и по шлангу поступает в горелку.

В случае обратного проскока пламя проходит через зазор между шайбой и корпусом огнепреградителя, проникает сквозь отверстия дырчатой шайбы в пространство между металлокерамической трубкой и корпусом и гаснет на поверхности трубки. В результате повышения давления при обратном проскоке пламени обратный клапан перекрывает газовый поток.

Описанный металлокерамический огнепреградитель

локализует распространение пламени стехиометрической метано-кислородной смеси при избыточном давлении до 2,3 ат. Такие огнепреградители можно применять для локализации ламинарного и детонационного пламени любой газо-воздушной смеси при давлении до пяти атмосфер.

При работе аппаратуры для кислородной резки металлов на жидком горючем возникают обратные удары пламени в кислородный канал резака и далее в кислородопроводящий шланг, который при этом разрывается и загорается, если из-за нарушения правил обращения с керосинорезом в кислородный шланг попало жидкое горючее.

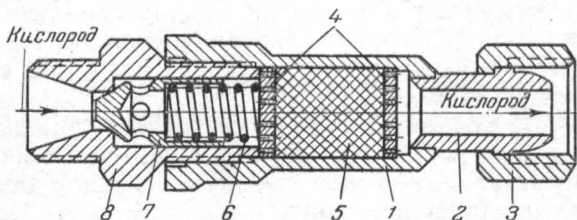


Рис. 35. Клапан ЛКО-1:

- ✓ 1 — корпус; 2 — штуцер; 3 — накидная гайка; 4 — решетки;
5 — латунная сетка; 6 — пружина; 7 — клапан; 8 — седло клапана.

Во избежание этих явлений целесообразно на кислородном штуцере керосинореза устанавливать клапан ЛКО-1 конструкции ВНИИавтогенмаш. Последний представляет собой обратный клапан с пружиной и конусным уплотнителем, в котором торможение взрывной волны, охлаждение потока и гашение пламени достигаются при контакте со вставкой из медной или латунной сетки [123], установленной перед уплотнителем (по ходу взрывной волны).

Клапан ЛКО-1 (рис. 35) представляет собой цилиндрический корпус 1 с впаянным в него присоединительным штуцером 2 и накидной гайкой 3. Внутри корпуса 1 расположены решетки 4, пространство между которыми заполнено латунной сеткой 5 номер 016 (ГОСТ 3584—53). Плоскость левой решетки служит упором для пружины 6 из бронзовой проволоки, которая прижимает конусный клапан 7 к седлу клапана 8.

Клапан работает следующим образом. Кислород, поступая по резиноканевому рукаву (шлангу) к отверстию седла штуцера 8, преодолевает сопротивление пружины 6 клапана 7 и перемещает его на расстояние, обеспечивающее свободный проход кислорода через отверстие в клапане, насадку 5 и далее в резак. При обрат-

ном ударе взрывная волна попадает в корпус клапана, проходит через насадку из сетки и, действуя на площадь торца клапана, перемещает его к седлу, перекрывая отверстие газоподводящего трубопровода. Пламя, проходя через каналы сетчатой насадки, охлаждается и гаснет. Суммарное усилие, создаваемое пружиной и обычным давлением газов, недостаточно для герметизации клапана, вследствие чего он не может быть использован в качестве обратного клапана против перетекания газов. Уплотнение клапана происходит лишь под давлением взрывной волны.

Обратные клапаны, не имеющие огнепреграждающего элемента из пористого материала или сетки, как показали испытания, не могут служить надежной защитой от обратных ударов пламени.

Особое внимание следует обращать на уплотнение металлокерамического огнепреграждающего элемента. При образовании в уплотнении щели, соответствующей максимальному диаметру пламегасящих каналов, возможен проскок пламени в защищаемое пространство.

Ацетилено-кислородные смеси самые опасные, так как их пламя имеет высокую температуру и распространяется с большой скоростью. Кроме того, всегда возможен взрывной распад ацетилена, инициированный проскоком ацетилено-кислородного пламени.

Имеющиеся конструкции сухих огнепреградителей для ацетилено-кислородных смесей недостаточно надежны и не могут еще заменить водяные предохранительные затворы [122, 124]. Однако их можно использовать в качестве дополнительного средства безопасности путем установки на выходе из баллонных или рамповых редукторов, а также на горелках для защиты сварочных шлангов.

При использовании углеводородных газов и жидкостей (не склонных к взрывному распаду) в качестве горючих в смеси с кислородом в автогенной технике создаются более благоприятные условия для применения сухих огнепреградителей.

ОГНЕПРЕГРАДИТЕЛИ ДЛЯ АЦЕТИЛЕНА НИЗКОГО И ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

Ацетилен, являясь ненасыщенным и эндотермическим соединением, склонен к взрывному распаду при отсутствии воздуха или кислорода. Взрывной распад при большой длине трубопровода диаметром свыше 100 мм и низком давлении может перейти в режим быстрого нестационарного горения или в детонацию.

При производстве ацетилена для промышленного органического синтеза с целью защиты аппаратуры от разрушения применяют огнепреградители в виде башен с насадкой из колец Рашига. Эти огнепреградители, локализирующие детонационный распад ацетилена, устанавливают [125]: на выходе из цеха получения ацетилена; на входе в газгольдер или на выходе из него, если газгольдер работает на проток; на входе в цехи переработки ацетилена; перед сбросом ацетилена на факел.

В крупных химических производствах транспортировка ацетилена осуществляется при абсолютном давлении в междоульях трубопроводах 1,03—1,05 ат [126]. Схема транспортировки ацетилена показана на рис. 36.

Так как нормальная скорость распространения пламени распада чистого ацетилена невелика, $\delta_{кр}$ при абсолютном давлении 1,5 ат составляет 26 мм, поэтому для гашения пламени применяется насадка в виде крупных колец Рашига.

На рис. 37 показана конструкция орошаемого насадочного огнепреградителя [127]. В средней части корпуса 1 между решетками 2 находится насадка 3 в виде колец Рашига. Для орошения насадки над ней помещают

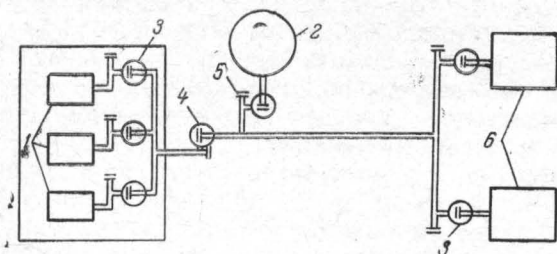


Рис. 36. Схема транспортировки ацетилена:

1 — агрегаты производства ацетилена; 2 — газгольдер; 3 — огнепреградители в агрегате; 4 — огнепреградитель в коллекторе; 5 — разрывные мембраны; 6 — цехи переработки.

ся сопло 4, через которое разбрызгивается вода, поступающая в башню. Выше сопла находится насадка 5 из колец Рашига, выполняющая роль брызгоотделителя.

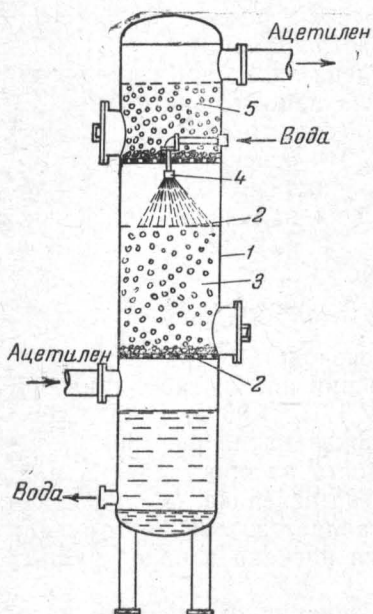


Рис. 37. Конструкция орошаемого огнепреградителя:

1 — корпус; 2 — решетки; 3, 5 — насадки; 4 — сопло.

Для локализации дефлаграционного и детонационного пламени распада ацетилена рекомендуется применять при орошении насадки водой кольца Рашига размером 35×35 и 50×50 мм, а без орошения — кольца размером 35×35 мм. В соответствии с действующими в настоящее время правилами высота насадки в орошаемой башне должна быть не менее 2 м, а в неорошаемой — не менее 4 м [128]. Диаметр башни определяется количеством проходящего через нее ацетилена. Как показано в работе [129], эти башни надежно локализуют детонационный распад ацетилена, причем высота насадки, по-видимому, может быть сни-

жена. Например, при использовании колец Рашига размером 10×10 мм детонационный распад ацетилена при начальном абсолютном давлении 1,5 ат надежно локализовался насадкой высотой 320 мм [130]. При наличии пленки жидкости или продуктов коррозии на поверхности насадки эффективность ее действия повышается [131].

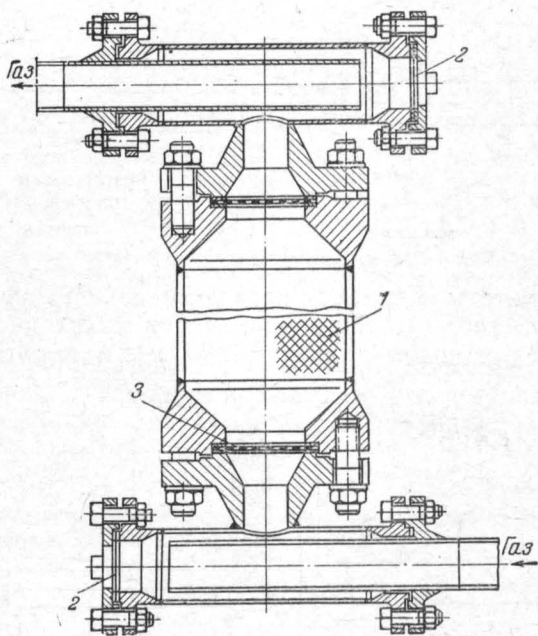


Рис. 38. Насадочный огнепреградитель:

1 — насадка; 2 — мембрана; 3 — решетка.

На рис. 38 показана конструкция огнепреградителя, заполненного кольцами Рашига диаметром 10 мм [123]. Огнепреградитель предназначен для цехов производительностью 50—150 м³/ч ацетилена. Надежно действующие разрывные мембраны (рис. 39) дают возможность снизить давление в огнепреградителе (в 2 раза по сравнению с огнепреградителями, где мембраны отсутствуют) при локализации детонационного распада ацети-

лена [132]. Отвод от разрывных мембран нужно выполнять так, чтобы при их разрыве поток газа не создавал опасности для обслуживающего персонала и не повреждалось оборудование.

В работе [12] описываются испытания насадочных огнепреградителей для ацетилена на установке, показанной на рис. 40.

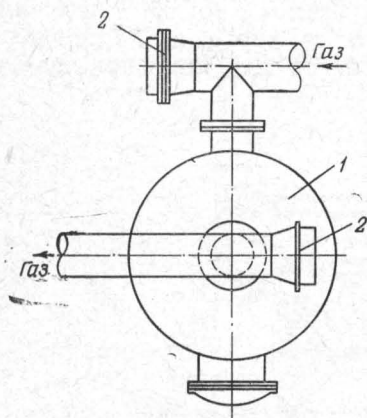


Рис. 39. Схема сухого огнепреградителя с разрывными мембранами (вид сверху):

1 — корпус; 2 — торцевые мембраны.

Результаты испытаний насадки из колец Рашига приведены в табл. 10. При применении сухих чистых металлических колец диаметром 26 мм и высоте насад-

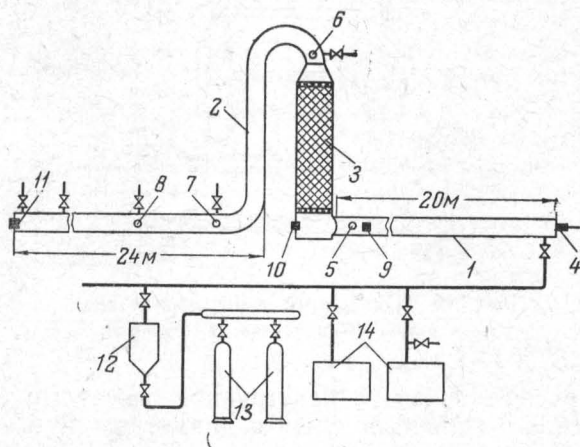


Рис. 40. Схема установки для испытаний огнепреградителей:

1 — труба (инициируемый участок); 2 — защищаемый участок трубы; 3 — огнепреградитель; 4 — поджигающее устройство; 5-8 — термопары; 9-11 — крешерные приборы; 12 — скруббер с активированным углем; 13 — баллоны с ацетиленом; 14 — вакуумные насосы.

ки 1 м предельное давление равно 1,75 ат, а в случае применения смоченных водой металлических колец диаметром 40 мм и высоте насадки 0,5 м предельное давление превышает 6 ат.

Таблица 10

Результаты гашения пламени распада ацетилена насадкой из колец Рашига диаметром 40 мм при начальном абсолютном давлении 6 ат

Интенсивность орошения насадки $м^3/(м^2 \cdot ч)$	Давление взрыва (по крешерному прибору) под решеткой огнепреградителя, $кг/см^2$	Интенсивность орошения насадки $м^3/(м^2 \cdot ч)$	Давление взрыва (по крешерному прибору) под решеткой огнепреградителя, $кг/см^2$
Высота насадки 1 м		Высота насадки 0,5 м	
17,0	221	3,0	221
3,0	—	Кольца смочены .	228
Кольца смочены .	208	То же	25
То же	223		

Примечание. Воспламенение в защищаемом участке не наблюдалось. При зафиксированном давлении 25 $кг/см^2$ поджигание ацетилена производилось под решеткой огнепреградителя.

В табл. 11 приведены данные о локализации пламени взрывного распада ацетилена в огнепреградителе диаметром 300 мм с насадкой из колец Рашига диаметром 40 мм и высотой 2 м [133].

Таблица 11

Результаты гашения пламени распада ацетилена насадкой из колец Рашига диаметром 40 мм

Начальное избыточное давление ат	Режим горения	Воспламенение в защищаемом участке	Давление под решеткой огнепреградителя $кг/см^2$
2,0	Детонация	+	296
1,5	То же	+	358
1,4	Переход в детонацию не наблюдался	+	<25
1,3	То же	—	<25

Примечание. Знак + означает воспламенение, знак — означает отсутствие воспламенения.

Данные таблицы показывают, что предельное начальное давление ацетилена, при котором огнепреградитель является эффективным, составляет всего 1,3 ат.

Анализ экспериментальных данных показывает, что при самых разнообразных режимах распада ацетилена (детонация, быстрое нестационарное горение, медленное распространение фронта пламени), даже в случае значительного повышения абсолютного давления ацетилена в огнепреградителе (до 4,7 ат) к моменту прихода фронта горения, огнепреградитель со смоченными или орошаемыми водой металлическими кольцами работает весьма эффективно, надежно предохраняя защищаемый участок ацетиленопровода.

Энергия, необходимая для инициирования распада ацетилена, зависит от давления, причем чем давление больше, тем меньше требуется энергии. Так, при давлении 1 ат энергия составляет примерно 100 дж [134] при давлении 1,4 ат — 8 дж [135], а при давлении 15—25 ат — всего 0,9—0,2 мдж [136]. Из этого следует, что в промышленных условиях резко возрастает возможность поджигания ацетилена от случайных импульсов и опасность взрывного его разложения при высоком давлении.

При высоком давлении взрывной распад ацетилена легко переходит в детонацию. Распространение пламени распада ацетилена можно предотвратить с помощью огнепреградителей с узкими гасящими каналами.

В литературе опубликован ряд работ по гашению пламени распада ацетилена высокого давления в узких каналах. Так, установлено [137], что с уменьшением внутреннего диаметра капиллярных трубок предельное давление распада ацетилена повышается и при диаметре капилляров 0,5 мм оно составляет 31 ат. Эти данные согласуются с результатами по взрывному распаду ацетилена в капиллярах разных размеров, приведенными в работе [138].

Гашение пламени распада ацетилена производилось при начальном абсолютном давлении до 5 ат с помощью пучка узких трубок [134, 139]. В одном случае трубку с огнепреградителем располагали горизонтально, в другом — пламя проникало через огнепреградитель снизу вверх. Оказалось, что при одинаковых диаметрах гасящих каналов предельное давление гашения пламени распада ацетилена во втором случае более низкое.

Установлена [140] способность различных пористых масс, не содержащих ацетона, к задержанию пламени

распада ацетилена в сосуде емкостью 5 л при начальных давлениях 18 и 25 ат. Объем свободного пространства сосуда изменялся от 0,5 до 2 л. Опыты показали, что во всех случаях пористые массы (пемза, кизельгур, древесный уголь), применяемые для заполнения ацетиленовых баллонов, локализуют взрывной распад ацетилена и глубина проникновения пламени составляет 20—40 мм.

В отдельных опытах при использовании в качестве огнепреградителя песка с размером частиц 0,74—1,38 мм предельное давление распада ацетилена составило 31 ат.

Отсутствие надежных данных о зависимости критических диаметров гасящих каналов от давления приводит к тому, что в отдельных случаях [141] принятые меры безопасности не обеспечивают надежной защиты от взрывов.

Авторами в широких пределах определены [142] критические диаметры каналов для гашения пламени распада чистого ацетилена и в смеси с азотом, установлены зависимости предельного давления гашения пламени распада ацетилена и ацетилено-азотных смесей от диаметра пламегасящих каналов и высоты насадочного слоя, а также разработаны рекомендации по обеспечению безопасности при работе с ацетиленом высокого давления.

Гашение пламени распада ацетилена проводилось насадками из стальных шаров диаметром 2—14 мм, стеклянных шариков диаметром 0,9—1,2 мм, стальных трубок с внутренним диаметром 3 и 6 мм и длиной 350 мм, металлокерамическими фильтрами и бронзовыми сетками, частицами электрокорунда и карборунда фракций 0,5—1,0; 1,0—1,5 и 1,5—2,0 мм.

Опыты проводились в вертикально расположенных цилиндрических стальных бомбах с внутренним диаметром 35—61 мм и высотой 400—1500 мм по методике, описанной в работе [35].

О проскаке пламени судили по наличию сажи за огнепреградителем, а также по показаниям пьезокварцевых датчиков.

Благодаря высокой газопроницаемости огнепреграждающих материалов и значительно меньшему объему камеры поджигания по сравнению с остальным объе-

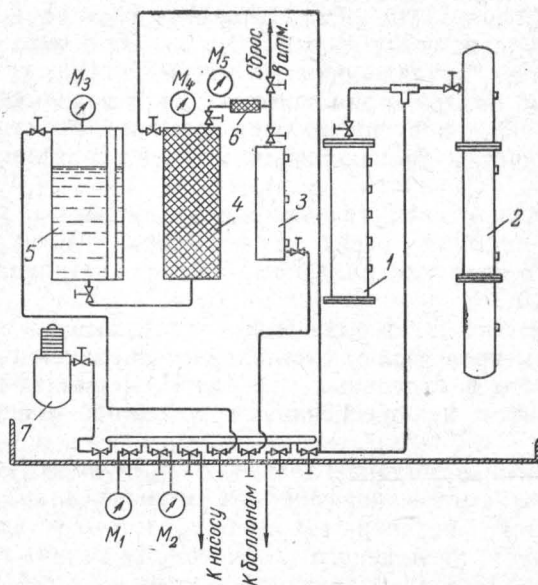


Рис. 41. Установка для изучения критических условий гашения пламени распада ацетилена при высоком давлении:

1—3 — бомбы; 4 — дожимающий сосуд; 5 — сосуд с указателем уровня; 6 — огнепреградитель; 7 — смеситель; M_1 — M_5 — образцовые манометры.

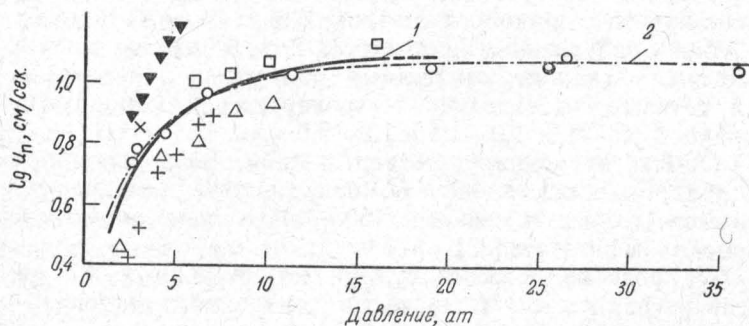


Рис. 42. Зависимость нормальных скоростей распространения пламени распада чистого ацетилена от давления:

1 — усредненная кривая, построенная по экспериментальным данным разных авторов: \blacktriangle — [134]; + — [143]; \triangle — [144]; \times — [145]; \square — [146]; 2 — кривая, построенная по точкам, вычисленным при $Re_{кр.} = 74$.

мом бомбы* проскок пламени через огнепреградитель происходил при давлении, практически не отличавшемся от начального.

Размер максимальных каналов металлокерамических фильтров и насадок из мелких гранул определяли по методу, описанному в работе [43].

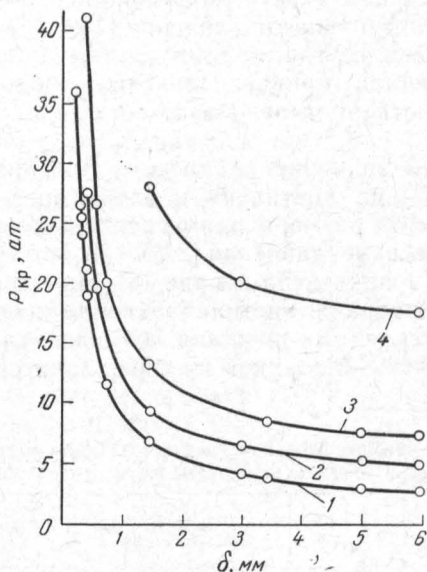


Рис. 43. Зависимость критического давления гашения пламени распада ацетилена и ацетилено-азотных смесей от диаметра пламегасящих каналов:

1 — чистый ацетилен; 2 — смесь из 80% C_2H_2 и 20% N_2 ; 3 — смесь из 60% C_2H_2 и 40% N_2 ; 4 — смесь из 40% C_2H_2 и 60% N_2 .

При начальных давлениях до 15—20 ат ацетилен в бомбы 1, 2 и 3 (рис. 41) подавался из баллона. Для получения ацетилена под давлением свыше 20 ат пользовались дожимающим сосудом 4 и сосудом с указателем уровня 5, заполненным водой. Сначала ацетилен под давлением 10—15 ат поступал в дожимающий сосуд, заполненный частицами из тугоплавкого материала с раз-

* Объем камеры за огнепреградителем более чем в 10 раз превосходил объем камеры поджигания.

мером гранул 0,3—0,5 мм. Затем сжатым азотом вода передавливалась из сосуда 5 в сосуд 4, в результате чего происходило сжатие ацетилена. После этого ацетилен при заданном давлении подавался в бомбу 3. Для обеспечения безопасности между бомбой 3 и сосудом 4 был установлен металлокерамический огнепреградитель.

Для вычисления $P_{кр}$ использовались данные о зависимости u_n ацетилена от давления [139, 143—146], приведенные на рис. 42, где показана также принятая авторами усредненная кривая. Значения теплоемкости и теплопроводности ацетилена взяты по справочным данным [67].

Предельные величины давления гашения пламени взрывного распада ацетилена и зависимость критического давления от размера пламегасящих каналов определяли в интервале давлений 2,75—36 ат. Результирующая кривая 1 приведена на рис. 43. При давлениях до 19 ат пламя распада ацетилена гасили насадками из стальных и стеклянных шариков, а также стальных трубок; свыше 19 ат — насадкой из зерен электрокорунда и

Таблица 12

Зависимость критического давления гашения пламени распада ацетилена от размера пламегасящих каналов и других условий

Тип насадки	h^* мм	d мм	δ мм	$P_{кр}$ ат	$P_{кр}$ [142]
Стальные трубки	350	—	6	2,75	72
	350	—	3	4,25	73
Стальные шары	400	14,0	5,02	3,0	69
	300	9,5	3,42	3,75	69
	150	4,0	1,44	6,75	73
	150	2,0	0,72	11,5	78
	150	1,0	0,36	21,0	—
Стеклянные шарики	150	0,9—1,2	0,288	25,5	—
Гранулы корунда	150	1,0—1,5	0,267	26,5	—
	150	1,5—2,0	0,40	19,0	81
	150	0,5—1,0	0,208	36,0	—
Латунные сетки (16 шт.)	5	—	0,325	15,5	51
Стальные металлокерамические пластины	5	1,0—1,5	0,37	17,5	68
	20	1,0—1,5	0,34	22,5	83

* h — высота огнепреграждающего слоя.

карборунда различной грануляции. Полученные данные приведены в табл. 12.

Из табл. 12 видно, что, несмотря на различия огнепреграждающих материалов и значительные изменения диаметра пламегасящих каналов (в 30 раз), начального давления ацетилена (в 13 раз) и нормальной скорости распространения пламени (более чем в 2 раза), вычисленные значения $Re_{кр}$ примерно близки к среднему значению $Re_{кр}=65$, характерному для многих горючих газовых и паро-газовых смесей на пределе гашения пламени в насадках. Определение энергии активации A пламени распада ацетилена при избыточном давлении 2,5 ат показало [145], что средняя ее величина составляет 24 ккал/моль. Средняя температура пламени T_b распада ацетилена в этих опытах составила $\sim 1570^\circ K$. Вычисленное по формуле (3,2), приведенной на стр. 34, значение $Re_{кр}$ оказалось равным 61, что практически не отличается от среднего значения $Re_{кр} = 65$. В интервале давлений 3—19 ат величина $Re_{кр}$ на пределе гашения пламени ацетилена в среднем была равна 74. Предполагая, что величина $Re_{кр}$ остается постоянной и при более высоких давлениях, авторы вычислили значения u_n (см. рис. 42) в интервале давлений ацетилена 2,75—36 ат. На основании полученных данных можно предположить, что, начиная с 15—20 ат, величина u_n пламени распада ацетилена мало зависит от давления. При определении зависимости предельного давления гашения пламени распада ацетилена от высоты насадки из шариков диаметром 1, 2 и 4 мм установлено (рис. 44), что с увеличением высоты насадки

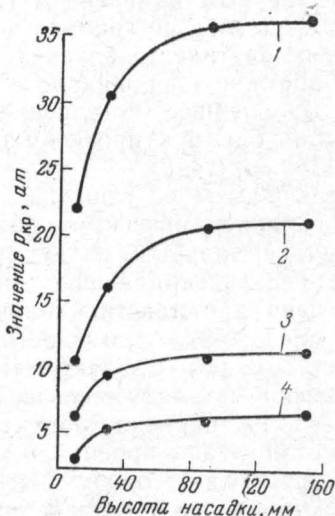


Рис. 44. Зависимость критического давления пламени распада ацетилена от высоты насадки:

1 — гранулы тугоплавкого материала диаметром 0,5—1 мм; 2 — стеклянные шарики диаметром 1 мм; 3 — стальные шарики диаметром 2 мм; 4 — стальные шарики диаметром 4 мм.

с 10 до 60 мм давление гашения пламени распада ацетилена возрастает в 1,5—2 раза. При дальнейшем увеличении высоты насадки до 150 мм давление повышается лишь незначительно. Это подтверждается непосредственным измерением глубины проникновения пламени в насадку по границе исчезновения сажи. При давлениях ацетилена, близких к критическим, пламя распада ацетилена проникало в глубь насадки на 45—60 мм. Дальнейшее повышение давления ацетилена на 10% приводило к проскоку пламени через насадку высотой 150 мм [142].

Опыты по гашению пламени распада ацетилена металлокерамическими пластинами высотой 5 и 20 мм с максимальным размером пор 0,35 мм показали, что предельное давление гашения пламени распада ацетилена для пластин толщиной 5 мм составляет 17,5 ат ($P_{кр}=68$), для пластин толщиной 20 мм — 22,5 ат ($P_{кр}=83$). Следует отметить, что при задержании пламени металлокерамическими пластинами сажа вследствие расширения продуктов сгорания засоряла поры пластин и даже проникала в незначительных количествах на другую их сторону. Высокая эффективность огнепреградителей из металлокерамических пластин даже небольшой толщины позволяет успешно использовать их для гашения пламени распада ацетилена при высоких давлениях.

Огнепреградители в виде насадки из зерен электрокорунда и карборунда размером 0,5—1 мм испытывались при детонационном режиме сгорания ацетилена сначала в пустой бомбе 3 (см. рис. 41) с внутренним диаметром 35 мм и длиной 400 мм; поджигание производилось снизу. О характере сгорания газа судили по показаниям крешерного прибора, расположенного в торце камеры. При начальных давлениях ацетилена до 30 ат наблюдалось только 25—30-кратное увеличение давления, что указывало на отсутствие детонации.

В последующих опытах в нижнюю часть бомбы помещали слой шариков диаметром 4 мм, высотой 150 мм, над которыми на высоте 100 мм располагали крешерный прибор*. При начальном давлении ацетилена 24 ат

* Так как опыты проводились при давлениях свыше 20 ат, диаметр гасящих каналов, образованных шариками диаметром 4 мм, был значительно больше критического.

сгорание ацетилена сопровождалось только 20—25-кратным ростом давления. После жесткого закрепления шариков и начальном давлении ацетилена 24 ат крешерный прибор показал 45—55-кратный рост давления, что указывало на возникновение стационарной детонационной волны. Конечное давление в этих опытах составляло 1200 ат.

Когда на высоте 100 мм над насадкой из шариков диаметром 4 мм вместо крешерного прибора установили огнепреградитель с насадкой из частиц корунда с размером гранул 0,5—1 мм, оказалось, что такая насадка высотой 80 мм надежно локализует распространение детонационного пламени при начальных давлениях ацетилена 24—30 ат. В результате воздействия детонационной волны измельчалась лишь незначительная часть насадки.

ГАШЕНИЕ ПЛАМЕНИ АЦЕТИЛЕНО-АЗОТНЫХ СМЕСЕЙ

В ряде случаев ацетилено-азотные смеси транспортируют при давлениях до 20 ат [147, 148].

При изучении условий гашения пламени распада этих смесей [142] огнепреградителями служили металлические трубки с внутренним диаметром 3 и 6 мм и высотой 350 мм и стальные шары диаметром 2—14 мм. Результаты опытов иллюстрируют кривые 2, 3 и 4 на рис. 43. Для расчетов были использованы данные [146] о нормальной скорости распространения пламени распада ацетилено-азотных смесей, приведенные на рис. 45. Полученные величины приведены в табл. 13.

Из табл. 13 видно, что среднее значение $Pe_{кр}$ для смеси, состоящей из 80% C_2H_2 и 20% N_2 , примерно равно 90, для смеси, состоящей из 60% C_2H_2 и 40% N_2 , оно равно 95 и для смеси, состоящей из 40% C_2H_2 и 60% N_2 , $Pe_{кр}=85$.

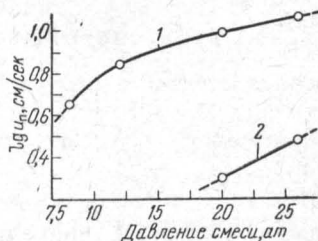


Рис. 45. Зависимость нормальных скоростей распространения пламени распада ацетилено-азотных смесей от давления:

1 — смесь из 60% C_2H_2 и 40% N_2 ; 2 — смесь из 40% C_2H_2 и 60% N_2

Для локализации пламени распада ацетилено-азотных смесей можно применять несколько более крупную насадку, чем для чистого ацетилена (см. рис. 43). Все

Таблица 13

Зависимость критического давления гашения пламени распада ацетилено-азотных смесей от размера пламегасящих каналов и других условий

Тип насадки	h мм	d мм	δ мм	$p_{кр.}$ ат	$Pe_{кр.}$ [142]
-------------	-----------	-----------	----------------	-----------------	------------------

Смесь, состоящая из 80 % C_2H_2 и 20 % N_2

Стальные трубки	350	—	6,0	4,75	—
	350	—	3,0	6,5	85
Стальные шары	400	14,0	5,02	5,25	—
	150	4,0	1,44	9,25	90
	150	2,0	0,72	15,0	89
Корунд	150	2,0—2,5	0,55	19,5	95
	150	1,5—2,0	0,40	27,5	—

Смесь, состоящая из 60 % C_2H_2 и 40 % N_2

Стальные трубки	350	—	6,0	7,25	98
Стальные шары	400	14,0	6,02	7,5	99
	300	9,5	3,42	8,5	85
	150	4,0	1,44	13,0	89
Корунд	150	2,0—2,5	0,55	26,5	107

Смесь, состоящая из 40 % C_2H_2 и 60 % N_2

Стальные трубки	350	—	6,0	17,5	99
	350	—	3,0	20,0	74
Стальные шары	150	4,0	1,44	28	82

огнепреградители, пригодные для локализации пламени распада ацетилена, могут быть использованы с еще большим запасом надежности и для локализации пламени ацетилено-азотных смесей при тех же давлениях.

На основании экспериментальных данных [142] авторами разработаны и испытаны [149] огнепреградители

для гашения пламени ацетилена высокого давления [до 30 ат] двух типов: локализирующие взрывное и детонационное пламя распада ацетилена с насадкой из электрокорунда или карборунда с размером частиц 0,5—1 мм и металлокерамические. Насадочные огнепреградители в свою очередь подразделяются на следующие типы: а) рамповые ЗВС-1-65 и ЗВС-2-65 с пропускной способностью соответственно 40 и до 80 $\text{нм}^3/\text{ч}$; б) хомутовый (монтирующийся в присоединяемом хомуте) ЗВБ-1-65 с пропускной способностью до 2 $\text{нм}^3/\text{ч}$; в) огнепреградители ЗВВ-1-65, присоединяемые к рамповому вентилю, с пропускной способностью до 2 $\text{нм}^3/\text{ч}$. Кроме того, разработан насадочный огнепреградитель для защиты линии продувочных газов от пламени ацетилено-воздушной смеси.

На рис. 46 показана конструкция огнепреградителя, вмонтированного в хомут, присоединяемый к баллону. Корпус 1 огнепреградителя прижимается к ниппелю 2 накидной гайкой 3. Герметизация осуществляется с помощью прокладки 4. Между стальными решетками 5 с размером отверстий 1,5—2 мм расположена насадка 6 из зерен тугоплавкого материала с размером частиц 0,5—1 мм. Насадка в корпусе жестко зажимается с помощью нажимной гайки 7. Для предотвращения просыпания насадки сквозь отверстия решетки между насадкой и решетками расположено по два слоя стальной сетки 8 с размером ячеек 0,2 мм. Огнепреградитель присоединяется

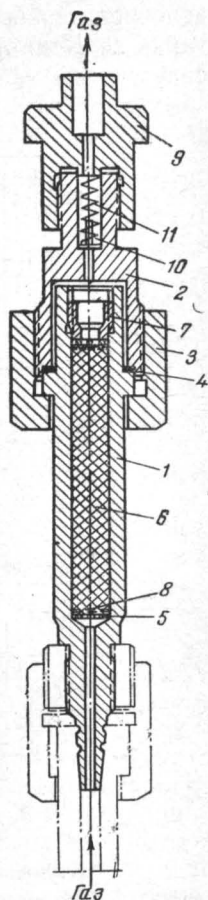


Рис. 46. Насадочный огнепреградитель, вмонтированный в хомут, присоединяемый к баллону:

1 — корпус; 2 — ниппель; 3 — накидная гайка; 4 — прокладка; 5 — стальные решетки; 6 — насадка; 7 — нажимная гайка; 8 — стальная сетка; 9 — гайка; 10 — обратный клапан; 11 — пружина.

непосредственно к ацетиленовому баллону с помощью гайки 9. В ниппеле 2 расположен обратный клапан 10 с пружиной 11, предотвращающий выход ацетилена из

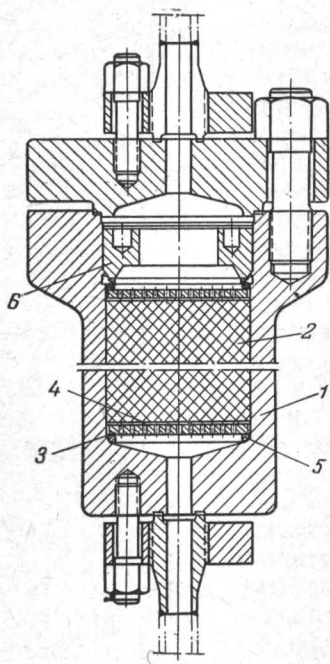


Рис. 47. Насадочный рамповый огнепреградитель с пропускной способностью 80 $\text{нм}^3/\text{ч}$:

1 — корпус; 2 — насадка; 3 — решетка; 4 — сетки; 5 — резиновое уплотнительное кольцо; 6 — нажимная гайка.

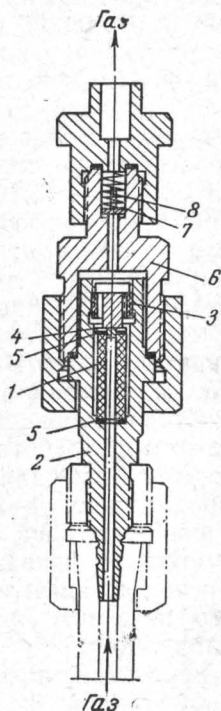


Рис. 48. Металлокерамический огнепреградитель, вмонтированный в хомут, присоединяемый к баллону:

1 — пористая металлокерамическая трубка; 2 — корпус; 3 — нажимная гайка; 4 — направляющий диск; 5 — прокладка; 6 — ниппель; 7 — обратный клапан; 8 — пружина.

баллона при возникновении неплотностей в рампе или случайном прекращении наполнения баллонов. Ниппель корпуса 1 служит для присоединения шланга.

Все другие насадочные огнепреградители имеют небольшие конструктивные отличия.

Металлокерамические огнепреградители отличаются тем, что в корпусе вместо насадки жестко зажата прочная стальная металлокерамическая трубка с максимальным размером пор 0,02 мм. Надежное уплотнение металлокерамических трубок осуществляется с помощью прокладок из фторопласта.

Огнепреградители с насадкой, как указывалось, не нуждаются в уплотнителях для устранения краевого эффекта. При длительной эксплуатации диаметр частиц насадки, отличающейся большой прочностью, остается практически постоянным. Заполнение огнепреградителя насадкой должно производиться на вибростенде.

Сопротивление каждого огнепреградителя в зависимости от давления поступающего ацетилена составляет от 0,4 до 0,01 ат.

На рис. 47, 48 и 49 показаны соответственно рамповый насадочный огнепреградитель с пропускной способностью 80 $\text{нм}^3/\text{ч}$, металлокерамический баллонный огнепреградитель и схема линии высокого давления ацетиленовой наполнительной станции с указанием рекомендуемых мест для установки огнепреградителей. Рамповые огнепреградители следует устанавливать после компрессора, перед осушительной батареей и после нее и на каждом ответвлении ramпы. Баллонные огнепреградители монтируются в каждом хомуте баллона. Если огнепреградители установлены у рамповых вентилей на отводах к каждому баллону, то в присоединительных хомутах огнепреградители можно не устанавливать. Для ацетилено-воздушной смеси огнепреградители монтируют на продувочной линии выброса ацетилена и ацетилено-азотных смесей в атмосферу.

Ацетилен, получаемый из карбида кальция, содержит взвешенную мелкую пыль гидрата окиси кальция; попадая в баллон, она приводит к частичному превращению ацетона в диацетоновый спирт. Вследствие этого снижается газоемкость баллонов. При пропускании ацетилена через огнепреградители с мелкой насадкой или металлокерамическими трубками содержание известковой пыли в ацетилене значительно уменьшается.

При использовании в ряде процессов ацетилена под давлением в зарубежной промышленности применяют огнепреградительные устройства [147, 150], работающие по принципу велосипедного клапана.

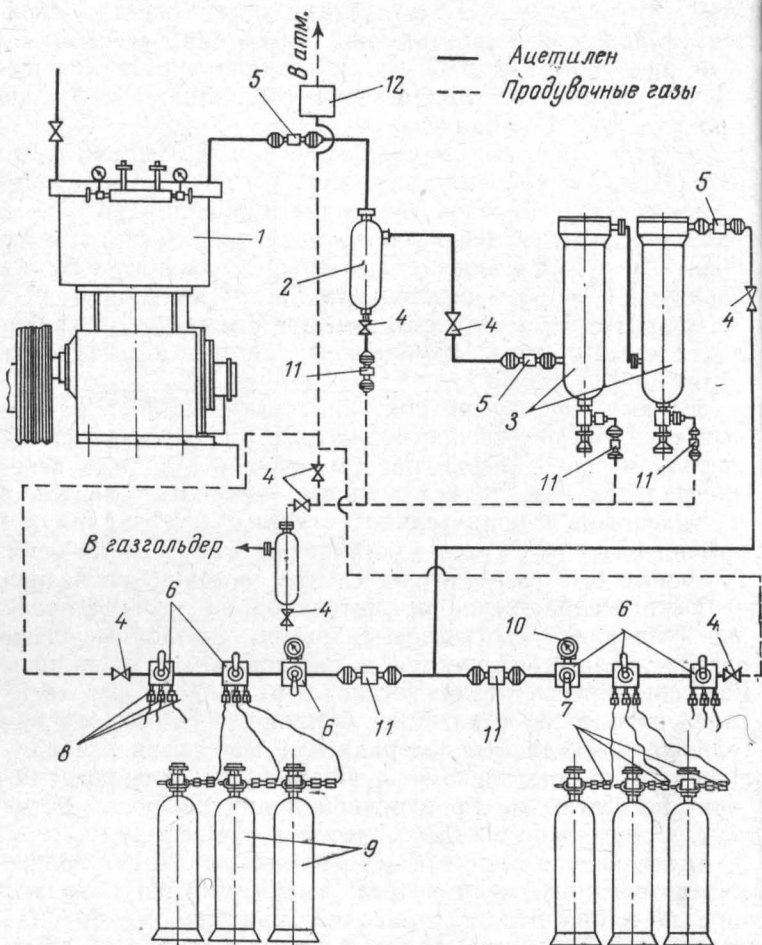


Рис. 49. Схема линии высокого давления ацетиленовой наполнительной станции с указанием мест для установки огнепреградителей:

1 — компрессор; 2 — маслоотделитель; 3 — баллоны осушительной батареи; 4 — вентили; 5 — рамповые огнепреградители с пропускной способностью $80 \text{ нм}^3/\text{ч}$; 6 — рамповые перепускные вентили; 7 — огнепреградители, вмонтированные в хомуты, присоединяемые к баллонам; 8 — огнепреградители к перепускным вентилям; 9 — баллоны; 10 — манометры; 11 — рамповые огнепреградители с пропускной способностью $40 \text{ нм}^3/\text{ч}$; 12 — огнепреградители для ацетилено-воздушной смеси,

Клапан (рис. 50) состоит из двух трубок 1 и 2, вставленных одна в другую и соединенных нажимной гайкой 3. Внутренняя газоподводящая трубка имеет отверстия 4. Насверленная часть обтянута резиновым чулком 5. При обратном ударе пламени распада ацетилена под действием давления резиновый чулок перекрывает отверстия газоподводящей трубки 1 и предотвращает проскок пламени в газоподводящую трубу.

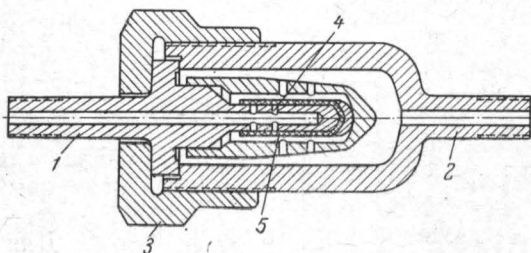


Рис. 50. Обратный клапан:

1, 2 — трубки; 3 — нажимная гайка; 4 — отверстия;
5 — резиновый чулок.

Эти огнепреградители обладают рядом существенных недостатков. Резина со временем высыхает, растрескивается и теряет эластичность, вследствие чего не достигается необходимая надежность ее защитного действия. Наружная поверхность трубки с отверстиями засоряется твердыми частицами, вследствие чего резиновый чулок при обратном ударе может не перекрыть отверстия газоподводящей трубки. Описанное устройство является огнепреградителем одностороннего действия, в то время как по условиям эксплуатации во многих случаях требуются огнепреградители двустороннего действия.

Опытная проверка показала, что предохранительные устройства одностороннего действия ненадежны [151]. В работе [152] сообщается, что эти устройства действительны при давлениях только до 6 ат. Авторы также экспериментально установили ненадежность таких устройств.

Новая конструкция огнепреградителя, надежно локализирующая пламя распада ацетилена при давлениях до 30 ат [153], представляет собой сочетание обратного клапана в виде резинового чулка, закрывающего отверстия полого корпуса, с пористой металлокерамической

трубкой, в которой происходит локализация пламени при его проскоке между резиновым чулком и полым корпусом с отверстиями.

Между патрубками 1 и 2 (рис. 51) вставлен полый корпус 3, в тонком конце которого насверлены отверстия 4. Внутри полого корпуса между пробкой 5 и гайкой 6 прочно зажимается металлокерамическая трубка 7, которая уплотняется с помощью прокладок 8 и 9. На насверленную часть полого корпуса надевается эластичный резиновый чулок 10, плотно закрывающий отверстия 4. Для предохранения насверленной части полого корпуса и трубки 7 от воздействия ударных нагрузок на полый корпус навинчивается колпак 11 с отверстиями. Герметизация между патрубками и полым корпусом осуществляется с помощью прокладок 12.

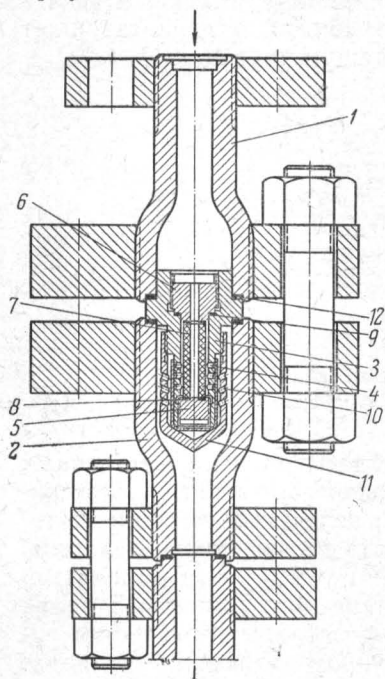


Рис. 51. Металлокерамический огнепреградитель в сочетании с обратным клапаном для гашения пламени ацетилена высокого давления:

1, 2 — патрубки; 3 — полый корпус; 4 — отверстия; 5 — пробка; 6 — гайка; 7 — металлокерамическая трубка; 8, 9, 12 — прокладки; 10 — резиновый чулок; 11 — колпак.

Аналогичная конструкция огнепреградителя, разработанная авторами, отличается от описанной тем, что металлокерамическая трубка 7 с заваренным дном приваривается к гайке 6 [154].

Обе конструкции огнепреградителей выполнены таким образом, что

полые корпуса с металлокерамическими элементами являются взаимозаменяемыми.

Во время работы ацетилен поступает по патрубку 1 (см. рис. 51), проходит сквозь пористую металлокерамическую трубку 7, отверстия 4 полого корпуса, отжимает

резиновый чулок 10 и через отверстия колпака 11 по патрубку 2 поступает для использования.

При возникновении пламени распада ацетилена со стороны потребителя пламя проходит через отверстия колпака 11 и гаснет вследствие перекрытия отверстий 4 резиновым чулком 10. В случае разрушения резинового чулка 10 пламя гаснет в порах металлокерамической трубки 7. При возникновении пламени распада ацетилена со стороны его поступления в огнепреградитель гашение происходит при непосредственном контакте с металлокерамической трубкой 7.

Оба огнепреградителя были испытаны на установке, описанной в работе [142]. Поток создавался путем пропускания ацетилена из смесителя в испытуемый огнепреградитель. При начальном давлении ацетилена до 32 ат и потоке газа до 1 $\text{нм}^3/\text{ч}$ в защищаемом пространстве сажа не была обнаружена, т. е. пламя через огнепреградитель не прошло.

Применительно к металлокерамическому элементу с размером максимальных пор 0,02 мм вычисленное предельное давление гашения пламени распада ацетилена составило ~ 140 ат; запас надежности [57] по отношению к рабочему давлению 25—30 ат оказался равным ~ 5 . Применение пористой металлокерамической трубки с таким малым размером максимальных пор (0,02 мм) позволяет выдерживать давления, возникающие как при нормальном, так и детонационном режиме сгорания.

Сопротивление огнепреградителя при расходе ацетилена до 4 $\text{нм}^3/\text{ч}$ в интервале давлений 2,5—30 ат составляет всего 0,3—0,02 ат.

Описанное устройство представляет собой сочетание огнепреградителя двустороннего действия с обратным клапаном одностороннего действия. Пористая металлокерамическая трубка задерживает частицы пыли и окалины, что способствует надежной работе резинового чулка в качестве обратного клапана и предварительного огнепреграждающего элемента.

Огнепреградители для гашения пламени ацетилена высокого давления должны быть установлены на всех ацетилено-наполнительных станциях, а также на опытных и промысленных установках по химической переработке ацетилена под давлением.

СОПРОТИВЛЕНИЕ
ОГНЕПРЕГРАДИТЕЛЕЙ

[Выбор эффективного огнепреградителя определяется не только его способностью гасить пламя, но и гидравлическим сопротивлением газовому потоку. Сопротивление огнепреградителя определяют при прохождении через него газа в отсутствие распространения пламени. С уменьшением пламегасящих каналов и увеличением высоты насадки сопротивление огнепреградителя при заданной скорости газа возрастает.

Напор газа при движении через насадку уменьшается вследствие трения газа о поверхность насадки, а также из-за сужения и расширения газового потока, проходящего через каналы переменного сечения, образованные элементами насадки.

Потери напора от сжатия и расширения газовой струи, являющиеся преобладающими в общих потерях напора при движении газа, пропорциональны квадрату скорости газа, т. е. общие потери напора также приблизительно пропорциональны квадрату скорости газа. В кассетных насадках сопротивление обусловлено только трением газового потока о поверхность насадки при движении в сплошных каналах. Скорость потока в пористой среде пропорциональна первой степени поперечного сечения, а не его квадрату, как при потоке в трубе.

Детальному изучению течения газа через насадки и мелкозернистые материалы по законам движения потока в трубах посвящено исследование Н. М. Жаворонкова [155]. Он рассматривает движение газа через насадку скруббера как течение потока по параллельным каналам с диафрагмами. Учитывая, что при беспорядочно загруженной насадке отдельное определение потерь

напора на трение и местные сопротивления невозможно, гидравлическое ее сопротивление характеризуется автором одним коэффициентом f . В качестве определяющего размера был принят эквивалентный диаметр канала $d_{\text{экв.}}$ и по площади свободного сечения насадки рассчитывалась действительная скорость газа.

Потери напора Δp (в кг/м^2 или в мм вод. ст.) при движении потока через слой выражаются уравнением:

$$\Delta p = \frac{2fh\gamma w^2}{d_{\text{экв.}} g}$$

где f — безразмерный коэффициент гидравлического сопротивления;

h — высота слоя насадки, м ;

γ — удельный вес газа, кг/м^3 ;

w — действительная скорость потока (в свободном сечении), м/сек ;

$d_{\text{экв.}}$ — эквивалентный (эффективный) диаметр каналов (пор), образованных насадочными элементами или зернами, м ;

g — 9,81 м/сек^2 .

В насадках (кусовой и из колец Рашига) переход ламинарного течения потока в турбулентный совершается при меньшем значении критерия Рейнольдса Re , чем при движении потока в прямых трубах:

$$Re = \frac{wd_{\text{экв.}} \gamma}{\mu g}$$

где μ — вязкость газа, $\text{кг} \cdot \text{сек/м}^2$.

Такой переход по данным работы [155] происходит при $Re = 50-60$.

На основе экспериментальных данных Н. М. Жаворонковым получена следующая зависимость (рис. 52) коэффициента f от Re :

для области ламинарного режима ($Re \leq 50-60$)

$$f = \frac{100}{Re}$$

для области турбулентного режима ($Re > 60$)

$$f = \frac{3,8}{Re^{0,2}}$$

Для слоя стальных шариков установлена другая зависимость [156]

$$f = \frac{36,3}{Re} + 0,4$$

Применительно к металлокерамическим фильтрам рекомендуются следующие зависимости [157]:
при $Re < 10$

$$f = \frac{38}{Re}$$

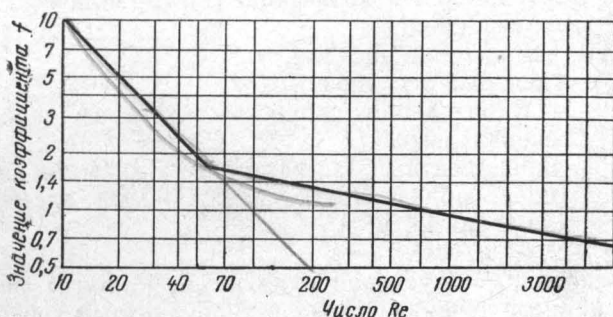


Рис. 52. Зависимость коэффициента гидравлического сопротивления сухой насадки от числа Re .

при $10 < Re < 250$

$$f = \frac{29}{Re} + \frac{1,25}{Re^{0,15}}$$

Кольца Рашига являются наиболее распространенным типом скрубберной насадки, так как обладают незначительным весом на единицу объема, большим свободным объемом и живым сечением, а также значительной общей геометрической поверхностью.

Насадка из колец Рашига обладает значительно меньшим сопротивлением газовому потоку, чем кусковая насадка. Кольцо Рашига представляет собой полый цилиндр, у которого наружный диаметр и высота одинаковы.

Характеристика насадки из стальных колец Рашига приведена в табл. 14.

Таблица 14

Характеристика стальных колец Рашига

Размер мм	Количество в 1 м ³	Вес кг/м ³	Поверхность м ² /м ³
8×8×0,3	1 500 000	750	630
10×10×0,5	770 000	960	500
12×12×0,5	450 000	810	430
15×15×0,25	240 000	330	350
15×15×0,5	240 000	660	350
25×25×0,3	55 000	240	220
25×25×0,8	55 000	640	220
35×35×1	19 000	570	150
50×50×1	7000	430	110

В табл. 15 приведены опытные данные, характеризующие насадку из шариков [158]. Коэффициент пустот (доля свободного объема) F имеет размерность м³/м³.

Таблица 15

Плотность упаковки шариков в сосудах различных диаметров

Диаметр сосуда D мм	Диаметр шариков d мм	Отношение D/d	Доля свободного объема F , м ³ /м ³		
			опытные данные	расчетные данные	отклонения %
40,25	2,46	16,4	0,372	0,399	+4,5
			0,405	0,396	-1,4
64	2,46	26	—	—	—
			0,394	0,394	0
101	2,46	41	—	—	—
			0,4	0,393	-1,15
101	7,15	14,1	—	—	—
			0,387	0,398	+1,82
64	3,19	20	0,385	0,396	+1,82
			0,385	0,395	+1,65
101	3,19	31,6	—	—	—
			0,406	0,392	-2,3

Примечание. В числителе — первая серия измерений, в знаменателе — вторая.

• Приведенные в табл. 15 данные свидетельствуют о том, что слой сферических частиц с одинаковым диаметром при беспорядочной укладке имеет коэффициент пустот (F), равный примерно 0,4.

Исследования [158] распределения скоростей газа в сосуде диаметром 47 мм, заполненном шариками адсорбента диаметром 6 мм ($\frac{D}{d} \approx 8$) и высотой слоя 300 мм, показали, что при $Re=10-20$ скорость газа у стенок сосуда на 30—70% больше, чем в центральных слоях.

При исследовании влияния отношения D/d на коэффициент сопротивления установлено [159], что коэффициент стенки зависит не только от этого отношения, но и от критерия Рейнольдса. При малых числах Re коэффициент стенки снижается с уменьшением отношения D/d . Если в сосуде с диаметром D находится слой шариков с диаметром d , то общая условная поверхность слоя шариков a (в m^2/m^3) на единицу объема составит:

$$a = \frac{6(1-F)}{d} \left(1 + \frac{1}{2(1-F)n} \right)$$

где $n = D/d$.

В табл. 16 приведены данные о поверхности слоя шариков различных размеров, применяемых в огнепреградителях.

Таблица 16

Поверхность слоя шариков различного диаметра

Диаметр шариков, мм	Поверхность слоя шариков m^2/m^3	
	при $n = 20$	при $n = 40$
1	2496	2445
2	1228	1224
3	824	816
4	624	612
5	499	490
6	416	408

Поверхность шариков, применяемых в огнепреградителях, колеблется в пределах 400—2500 m^2/m^3 и мало зависит от величины n .

При увеличении отношения D/d до 15—20 эффект стенки почти полностью устраняется [160].

Результаты определения коэффициентов гидравлического сопротивления, в частности для металлокерамических элементов, показывают, что даже достаточно надежные расчетные методы не могут полностью заменить экспериментальное определение некоторых гидравлических характеристик. Поэтому наряду с количественными расчетами следует производить простую операцию экспериментального определения проницаемости огнепреградителя.

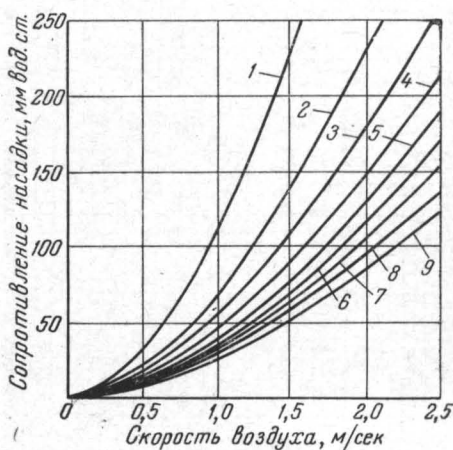


Рис. 53. Зависимость сопротивления насадки высотой 50 мм из шариков различного диаметра от скорости воздуха:

1 — 1 мм; 2 — 2 мм; 3 — 3 мм; 4 — 4 мм; 5 — 5 мм;
6 — 6 мм; 7 — 7 мм; 8 — 8 мм; 9 — 10 мм.

Экспериментальные данные о сопротивлении различных огнепреграждающих элементов газовому потоку обобщены в работе [161].

В табл. 17 приведены расчетные формулы для определения коэффициента сопротивления и числа Рейнольдса применительно к сухим огнепреградителям [161]. Рабочим газом является воздух.

На рис. 53 приведены кривые, характеризующие сопротивление насадки из шариков различного диаметра

Таблица 17

Расчетные формулы для определения сопротивления элементов огнепреградителей потока газа

Огнепреграждающий элемент	Область переменных величин	Формулы расчета $N_{кр}$	Формулы расчета N_{Re}	Вид зависимости
Одна или несколько сеток [162]	$N_{Re} < 1000$	$\frac{h e^3}{L S \rho \mu^2 (1 - e)}$	$\frac{\rho \mu}{S \mu (1 - e)}$	$N_{кр} = \frac{5}{N_{Re}} + \frac{0,4}{N_{Re}^{0,1}}$
Почти сферические частицы [163]	$3 < N_{Re} < 1000$	$\frac{h d}{L \rho \mu^2 F(e)}$	$\frac{\rho d}{\mu}$	$N_{кр} = \frac{1000}{N_{Re}} + \frac{125}{N_{Re}^{0,5}} + 14$
Одна или несколько сеток [164]	$N_{Re} < 5000$	$\frac{h d e^2}{4 t (1 - e) \rho \mu^2}$	$\frac{\rho d (1 - M d)^2}{4 \mu e (1 - e)}$	$\lg 15 N_{кр} = 1,75 N_{Re}^{-0,203}$
Гофрированные ленты [165]	$N_{Re}^{кр} < 2000$ $N_{Re}^{кр} > 2000$	$\frac{h d e^2}{4 \rho \mu^2 L} - Z$	$\frac{\rho d}{\mu e}$	$N_{кр} = \frac{4,0}{N_{Re}^{0,9}}$ $N_{кр} = \frac{0,353}{N_{Re}^{0,58}}$
Гофрированные ленты [161]	$\frac{L}{d} = 15 \div 150$ $N_{Re}^{кр} < 2000$ $N_{Re}^{кр} > 2000$	$\frac{h d e^2}{4 \rho \mu^2 L} - Z$	$\frac{\rho d}{\mu e}$	$N_{кр} = \frac{5,15}{N_{Re}^{0,918}} \left(\frac{60 d}{L} \right)^{0,335}$ $N_{кр} = \frac{0,353}{N_{Re}^{0,58}}$

Условные обозначения: N_{Re} — число Рейнольдса; L — глубина элемента огнепреградителя; d — характерный линейный размер; h — перепад давления вдоль насадки; e — пористость $\left(\frac{\text{свободный объем}}{\text{общий объем}} \right)$; S — удельная поверхность материала; ρ — плотность газа; μ — примерная скорость газа через огнепреградитель; $F(e)$ — функция пористости [163]; t — толщина слоя; Z — сумма коэффициентов потерь давления на выходе и входе, равная $\frac{8L}{d} [(1,5 - e)^2 + (1 - e)^2]$; μ — вязкость газа; M — $\frac{\text{количество ячеек}}{\text{ширина ячейки в сетке}}$; $N_{кр}$ — коэффициент сопротивления.

высотой 50 мм (включая опорные решетки) при скорости воздуха до 2,5 м/сек [90].

Кривые на рис. 54 характеризуют сопротивление насадок из различных колец Рашига при скоростях воздуха до 2,5 м/сек [155].

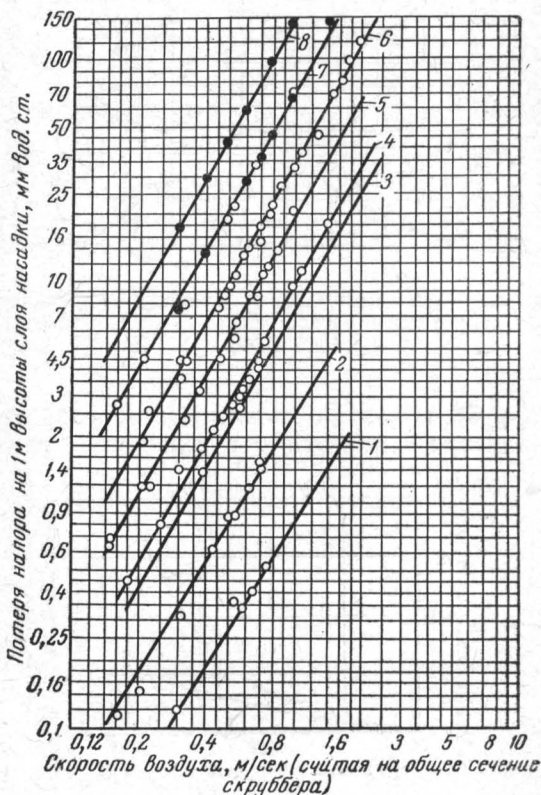


Рис. 54. Сопротивление сухих насадок из колец Рашига как функция скорости воздуха:

1 — керамические кольца Рашига размером 50×50×5 мм; 2 — керамические кольца Рашига размером 50×50×5 мм при шахматном расположении; 3 — железные кольца Рашига размером 50×50×5 мм при беспорядочном расположении; 4 — керамические кольца Рашига размером 50×50×5 мм при беспорядочном расположении; 5 — то же, при размере 35×35×4 мм; 6 — то же, при размере 35×35×3 мм; 7 — то же, при размере 15×15×2 мм; 8 — фарфоровые кольца Рашига размером 8×8×1,5 мм при беспорядочном их расположении.

○ — [155]; ● — [182].

На рис. 55 приведена номограмма для определения сопротивления огнепреградителей типа ВТР (см. рис. 21) с кольцевой гравийной насадкой [91].

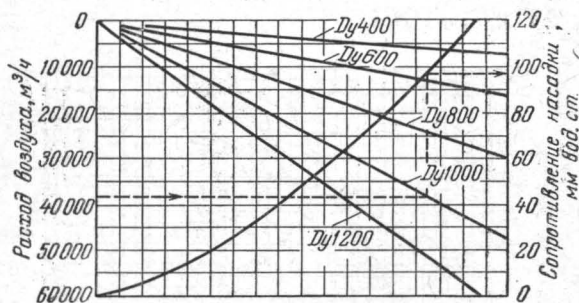


Рис. 55. Номограмма для определения гидравлического сопротивления слоя гравия в огнепреградителях ВТР.

На рис. 56 показана зависимость сопротивления огнепреградителя пламени рудничного газа при

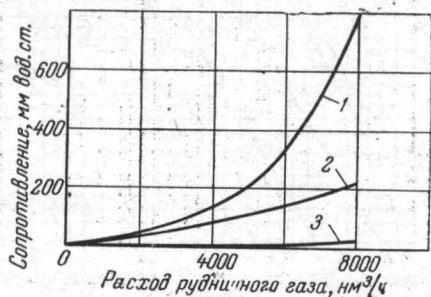


Рис. 56. Сопротивление огнепреградителя в исполнении А в факеле рудничного газа:

1 — насадка из гравия с размером зерен 6—10 мм и высотой 160 мм; 2 — насадка из стеклянных шариков диаметром 6 мм и высотой 90 мм; 3 — без насадки.

$D_y=400$ мм (см. рис. 9, исполнение А) от расхода рудничного газа.

В табл. 18 приведены данные о сопротивлении каскадных огнепреградителей.

Таблица 18

Сопротивление кассетных огнепреградителей

Условный диаметр огнепреградителя, мм	Количество про- пускаемого воздуха м ³ /ч	Сопротивление мм вод. ст.
100	100	11—17
150	215	9—11
200	280	7,5—14
350	—	10—13

На рис. 57 показана зависимость сопротивления плоских металлокерамических элементов, изготовленных из распыленных и восстановленных порошков нержавеющей

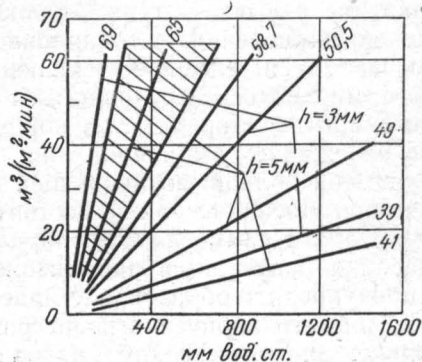


Рис. 57. Зависимость сопротивления плоских металлокерамических элементов от удельного расхода воздуха.

щей стали, от удельного расхода воздуха [116]; размеры частиц 0,15—0,25 мм, толщина плоских образцов 3 и 5 мм. Цифрами у прямых обозначена пористость материала (в %).

ГЛАВА VII

ИСПЫТАНИЯ СУХИХ ОГНЕПРЕГРАДИТЕЛЕЙ

Огнепреградители должны удовлетворять следующим основным требованиям. Они должны выдерживать максимальное давление взрыва, а также давление детонации в случае возникновения детонационного режима сгорания горючей смеси. Огнепреграждающий элемент не должен деформироваться и разрушаться при взрыве. Его необходимо прочно закреплять в корпусе огнепреградителя во избежание выбивания или разрушения уплотнителя ударной волной, возникающей при распространении пламени. Насадка должна состоять из частиц одинакового размера и примерно шарообразной формы. В качестве насадки допускается применение колец Рашига. Чтобы предупредить образование краевого эффекта, внутренний диаметр корпуса огнепреградителя должен быть больше диаметра гранул насадки не менее чем в 20 раз. Высота насадки должна превосходить диаметр пламегасящих каналов примерно в 60—70 раз; для пористых огнепреградителей (например, металлокерамических пластин, металлоткани) отношение высоты насадки к диаметру каналов должно составлять примерно 80—100.

Огнепреградитель должен обладать 100%-ным запасом надежности, что устанавливается по предельному рабочему давлению горючей смеси или величине пламегасящих каналов.

Сопротивление огнепреградителя при номинальном расходе газа должно быть незначительным и существенно не снижать рабочее давление газа.

Огнепреграждающие элементы (кассеты, пакеты, сетки, металлокерамические пластины и трубки и т. п.)

во избежание проскока пламени через зазор между ними и корпусом необходимо тщательно уплотнять.

При конструировании огнепреградителей необходимо предусматривать возможность внутреннего их осмотра и легкой замены огнепреграждающего элемента.

Изготовление и эксплуатация огнепреградителей без утвержденной технической документации не допускаются.

Несмотря на то что потребность в сухих огнепреградителях возрастает, серийно выпускают только касетные устройства типа ОП, которые не удовлетворяют разнообразный спрос. В связи с этим на предприятиях нередко применяют самодельные огнепреградители, не отвечающие указанным требованиям.

В настоящее время взрывозащищенное электрооборудование изготавливается только с разрешения Гипронисэлектрошахт и ВОСТНИИ, а водяные затворы — с разрешения ВНИИавтогенмаш. В соответствии с этим необходимо назначить компетентную организацию, с разрешения которой будут изготавливаться сухие огнепреградители.

Сухие огнепреградители (все опытные образцы и определенное количество из каждой партии при серийном выпуске) должны подвергаться испытаниям на прочность, на надежность уплотнения огнепреграждающего элемента, на герметичность, на сопротивление газовому потоку и на способность локализовать пламя (включая локализацию пламени при длительном горении факела на поверхности).

Гидравлические испытания на прочность производятся в соответствии с правилами Госгортехнадзора СССР [166].

Антидетонационные огнепреградители, устанавливаемые в трубопроводах и на арматуре резервуарных парков, допускается испытывать при обычных нагрузках устойчивой детонации [167, 168].

Пневматические испытания огнепреградителей на герметичность производятся под давлением, обычно не превышающем рабочее, с целью выявить неплотности в корпусе путем обмазки его мыльной водой.

Схема установки для испытания огнепреградителей на сопротивление газовому потоку приведена на рис. 58.

Испытуемый огнепреградитель присоединяется к источнику сжатого воздуха или азота через вентиль 1. Расход газа, проходящего через огнепреградитель 2, определяют с помощью измерительной шайбы 3. Сопротивление огнепреградителя измеряют водяным или ртутным дифференциальным манометром 4.

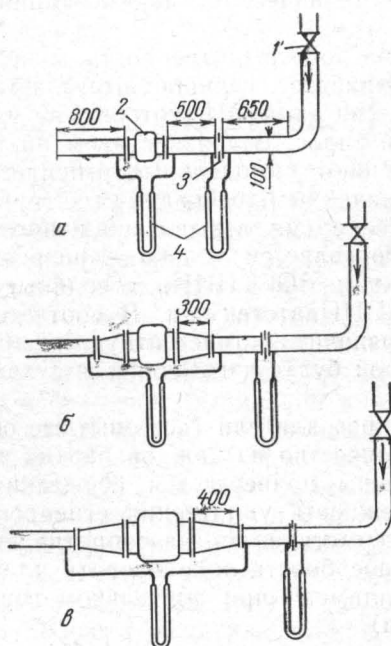


Рис. 58. Схема испытания огнепреградителей на сопротивление газовому потоку:
 $a-D_y=100$ мм; $б-D_y=150$ мм; $в-D_y=200$ мм.
 1 — вентиль; 2 — огнепреградитель; 3 — измерительная шайба;
 4 — манометр.

Наиболее важными являются испытания огнепреградителя на надежность локализации пламени горючей смеси; схема установки для таких испытаний приведена на рис. 59 [169].

На крышке взрывной камеры 1 имеется предохранительный клапан 2, а к противоположной крышке камеры присоединен испытуемый огнепреградитель 3.

К свободному фланцу огнепреградителя присоединяется труба 4 с перпендикулярным ответвлением 5. Конец трубы 4 закрыт бумажной мембраной 6. На боковой трубе 5 находится закрытая контрольная камера 7. Камеры 1 и 7 снабжены свечами 8 и 9 для поджигания горючей смеси, а также вентилями 10 и 11 для впуска горючей смеси и выпуска продуктов сгорания. Индикатор давления 12 отмечает возрастание давления при взрыве.

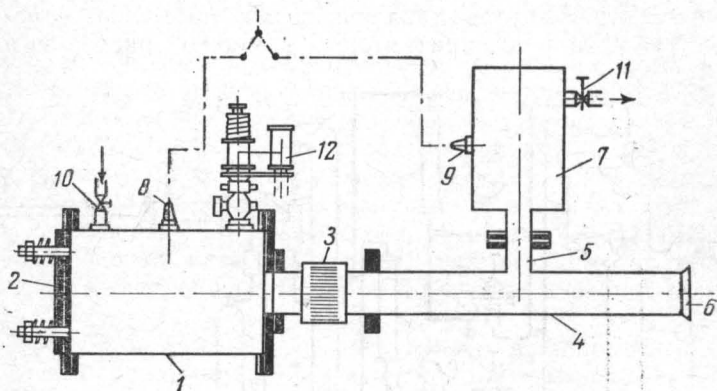


Рис. 59. Схема установки для испытания сухих огнепреградителей пламени смесей горючих газов и паров с воздухом:

1 — взрывная камера; 2 — предохранительный клапан; 3 — огнепреградитель; 4, 5 — трубы; 6 — бумажная мембрана; 7 — контрольная камера; 8, 9 — свечи; 10, 11 — вентили; 12 — индикатор давления.

Для создания запаса надежности применяют смесь, обладающую большей нормальной скоростью распространения пламени, чем рабочая. После заполнения установки горючей смесью оба крана закрывают и свечой 8 поджигают смесь в камере 1. Тотчас же с помощью свечи 9 поджигают газовую смесь в камере 7. Если при поджигании в контрольной камере 7 происходит взрыв, то из этого следует, что огнепреградитель задержал распространение пламени. Во время сгорания горючей смеси в камере 1 давление повышается незначительно, так как избыточное давление сбрасывается через клапан 2 в атмосферу. Мембрана 6 разрывается только в случае проскока пламени через огнепреградитель.

На описанной установке можно также испытывать огнепреградители при детонационном режиме сгорания.

В этом случае между камерой 1 и огнепреградителем 3 устанавливают трубу такой длины, чтобы обеспечить возникновение устойчивой детонационной волны.

Испытания огнепреградителей в потоке при детонационном режиме сгорания горючих газов в смеси с кислородом можно проводить на установке, изображенной на рис. 60. Горючий газ и кислород из баллонов 1 и 2 через редукторы 3 и 4, двойной газовый рубильник 5 и регуляторы давления газа 6 поступают в ротаметры 7, при помощи которых измеряют расход газов.

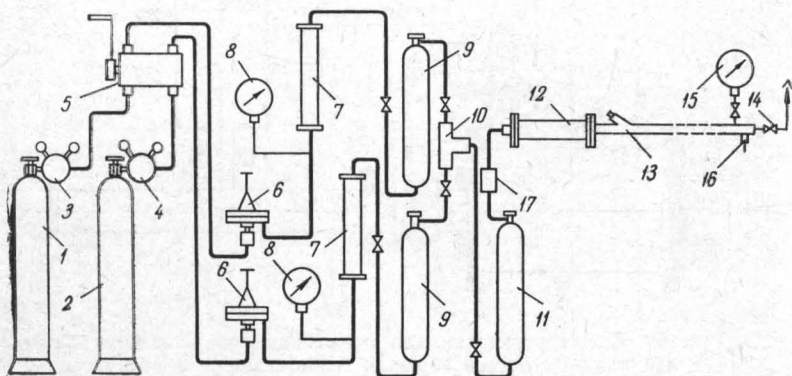


Рис. 60. Схема установки для испытания огнепреградителей на способность локализовать пламя горючего газа в смеси с кислородом: 1, 2 — баллоны; 3, 4 — редукторы; 5 — газовый рубильник; 6 — регуляторы давления; 7 — ротаметры; 8, 15 — манометры; 9, 11 — водяные предохранительные затворы; 10 — смешительная камера; 12 — огнепреградитель; 13 — детонационная труба; 14 — вентиль; 16 — свеча; 17 — осушитель.

Давление каждого газа определяют по манометру 8. После ротаметров горючий газ и кислород направляют через водяные предохранительные затворы 9 в смешительную камеру 10 и затем через водяной предохранительный затвор 11 в испытуемый огнепреградитель 12. Затворы 9 и 11 закрытого типа (типа ЗСС или другие) являются серийными; надежность их действия гарантируется заводом-поставщиком. После затвора 11 устанавливают осушитель 17.

После огнепреградителя 12 горючая смесь поступает в присоединяемую к нему детонационную трубу 13 с внутренним диаметром 25 мм и длиной 6 м и через вентиль 14 выбрасывается в атмосферу. Давление горючей

смеси в трубе 13 можно регулировать с помощью вентиля 14 по маномеру 15. Поджигание горючей смеси производится свечой 16 путем плавления тонкой нихромовой проволоки.

В случае проскока пламени через испытуемый огнепреградитель на затворе 11 разрывается мембрана.

Для соединения отдельных частей установки можно применять резинотканевые рукава типа Г с внутренним диаметром 9 мм (ГОСТ 8318—57) или рукава типа П диаметром 9,5 мм (ТУ МХП УТ 726—57), присоединенные к ниппелям (ГОСТ 1078—56). Установка должна быть испытана пневматически на плотность под абсолютным давлением 2,5 ат.

Детонационную трубу и присоединенную к ней арматуру испытывают гидравлически под давлением 60 ат. Предохранительные мембраны, установленные на затворах 9, должны разрушаться при абсолютном давлении 3—4 ат. Перед испытанием предохранительные затворы 9 и 11 следует залить водой до уровня контрольного крана.

Испытания проводят в следующем порядке:

- 1) укрепляют нихромовую проволоку в свече 16;
- 2) по ротаметру 7 с помощью регуляторов давления 6 устанавливают расход горючей смеси, который должен быть на 30% больше номинальной пропускной способности огнепреградителя. Состав горючей смеси должен соответствовать максимальной нормальной скорости распространения пламени;
- 3) с помощью запорного вентиля 14 устанавливают необходимое давление смеси в трубе 13;
- 4) продувают систему горючей смесью в течение 1—2 мин, затем с помощью вентиля 14 отключают манометр 15;
- 5) включают запальное устройство и через 2—3 сек выключают ток, при этом должен последовать взрыв, после которого прекращают подачу горючей смеси перекрытием газового рубильника 5;
- 6) если огнепреградитель испытывается не в потоке, поступление горючей смеси прекращается перед ее поджиганием путем перекрытия рубильника 5;
- 7) производят осмотр огнепреградителя после испытания, однако не ранее чем через 1 мин после выключения газового рубильника 5.

Огнепреградитель считается надежным, если первый образец каждой новой конструкции задерживает распространение пламени не менее 20 раз подряд. Предварительно (опытом) следует убедиться в том, что осушитель 17 не задерживает распространение пламени.

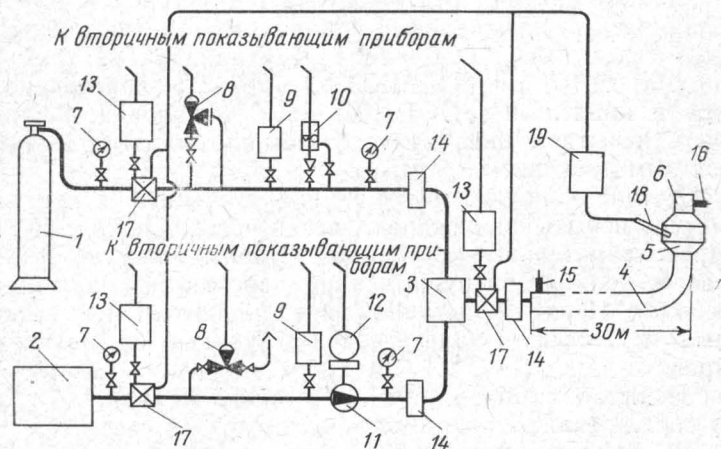


Рис. 61. Схема автоматизированной установки для испытания промышленных огнепреградителей на способность локализовать распространение пламени:

1 — баллон с горючим газом; 2 — воздушная подушка; 3 — смеситель; 4 — детонационная труба; 5 — испытуемый огнепреградитель; 6 — патрубок; 7 — манометры; 8 — регулирующие клапаны; 9 — датчики давления; 10 — ротаметр; 11 — камерная диафрагма; 12 — дифференциальный манометр; 13 — манометры; 14 — огнепреградители; 15, 16 — свечи; 17 — пневматические отсекатели; 18 — термомпара; 19 — милливольтметр.

Описанная установка позволяет испытывать огнепреградители в условиях длительного стационарного пламени на поверхности насадки, а также водяные предохранительные затворы.

На рис. 61 приведена принципиальная схема установки для испытания промышленных огнепреградителей большой пропускной способности с автоматическим контролем и дистанционным управлением.

Горючий газ из баллона 1 и воздух из воздушной подушки 2 по отдельным коммуникациям поступают в смеситель 3, где происходит их смешение и образование горючей смеси. Горючая смесь направляется в длинную

трубу 4, на конце которой расположен испытуемый огнепреградитель 5. Над ним крепится небольшой патрубок 6.

Для регулирования скорости и давления горючего газа и воздуха на трубопроводах установлены манометры 7, регулирующие клапаны 8 (УКС-64-15 и 25с50нж), пневматический датчик давления 9 (МПД-2320), пневматический ротаметр 10 (РПД), камерная диафрагма 11 (ДКН-10-50), пневматический дифманометр 12 (ДМ-ПК4), электроконтактные показывающие манометры 13 (ВЭ16рб). Каждый контрольный и измерительный прибор имеет на щите контроля и управления вторичный показывающий прибор: регулирующие клапаны и датчики давления — регулирующие блоки 4РБ-32А и вторичные приборы 2МП-30А, ротаметр и камерная диафрагма — вторичные приборы 1МП-30А.

Для защиты коммуникаций горючего и воздуха, измерительной и контрольной аппаратуры на этих коммуникациях перед смесителем и после него перед трубой 4 расположены три огнепреградителя 14, локализирующих пламя наиболее быстрогорящих воздушных смесей при атмосферном давлении. Анализ горючей смеси удобнее всего производить при помощи интерферометра.

Установка позволяет испытывать огнепреградители как в потоке горючей смеси, так и в отсутствие потока. Поджигание смеси производится с помощью свечей 15 и 16. Движение потока прекращается с пульта управления с помощью трех односедельных пневматических отсекающих 17, установленных на линиях горючего, воздуха и на общей линии после смесителя.

На установке можно испытывать огнепреградители и при детонационном режиме сгорания горючей смеси. В этом случае смесь поджигается свечой 15. Установка позволяет также испытывать огнепреградители при длительном стационарном горении пламени на их поверхности, а также огнепреградители с вмонтированными в них термопарами 18. При длительном горении смеси на поверхности огнепреграждающего элемента происходит разогрев огнепреградителя, а при достижении заданной температуры (например, 150—200 °С) замыкаются контакты «максимум» самопишущего милливольтметра 19, включается электромагнитное реле, которое замыкает цепи управления отсекающими 17; в результате последние перекрывают поток газа.

ГЛАВА VIII

ЖИДКОСТНЫЕ ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНЫЕ ЗАТВОРЫ

Жидкостные предохранительные затворы являются основными устройствами, предохраняющими ацетиленовые генераторы и трубопроводы для горючих газов от попадания взрывной волны и пламени при газопламенной обработке металлов, а также трубопроводы и аппараты, заполненные горючим газом, от проникновения кислорода и воздуха. В последние годы водяные предохранительные затворы нашли применение как надежные средства безопасности в химической промышленности.

Жидкостные предохранительные затворы должны отвечать следующим требованиям: а) устойчиво задерживать распространение взрывной волны при обратных ударах пламени, обеспечивая полное перекрытие газоподводящей трубы; б) исключать образование сплошных газовых потоков, по которым пламя при обратных ударах может проникнуть в газоподводящую сеть; в) препятствовать уносу жидкости (в виде капель или брызг) выходящим из затвора газом; г) обеспечивать минимальное гидравлическое сопротивление прохождению потока газа; д) предохранять ацетиленовые генераторы и трубопроводы горючего газа от проникновения в них кислорода и воздуха.

Корпус затвора необходимо рассчитывать на максимальное давление, которое может возникнуть при обратном ударе. При конструировании затвора следует предусматривать возможность внутреннего его осмотра, промывки и ремонта.

При проникновении в водяной затвор взрывной волны и пламени резко увеличивается давление [170].

Вследствие этого происходит ударное сжатие (схлопывание) находящихся в воде пузырьков горючей смеси, что может привести к образованию очагов воспламенения. В работах [171, 172] приведены экспериментальные данные о воспламенении в воде пузырьков ацетиленокислородной смеси. Продолжительность схлопывания может оказаться величиной одного порядка с временем, в течение которого происходит заметное изменение давления за ударной волной в жидкости, производящей сжатие.

Вследствие недостаточной изученности характера распространения пламени через цепь пузырьков [173], а также условий воспламенения при адиабатическом сжатии пузырьков горючей смеси в воде до настоящего времени еще не разработаны способы расчета водяных предохранительных затворов. Надежность задержания пламени этими затворами определяют опытным путем.

По принципу действия и давлению горючего газа различают предохранительные затворы открытого типа (низкого давления) и закрытого типа (среднего давления). По пропускной способности и назначению жидкостные ацетиленовые затворы разделяются на постовые с пропускной способностью до $3,2 \text{ м}^3/\text{ч}$ включительно и центральные или групповые с пропускной способностью свыше $3,2 \text{ м}^3/\text{ч}$, устанавливаемые на ацетиленовых станциях или трубопроводах.

В затворах открытого типа (низкого давления) поверхность жидкости, находящейся в предохранительной трубе, непосредственно соприкасается с атмосферой. Предельное давление в этих затворах, как правило, не превышает 1000 мм вод. ст. В отдельных случаях допускается применение стационарных затворов открытого типа при давлении ацетилена свыше 1000 мм вод. ст. Однако их обслуживание затруднено вследствие большой высоты. Затворы среднего давления, предназначенные для давлений $1000\text{—}7000 \text{ мм вод. ст.}$ ($0,7 \text{ ат}$ избыточных) или до $15\,000 \text{ мм вод. ст.}$ ($1,5 \text{ ат}$ избыточных), снабжаются обратным клапаном, установленным в жидкости. Расчетное рабочее избыточное давление для ацетиленовых затворов среднего давления не должно превышать $1,5 \text{ ат}$.

Затворы среднего давления для городских и природных газов рассчитываются на избыточное давление до 3 ат .

Постовые ацетиленовые предохранительные затворы должны соответствовать требованиям ГОСТ 8766—58 («Затворы предохранительные для ацетилена»), которым предусматривается выпуск ацетиленовых предохранительных постовых затворов с номинальной пропускной способностью 0,8; 1,25; 2,0 и 3,2 м³/ч.

ГОСТом регламентированы основные технические требования, предъявляемые к затворам [174]. В частности, они должны иметь устройство для контроля уровня жидкости; на газоподводящей трубе должно быть установлено запорное устройство для отключения затвора от трубопровода после окончания работы, при контроле уровня жидкости и в других случаях; во избежание образования взрывчатой ацетиленистой меди запрещается изготовление деталей и арматуры затворов для ацетилена из меди или сплавов с содержанием более 70% меди; затворы должны быть испытаны гидравлически на прочность и пневматически на плотность.

Гидравлические испытания затворов среднего давления необходимо производить в соответствии с Правилами Госгортехнадзора СССР [166]. Затворы низкого давления испытывать на прочность нецелесообразно, так как они являются аппаратами открытого типа, в которых при обратном ударе пламени не может возникнуть значительное давление, поскольку взрывная волна получает свободный выход в атмосферу через предохранительную трубу.

Затворы должны быть испытаны также на унос воды, сопротивление потоку газа, надежность задержания кислорода или воздуха (со стороны потребления) и обратного удара ацетилено-кислородного пламени.

Унос воды из затвора может происходить вследствие насыщения газа парами воды. Это наблюдается при подаче в затвор газа с небольшим содержанием влаги и мало зависит от конструкции затвора. Унос воды в виде капель и брызг вызывается неудовлетворительной конструкцией затворов или нарушением правил их эксплуатации. Попадание воды в шланги и сварочную аппаратуру приводит к перебоям в подаче газа и ухудшает тепловые и восстановительные свойства пламени.

Понижение уровня жидкости в затворе вследствие ее уноса может привести к нарушению основных защитных функций затвора. Так, в результате снижения уров-

ня жидкости увеличивается газовое пространство и возрастает сила взрыва, возникающая внутри затвора при обратном ударе пламени. Изменяется также гидродинамический режим работы затвора, что может привести к образованию в жидкости сплошного газового канала, по которому при обратном ударе пламя способно распространиться в защищаемую зону трубопровода или в ацетиленовый генератор. ГОСТом предусмотрено, что минимальный расход газа, при котором начинается унос жидкости в виде капель и брызг, должен быть по крайней мере на 35% больше номинальной пропускной способности затвора. Для обеспечения правильной работы газосварочной аппаратуры значительную роль играет сопротивление, оказываемое затвором газовому потоку. При повышенном сопротивлении затвора давление ацетилена может оказаться недостаточным для обеспечения нормальных режимов работы.

Предельно допустимые сопротивления затворов при заполнении их водой до установленного уровня приведены в табл. 19.

Таблица 19

Допустимые величины сопротивлений затворов

Номинальная пропускная способность затвора <i>м³/ч</i>	Предельно допустимое сопротивление <i>мм вод. ст.</i>	
	для затворов низкого давления	для затворов среднего давления
1,8	160	} 500
1,25	200	
2,0	250	
3,2	350	

ГОСТом предусмотрено обязательное согласование конструкций затворов с ведущей организацией — ВНИИавтогенмашем. На корпусе каждого затвора должна быть укрепленa пластинка со следующими данными: а) наименование организации, в систему которой входит предприятие-поставщик; б) наименование предприятия-поставщика, его местонахождение (город) или условный адрес; в) наименование и тип затвора; г) предельно допустимое давление (в *мм вод. ст.* для затворов

низкого давления и в кг/см^2 для затворов среднего давления); д) номинальная пропускная способность в $\text{м}^3/\text{ч}$; ж) год и месяц выпуска; з) ГОСТ 8766—58 (для ацетиленовых затворов на

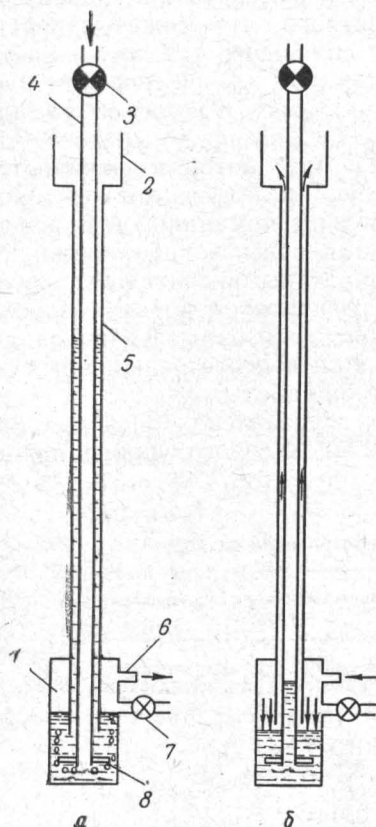


Рис. 62. Схема затвора открытого типа низкого давления:

а — при нормальной работе; б — при обратном ударе пламени.

1 — корпус; 2 — воронка; 3 — вентиль; 4 — газоподводящая трубка; 5 — предохранительная трубка; 6 — ниппель; 7 — контрольный кран; 8 — рассекатель.

ацетиленовых затворов на пропускную способность до $3,2 \text{ м}^3/\text{ч}$). Каждый поставляемый затвор должен сопровождаться документом, удостоверяющим его качество и техническую характеристику, а также инструкцией по эксплуатации.

На рис. 62 приведена схема затвора низкого давления (предельное давление до 1000 мм вод. ст.). Затвор состоит из корпуса 1, воронки 2 и газоподводящей трубки 4, помещенной внутри предохранительной трубки 5. Дно затвора с помощью болтов присоединяется к корпусу и уплотняется резиновой прокладкой. Ацетилен поступает в затвор по газоподводящей трубке 4.

В корпус затвора наливают воду до уровня контрольного крана 7. Когда газ поступает в затвор через вентиль 3, он выходит через отверстия в нижней части газоподводящей трубки 4, огибает рассекатель 8 и отдельными пузырьками проходит через воду в корпус

1, где при этом повышается давление. Газ выходит из затвора через ниппель 6. Так как предохранительная трубка 5 опущена ниже уровня воды, то при повышении

давления в корпусе 1 часть воды поднимется в зазор между трубками 4 и 5. Вследствие этого закрывается выход горючего газа в атмосферу и он направляется только через ниппель 6 на потребление. Если вследствие обратного поступления кислорода или обратного удара пламени давление газа в затворе будет выше обычного, то газ пойдет обратно через ниппель, оказывая давление на поверхность воды в корпусе 1. В результате вода будет вытесняться в трубку 4, перекрывая поступление газа в затвор из линии горючего газа, и в зазор между трубками 4 и 5. Уровень воды в корпусе понизится и, поскольку край трубки 5 расположен выше выходных отверстий газоподводящей трубки 4, произойдет выброс воды и газа в атмосферу через кольцевой зазор между трубками 4 и 5, а из воронки 2 вода стечет обратно в затвор (рис. 62,б).

На рис. 63 показана схема затвора среднего давления, представляющего собой корпус 1, к которому присоединена газоподводящая трубка 2 с вентилем 3. Затвор снабжен находящимся в воде обратным клапаном 4, который одновременно является рассекателем, разбивающим струю газа на отдельные пузырьки. В затвор наливают воду до уровня контрольного крана 5. При нормальной эксплуатации (рис. 63, а) газ, проходя через трубку 2, клапан 4 и слой воды, выходит на потребление через ниппель 6. При обратном поступлении кислорода или обратном ударе пламени газ идет, как показано на рис. 63, б, через ниппель 6 в затвор. При этом в затворе повышается давление, вследствие чего клапан 4 закрывается. Взрывная волна и пламя не могут проникнуть через слой воды и закрытый клапан.

На рис. 64 показана конструкция жидкостного затвора среднего давления для локализации ламинарного и детонационного пламени ацетилено-кислородных смесей под давлением до 2,5 ат и расходе газа до 3,2 м³/ч.

Действие затвора основано на ослаблении влияния детонационной волны в узком кольцевом зазоре между диском 1 и корпусом затвора [175, 176]. Зазор между диском-рассекателем и корпусом затвора составляет 1,5—2 мм. Обратный удар ацетилено-кислородного пламени имеет обычно детонационный характер и сопровождается большим увеличением давления. В затворе про-

исходит также отражение детонационной волны от диска-рассекателя, как от неподвижной преграды [177].

На рис. 65 показана конструкция жидкостного предохранительного затвора со змеевиком-замедлителем [122]. Горючий газ по газоподводящей трубке через водяной буфер 3 и шарико-лепестковый обратный клапан 2 поступает в правое колено затвора, а затем по змеевику 1 через левое колено затвора выходит на потребление. При обратном ударе пламя в правом колене не встречает цепи пузырьков в воде. Благодаря возникшему давлению и наличию сообщающихся сосудов вода в правом

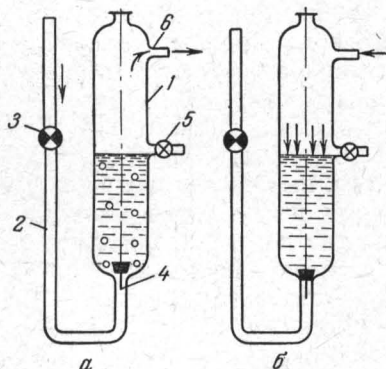


Рис. 63. Схема затвора закрытого типа среднего давления:

а — при нормальной работе; б — при обратном ударе; 1 — корпус; 2 — газоподводящая трубка; 3 — вентиль; 4 — обратный клапан; 5 — контрольный кран; 6 — ниппель.

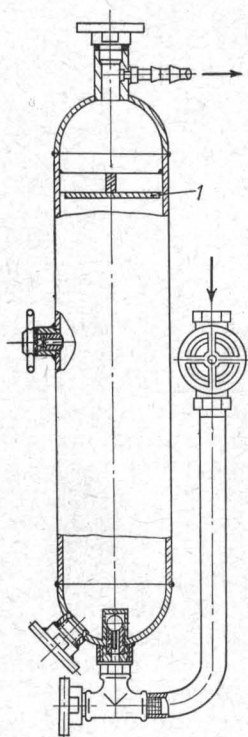


Рис. 64. Безмембранный затвор среднего давления:

1 — диск.

колене перекрывает обратный клапан раньше, чем по змеевиковой трубе в него проникает пламя. Если шарик обратного клапана легче воды, то эти затворы можно использовать для горючих газов и низкого давления [178].

Конструкция водяного предохранительного затвора большой пропускной способности показана на рис. 65.

Такие затворы устанавливают на ацетиленовых трубопроводах перед входом в цехи, потребляющие ацетилен для промышленных синтезов [179], вместо предохранительных башен с кольцами Рашига.

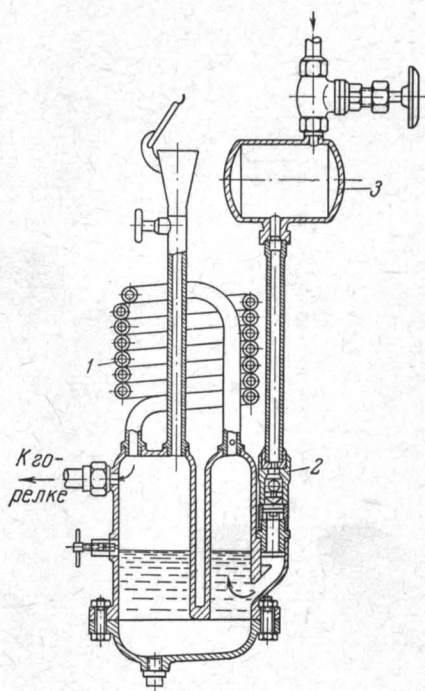


Рис. 65. Жидкостный предохранительный затвор со змеевиком-замедлителем:

1 — змеевик; 2 — обратный клапан; 3 — водяной буфер.

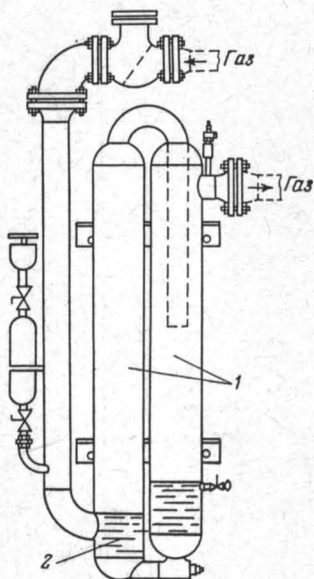


Рис. 66. Водяной предохранительный затвор большой пропускной способности:

1 — огнепреградитель; 2 — запирающий слой воды.

На рис. 67 показан безмембранный водяной затвор закрытого типа (ЗСД-10) с пропускной способностью $10 \text{ м}^3/\text{ч}$, предназначенный для локализации ацетиленокислородного пламени.

Недостаток затворов закрытого типа состоит в том, что обратный клапан после некоторого срока эксплуа-

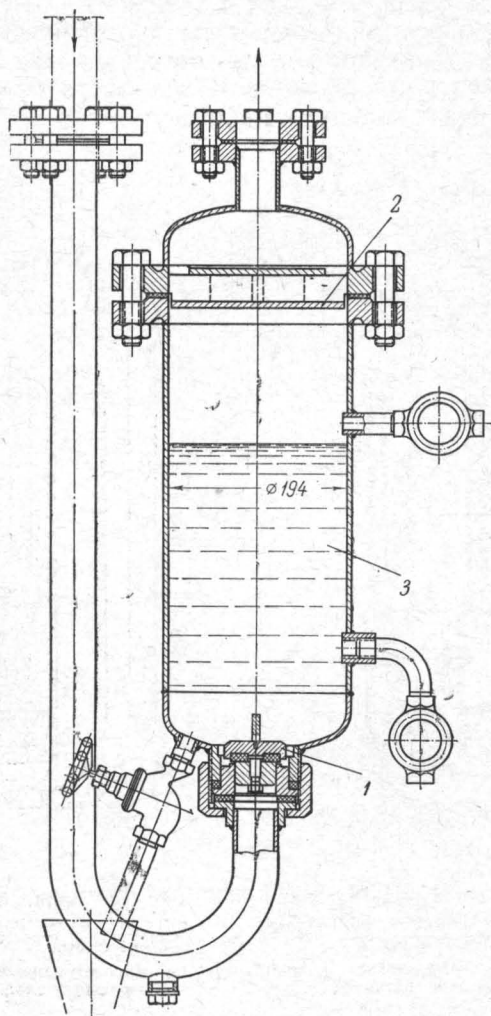


Рис. 67. Безмембранный водяной затвор закрытого типа:

1 — обратный клапан; 2 — отражательный диск; 3 — слой воды.

тации становится негерметичным и при обратном поступлении кислорода в трубопровод горячего газа вся вода из затвора вытесняется, давая место кислороду.

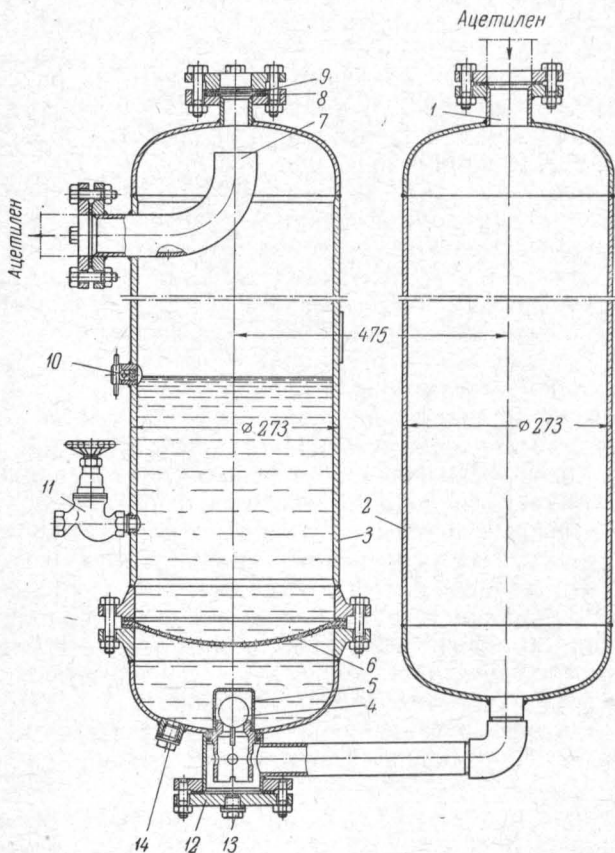


Рис. 68. Центральный водяной затвор закрытого типа:

1 — газоподводящая труба; 2, 3 — сосуды; 4 — обратный клапан; 5 — колпачок-рассекатель; 6 — решетчатый рассекатель; 7 — газотводящая труба; 8 — разрывная мембрана; 9 — резиновые прокладки; 10 — контрольный кран; 11 — вентиль для воды; 12 — фланцевая заглушка; 13, 14 — пробки для слива воды.

В некоторых конструкциях затворов среднего давления (ЗСД-35) предусматривается дополнительный сосуд, в который вытесняется вода (рис. 68). При возобновле-

нии нормальной работы вода вновь поступает в основной рабочий сосуд затвора. Однако установка дополнительного сосуда не исключает проникновения кислорода в трубопровод горючего газа. Поэтому обеспечение герметичности обратных клапанов затворов имеет важное значение.

Седло клапана необходимо изготавливать из цветного металла, а уплотняющая резина должна быть достаточно эластичной и сохранять упругие свойства при длительном пребывании в воде.

В связи с тем, что ни в нашей, ни в зарубежной практике до сих пор не удалось обеспечить надежное уплотнение в обратных клапанах водяных затворов закрытого типа при длительном сроке их эксплуатации, необходимо не реже одного раза в две недели проверять действие обратных клапанов водяных затворов среднего давления. Если после промывки и чистки клапана не достигается надежное уплотнение, следует заменить стальной гуммированный шарик, являющийся уплотнителем, и вновь проверить надежность действия клапанов.

Так как в промышленности используется единая базовая конструкция водяного затвора, необходимо организовать выпуск и обеспечить возможность приобретения стальных гуммированных шариков, являющихся важнейшей запасной частью постовых и центральных водяных затворов. Наряду с этим следует продолжить работу по изысканию надежных уплотняющих материалов. Систематически следует также проверять исправность остальных узлов водяных затворов. В частности, нельзя допускать засорения газораспределительных решеток в затворах большой пропускной способности (см. рис. 68).

Ряд конструкций водяных предохранительных затворов снабжен предохранительными разрывными мембранами. Однако при механическом повреждении такой мембраны происходит утечка горючего газа в рабочее помещение и перерыв в газоснабжении до установки новой мембраны. При обратном ударе пламени и разрыве мембраны пламя проникает в помещение, в котором при неблагоприятных условиях может возникнуть взрывоопасная концентрация горючего газа.

В связи с этими недостатками предпочтительнее применять безмембранные предохранительные затворы.

ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНЫЕ ЗАТВОРЫ ДЛЯ ПРИРОДНЫХ, ГОРОДСКИХ И КОКСОВЫХ ГАЗОВ

Использование природных, городских и коксовых газов в смеси с кислородом для газопламенной обработки металлов менее опасно, чем применение для этой цели ацетилена. Это объясняется меньшей взрывоопасностью и более узкими пределами взрываемости природных и городских газов в смеси с воздухом и кислородом по сравнению с ацетиленом. Однако следует иметь в виду, что при смешении в горелках природного, городских и коксовых газов с кислородом, сжатым до нескольких атмосфер, возможно перетекание кислорода в трубопровод горючего газа и образование взрывчатой смеси, которая воспламеняется при обратном ударе пламени.

Во избежание этого при отборе из трубопроводов горючих газов для газопламенной обработки металлов на рабочих постах необходимо устанавливать предохранительные устройства, надежно защищающие газовую сеть от проникновения в нее кислорода и воздуха. Правилами техники безопасности и производственной санитарии при производстве ацетилена, кислорода и газопламенной обработке металлов предусматривается обязательная установка водяных затворов закрытого типа или обратных клапанов, рассчитанных на требуемый расход и давление газа. При использовании горючих газов в качестве заменителей ацетилена можно применять постовые ацетиленовые затворы закрытого типа.

ИСПЫТАНИЯ И ПРИЕМКА ЗАТВОРОВ

Согласно ГОСТ 8766—58 испытания и приемку затворов должны производить по инструкции, утвержденной ВНИИавтогенмашем.

Завод-изготовитель гарантирует полное соответствие затворов требованиям ГОСТ 8766—58, а также чертежам и техническим условиям на их изготовление и испытание. Затворы среднего давления должны быть испытаны гидравлически на прочность под пробным давлением, указанным ниже:

Наибольшее рабочее избыточное давление в затворе, ат	0,7	1,5
Пробное гидравлическое давление, ат	22	32

Гидравлические испытания продолжаются 5 мин, после чего давление постепенно снижается до наибольшего рабочего давления, при котором производится осмотр. Затворы считаются выдержавшими гидравлическое испытание, если не происходит разрывов, видимых деформаций, течи, слезок и потения в корпусе затвора.

Пробное гидравлическое давление, под которым испытывают водяные предохранительные затворы для ацетилено-кислородных смесей, следует повысить, так как при детонации этих смесей возникают давления, превышающие указанные.

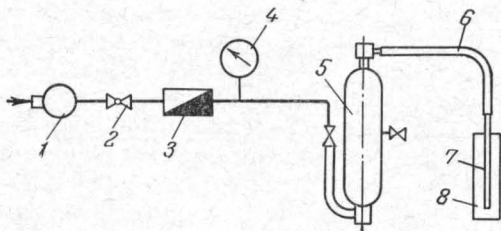


Рис. 69. Схема установки испытания затвора на унос воды:

1 — регулятор давления; 2 — вентиль; 3 — расходомер; 4 — манометр; 5 — затвор; 6 — резиновый шланг; 7 — стеклянная трубка; 8 — стеклянный цилиндр.

Ацетиленовые водяные затворы, предназначенные для локализации детонации и рассчитанные на рабочее давление не выше 2,5 ат, целесообразно подвергать гидравлическому испытанию [98, 180] под давлением 60 ат.

Все затворы (низкого и среднего давления) должны подвергаться пневматическим испытаниям на плотность сжатым воздухом или азотом. При этом затворы низкого давления следует залить водой до контрольного уровня, а затворы среднего давления должны быть полностью погружены в воду. Для обнаружения утечки газа разъемные соединения и сварные швы затворов низкого давления смачивают мыльным раствором.

Первый образец новой конструкции затвора проверяют на унос воды по схеме, приведенной на рис. 69. Затвор 5, в который залита вода до уровня контрольно-

го крана, присоединяют к источнику сжатого воздуха или азота через регулятор давления или редуктор 1. Через расходомер 3 в затвор поступает поток газа, давление которого определяется по манометру 4, установленному за расходомером. Расход газа регулируется вентилем (краном) 2, установленным перед расходомером. Запорный вентиль на газоподводящей трубке затвора должен быть полностью открыт. К выходному штуцеру или ниппелю затвора присоединяют резиновый шланг 6, который заканчивается стеклянной трубкой 7 длиной 120—150 мм и внутренним диаметром 7—9 мм. Стеклянная трубка должна быть погружена в стеклянный цилиндр диаметром 30—40 мм таким образом, чтобы конец ее находился на 15—20 мм выше дна цилиндра. Положение шланга должно обеспечивать свободный сток жидкости из выходного штуцера затвора в стеклянный цилиндр 8.

Расход воздуха плавно и без толчков устанавливают в соответствии с номинальной пропускной способностью затвора. Затем увеличивают расход на $0,1 \text{ м}^3/\text{ч}$. Проверка уноса воды при каждом расходе воздуха продолжается не менее 2 мин. Уносимые из затвора капли и брызги воды скапливаются в нижней части стеклянного цилиндра. Минимальный расход воздуха (приведенный к 20°C и 760 мм рт. ст.), при котором происходит унос воды из затвора, должен быть по крайней мере на 35% больше номинальной пропускной способности затвора.

Первый образец каждой новой конструкции затвора должен быть испытан также на сопротивление потоку газа при расходе, равном номинальной пропускной способности (аналогично испытаниям сухих огнепреградителей, см. стр. 110).

Сопротивление затвора газовому потоку, т. е. потери давления в затворах низкого давления, определяется при давлении газа, равном наибольшему рабочему давлению. Сопротивление затворов среднего давления определяется при $0,35 \text{ ат}$ (избыточных).

Все выпускаемые затворы среднего давления и 1% от партии затворов низкого давления должны быть испытаны на надежность действия при поступлении в затвор газа со стороны потребления следующим образом.

Испытуемый затвор заливают водой до контрольного уровня. Выходной патрубок затвора подключают через регулятор давления к источнику сжатого воздуха или азота. Затвор сообщается через газопроводящую трубку с атмосферой. Давление газа измеряется манометром. Запорное устройство на газоподводящей трубке затвора должно быть полностью открыто.

При проведении испытаний давление повышают ступенями: сначала до 0,01 ат, затем до давления, составляющего 50 и 120% от наибольшего рабочего давления. В случае испытания затворов низкого давления последняя ступень давления должна быть равна наибольшему рабочему давлению.

После повышения давления на очередную ступень визуально через 1 мин проверяется отсутствие утечки газа или жидкости через входной патрубок.

Отсутствие пропусков газа проверяется также путем погружения в воду на глубину 5—10 мм шланга, присоединенного к газоподводящей трубке испытуемого затвора.

Затвор считается выдержавшим испытание, если отсутствует утечка газа или жидкости через входной патрубок. Если один затвор низкого давления из отобранной для испытания партии не выдерживает этого испытания, проверяется вся выпускаемая партия.

В соответствии с требованиями ГОСТ 8766—58 10% выпускаемых в серии затворов и первые образцы новых конструкций затворов должны быть испытаны на локализацию обратного удара кислородно-ацетиленового пламени.

Испытания проводятся аналогично испытаниям сухих огнепреградителей на установке, приведенной на рис. 56. Испытания водяных затворов в виду их конструктивных особенностей (наличия столба жидкости) должны проводиться только в потоке.

Серийно выпускаемые затворы должны задерживать распространение ацетилено-кислородного пламени не менее 5 раз подряд. Первый образец новой конструкции затвора должен задерживать распространение пламени не менее 20 раз подряд.

Если один затвор из отобранной для испытания партии не выдерживает испытаний, проверяется вся выпускаемая партия.

ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНЫХ ВОДЯНЫХ ЗАТВОРОВ

Нормальная и безопасная работа водяных затворов достигается соблюдением ряда условий.

К эксплуатации нельзя допускать случайные непроверенные конструкции затворов. Последние могут изготавливаться только по чертежам и техническим условиям, согласованным со Всесоюзным научно-исследовательским институтом автогенного машиностроения (ВНИИАвтогенмаш), и должны быть испытаны по разработанной этим институтом методике; результаты испытаний, качество изготовления и соответствие всех размеров затвора чертежам обязан удостоверить ОТК завода-изготовителя. Затворы необходимо укреплять в строго вертикальном положении. На входе газа следует обязательно устанавливать запорный вентиль, который перекрывают, если подачу газа прекращают на длительное время. Заполнение затвора водой и проверку уровня воды в нем следует проводить только при закрытом вентиле на линии подачи газа. Уровень заполнения затвора водой проверяется при помощи контрольного крана не реже двух раз в смену при нормальной работе и после каждого обратного удара. В случае понижения уровня в затвор добавляют воду, но не выше отверстия контрольного крана. Не реже одного раза в неделю следует проверять при помощи мыльной воды плотность всех соединений в затворе (резьбы, прокладки и др.). Два раза в месяц производят очистку от ила и промывку обратного клапана затвора среднего давления (один раз с полной разборкой и чисткой, а также проверкой герметичности и уплотнения клапана и всего затвора). Седло клапана перед сборкой смазывают тавотом.

При подаче газа из трубопровода под избыточным давлением свыше 0,1 ат необходимо использовать затворы закрытого типа.

В холодное время года (при работе на открытом воздухе или в неотапливаемых помещениях) после прекращения работы и перекрытия запорных вентилей на газоподводящих трубопроводах из затворов следует слить воду во избежание ее замерзания. При температу-

ре ниже 0°C рекомендуется заменять воду негорючим раствором с низкой температурой замерзания.

При эксплуатации затворов среднего давления мембранного типа необходимо иметь запас готовых мембран из фольги, прошедшей установленные испытания.

Номинальная пропускная способность затвора должна соответствовать наибольшему возможному отбору газа.

При отсутствии на затворе паспортной пластинки его следует проверить на соответствие техническим требованиям.

ОБСЛУЖИВАНИЕ ВОДЯНЫХ ЗАТВОРОВ В ХОЛОДНОЕ ВРЕМЯ ГОДА

При эксплуатации водяных затворов на открытом воздухе или в неотапливаемых помещениях, когда отсутствуют источники внешнего тепла, необходимо применять растворы с низкой температурой замерзания.

Морозоустойчивые растворы должны быть химически устойчивы и негорючи; иметь низкую температуру замерзания; оказывать только несколько большее по сравнению с чистой водой сопротивление газовому потоку; надежно задерживать распространение в затворе обратного удара пламени; иметь малую летучесть и не образовывать высокого слоя пены; не оказывать значительного коррозионного действия на детали затвора. Для определения надежности действия затворов с морозоустойчивыми растворами и характера вспенивания были испытаны типовые затворы среднего (ВЗСД-3) и низкого давления (ВЗНД-3) с пропускной способностью $3,2 \text{ м}^3/\text{ч}$ каждый. В затворы были введены следующие растворы:

1) 67%-ный (по объему) раствор этиленгликоля с температурой замерзания минус 75°C и плотностью $1,086 \text{ г/см}^3$ при 20°C ;

2) 35%-ный (по объему) раствор глицерина с температурой замерзания примерно минус 39°C и плотностью $1,18 \text{ г/см}^3$ при 20°C ;

3) 30%-ный (по весу) раствор хлористого кальция с температурой замерзания минус 55°C и плотностью $1,286 \text{ г/см}^3$ при 15°C ;

4) 22%-ный (по весу) раствор хлористого натрия с температурой замерзания минус 21,2° и плотностью 1,17 г/см³ при 15 °С.

Данные о температуре замерзания испытанных растворов в зависимости от содержания в них основного вещества приведены в табл. 20—23. Для восстановления морозоустойчивости раствора основное вещество прибавляется в количестве, указанном в табл. 20—23 [181].

Таблица 20

Температура замерзания водных растворов этиленгликоля

Плотность г/см ³	Содержание воды в растворе (по объему) %	Температура замерзания °С	Объем этиленгликоля, прибавляемого к 1 л разбавленного раствора см ³
1,115	0	—12	—
1,112	2	—17	—
1,110	5	—23	—
1,106	10	—30	—
1,091	28	—58	—
1,086	33	—75	—
1,079	40	—55	200
1,068	50	—34	520
1,043	70	—13	1120

Таблица 21

Температура замерзания водных растворов глицерина

Плотность г/см ³	Содержание воды в растворе (по объему) %	Температура замерзания °С	Объем глицерина, прибавляемого к 1 л разбавленного раствора, см ³
1,21	24,0	—20,3	—
1,18	35,1	—38,9	—
1,15	45,6	—34,7	300
1,13	55,7	—23,0	600
1,10	65,4	—15,4	860
1,07	74,6	— 9,5	1020
1,05	83,4	— 5,0	1380
1,02	91,9	— 1,6	1620

Характер пенообразования и высоту слоя пены определяли [181] визуально в затворах с прозрачными окнами при температурах 15—17 °С и минус 20—25 °С.

Таблица 22

Температура замерзания водных растворов
хлористого натрия

Плотность при 15 °С г/см ³	Содержание NaCl в раство- ре (по весу) %	Температура замерзания °С	Количество NaCl, которое нужно прибавить к 1 л разбавленного раствора, г
1,01	1,5	— 0,8	—
1,03	4,3	— 2,7	—
1,05	7,0	— 4,6	—
1,07	9,6	— 6,5	—
1,09	12,3	— 9,1	130
1,11	14,9	—11,8	100
1,13	17,5	—14,6	65
1,15	20,0	—17,8	30
1,17	22,4	—21,2	—
1,19	24,9	—11,1	—
1,20	26,1	— 2,7	—
1,203	26,3	0	—

Таблица 23

Температура замерзания водных растворов
хлористого кальция

Плотность при 15 °С г/см ³	Содержание CaCl ₂ в рас- творе (по весу) %	Температура замерзания °С	Количество CaCl ₂ , которое нужно приба- вить к 1 л раз- бавленного раствора, г
1,12	13,7	— 9,1	—
1,16	17,8	—14,2	170
1,18	19,9	—17,4	140
1,20	21,9	—21,2	120
1,22	23,8	—25,7	85
1,24	25,7	—31,2	60
1,26	27,5	—38,6	35
1,28	29,4	—50,1	10
1,286	29,9	—55,0	—
1,29	30,3	—50,6	—
1,31	32,1	—33,9	—
1,33	33,9	—21,2	—
1,35	35,6	—10,2	—
1,36	36,4	— 5,1	—
1,37	37,3	0	—

При снижении температуры раствора происходило лишь небольшое увеличение слоя пены. Наибольшее вспенивание наблюдалось в растворе хлористого каль-

ция, в несколько меньшей степени — в растворе хлористого натрия. Над растворами этиленгликоля и глицерина возникает лишь незначительный слой пены. В слое жидкости заметного вспенивания не отмечено.

Слой пены в затворе ВЗНД-3, заполненном морозоустойчивыми растворами, был ниже, чем в затворе ВЗСД-3 с этими растворами. Это объясняется тем, что затвор ВЗНД-3 имеет шайбу-рассекатель, распределяющую газ по периферии, а в затворе ВЗСД-3 рассекатель отсутствует и газ, выходящий из-под клапана, вызывает сильное бурление жидкости, благодаря чему слой пены увеличивается.

При испытании затворов ВЗСД-3 и ВЗНД-3, заполненных морозоустойчивыми растворами, случаев выноса пены при расходе газа до $3,5 \text{ м}^3/\text{ч}$ не наблюдалось. При снижении температуры до минус $20\text{—}25^\circ\text{C}$ сопротивление возрастает всего на $20\text{—}25 \text{ мм вод. ст.}$ Из этого следует, что применение морозоустойчивых растворов не влечет за собой значительного повышения сопротивления газовому потоку.

Испытания затворов ВЗСД-3 и ВЗНД-3 на способность задерживать пламя обратного удара ацетиленокислородной смеси проводили по обычной методике (см. стр. 112). В затворы заливали водные растворы глицерина, этиленгликоля, хлористого кальция или хлористого натрия. Затворы ВЗСД-3 и ВЗНД-3, заполненные каждым из этих растворов, задержали подряд 20 обратных ударов, не произошло также ни одного случая воспламенения растворов этиленгликоля и глицерина.

Морозоустойчивые растворы применяют для заполнения как постовых затворов, так и затворов, устанавливаемых на переносных генераторах. Резина остается устойчивой в глицерине, а этиленгликоль влияет на резину незначительно. Поэтому применение этих растворов в затворах с резиновым обратным клапаном вполне допустимо.

Для приготовления морозоустойчивых растворов используют: этиленгликоль концентрированный (95%-ный) (ГОСТ 6367—52); глицерин сырой (ГОСТ 6823—54); глицерин дистиллированный (ГОСТ 6824—54); поваренную (хлористый натрий), пищевую и техническую соль (ГОСТ 153—57); кальций хлористый плавленный или обезвоженный (ГОСТ 450—58).

Водные растворы этиленгликоля и глицерина готовят смешением двух объемов каждой жидкости с одним объемом воды. Для приготовления растворов хлористого натрия или хлористого кальция растворяют в 1 л воды соответственно 300 и 400 г этих материалов. В случае разбавления раствора к нему добавляют основное вещество до необходимой концентрации (см. табл. 23—26). Плотность раствора, залитого в затвор, проверяют по ареометру не реже одного раза в месяц.

Для защиты затворов от коррозии (в случае применения растворов хлористого натрия или хлористого кальция) при подготовке к зиме внутренние их стенки необходимо окрашивать асфальтовым лаком № 67 способом налива при 20 °С.

Следует иметь в виду, что этиленгликоль ядовит; обладая малой летучестью, он не может поступить в организм через дыхательные пути, но при попадании в желудок вызывает тяжелые отравления. Поэтому по окончании работы с ним необходимо хорошо вымыть руки водой с мылом. Тара, в которой хранится этиленгликоль, должна иметь надпись: «Пить нельзя—смертельно!».

После заполнения затвора растворами хлористого натрия или хлористого кальция также следует вымыть руки.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО УСТРОЙСТВУ И ПРИМЕНЕНИЮ ОГНЕПРЕГРАДИТЕЛЕЙ

При разработке новых и улучшении существующих конструкций огнепреградителей, а также при их эксплуатации необходимо руководствоваться следующими соображениями.

1. Для того чтобы избежать возникновения значительного сопротивления газовому потоку, площадь поперечного сечения огнепреградителя должна быть больше площади поперечного сечения защищаемого трубопровода в 2—3 раза. При таком соотношении предотвращается большой подпор при возникновении пламени, если за огнепреградителем имеется емкость или труба длиной несколько метров.

2. Огнепреградители должны быть рассчитаны на нагрузки, возникающие при локализации пламени. В случае их установки на линиях выброса газа расчет производится на давление 6—10 ат, но при условии, если над ними расположены участки трубы длиной 0,3—0,5 м.

Коммуникационные огнепреградители и водяные затворы, рассчитанные на 2,5 ат, следует подвергать гидравлическим испытаниям под давлением 60 ат.

Огнепреградительные башни, загруженные кольцами Рашига и предназначенные для локализации пламени распада ацетилена, рассчитывают на 25 ат.

3. В корпусе огнепреградителя целесообразно размещать термоэлемент для сигнализации о возникновении стационарного пламени. Термоэлемент может являться датчиком устройства, перекрывающего поступление горючей смеси или горючего газа в огнепреградитель.

4. В отдельных случаях в конструкции огнепреградителя рекомендуется предусматривать плавкий предохранитель, который при возникновении стационарного пламени расплавляется, давая выход азоту, двуокиси углерода или водяному пару для тушения пламени. Такое устройство можно применить, в частности, в огнепреградителях для рудничного газа. Одним из возможных решений является подводка азота по трубопроводу под огнепреградитель и подача его открыванием вентили при возникновении пламени над огнепреградителем.

5. Следует учитывать, что при возникновении стационарного пламени происходит разогрев огнепреграждающего элемента и создаются условия для проскока пламени. Возможно также возникновение пламени за огнепреградителем при контакте горючей смеси с разогретым огнепреграждающим элементом. Для предотвращения этой опасности огнепреградители необходимо испытывать в течение 2 ч на надежность действия (отсутствие проскока пламени) при горении смеси на поверхности огнепреграждающего элемента. При этом огнепреградитель не должен деформироваться, а также не должна нарушаться его герметичность.

6. Коммуникационные огнепреградители или огнепреградители, устанавливаемые на линиях выброса газа, при расположении над ними труб длиной 1—2 м или более должны быть снабжены антидетонационными устройствами.

7. Если давление выбрасываемого в атмосферу газа не может преодолеть сопротивление огнепреградителя, горючий нетоксичный газ допускается выбрасывать в атмосферу после предварительного разбавления азотом, причем так, чтобы любые смеси горючий газ—азот—воздух были негорючими. Если азот для безопасного разбавления подается непрерывно, то по согласованию с органами надзора огнепреградитель можно не устанавливать. Выброс горючего газа в смеси с азотом в атмосферу допускается лишь в том случае, если вблизи отсутствуют кислородные установки или другое оборудование, эксплуатация которого может нарушиться.

8. В самый короткий срок необходимо организовать серийное производство насадочных огнепреградителей различной пропускной способности с насадками из стек-

лянных или фарфоровых шариков диаметром 1, 5 и 6 мм (включая выпуск огнепреградителей с антидетонационными устройствами).

9. В цехах, где ацетилен получают из карбида кальция, на линиях низкого и среднего давления должны быть установлены огнепреградители, которые в настоящее время, как правило, не применяются. Огнепреградители необходимо установить также на линиях высокого давления в производстве растворенного ацетилена, где опасность взрыва особенно велика.

10. При конструировании огнепреградителей необходимо иметь в виду, что диаметр пламегасящих каналов должен быть не менее чем в 2 раза меньше критического диаметра гашения пламени горючей смеси, т. е. запас надежности огнепреградителя должен быть по крайней мере двукратным.

Выпускаемые в настоящее время кассетные огнепреградители типа ОП имеют недостаточный запас надежности ($\approx 1,2$ вместо 2); размеры пламегасящих каналов в этих огнепреградителях следует уменьшить с 1,25—1,50 до 0,7 мм.

11. При изготовлении кассетных огнепреградителей недостаточно прочные и коррозионно неустойчивые алюминиевые ленты должны быть заменены лентами из нержавеющей стали.

В каждый огнепреградитель можно устанавливать две-три кассеты из стальных лент высотой 10 мм каждая с наклонными каналами вместо алюминиевой кассеты высотой 80 мм.

12. Все новые конструкции огнепреградителей должны испытываться на прочность, сопротивление, герметичность и надежность локализации пламени. Если огнепреградитель используется в качестве коммуникационного, его испытывают на задержание пламени в условиях, близких к производственным.

13. Сетчатые огнепреградители, не обладающие достаточной механической прочностью, могут найти лишь ограниченное применение.

14. Насадочные и кассетные огнепреградители могут быть использованы для большинства горючих газов и паров, образующих с воздухом горючие смеси с нормальными скоростями распространения пламени до 45 см/сек.

Высота гофра в кассетных огнепреградителях должна быть не более 0,7 мм, а диаметр стеклянных или фарфоровых шариков в насадочных 5—6 мм. В насадочных огнепреградителях гравий следует заменить стеклянными или фарфоровыми шариками.

15. Все сухие огнепреградители должны подвергаться осмотру и проверке не реже одного раза в 6 месяцев, а также после каждого случая возникновения пламени. При засорениях огнепреграждающий элемент (кассета, металлокерамика) следует очистить, промыть и высушить. Из насадочных огнепреградителей извлекают для этого стеклянные или фарфоровые шарики, гравий, корунд и др. Пришедшие в негодность огнепреграждающие элементы или насадку заменяют новыми.

Разборку, очистку и последующую сборку огнепреградителей должны производить специально назначенные администрацией предприятия квалифицированные работники.

16. Единственным надежным средством для локализации ацетилено-кислородного пламени при газопламенной обработке металлов и других материалов в настоящее время являются водяные предохранительные затворы. Желательно разработать надежные в эксплуатации сухие огнепреградители, могущие в полной мере заменить водяные затворы и требующие меньшего обслуживания.

17. В связи с использованием в промышленности единой базовой конструкции водяного предохранительного затвора закрытого типа необходимо организовать выпуск в необходимых количествах стальных гуммированных шариков, являющихся важнейшей запасной частью водяных затворов.

18. Представляется необходимым разработать ГОСТ на сухие огнепреградители и назначить компетентные организации, с которыми должны согласовываться конструкции сухих огнепреградителей.

19. Кроме серийно выпускаемых водяных предохранительных затворов с пропускной способностью 3,2 $\text{м}^3/\text{ч}$, необходимо организовать выпуск водяных предохранительных затворов с пропускной способностью 5, 10, 20, 40, 80, 160 и 320 $\text{м}^3/\text{ч}$.

20. Порядок установки огнепреградителей должен быть предусмотрен в следующих правилах: «Правила

технической эксплуатации резервуаров», «Правила техники безопасности и промышленной санитарии при эксплуатации нефтебаз», «Правила безопасности при эксплуатации нефтеперерабатывающих заводов», «Временные правила техники безопасности и промышленной санитарии для взрыво- и огнеопасных химических производств».

Основными задачами в области огнепреграждения являются следующие:

- 1) расширение теоретических и экспериментальных исследований;

- 2) организация серийного производства новых и модернизированных конструкций огнепреградителей для различных отраслей промышленности на уровне лучших зарубежных образцов;

- 3) разработка огнепреградителей большой пропускной способности для свечей сжигания горючих газов и огнепреградителей с орошаемыми насадками.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зельдович Я. Б., Компанеец А. С., Теория детонации, Гостехтеоретиздат, 1955.
2. Шелкин К. И., Трошин Я. К., Газодинамика горения, Изд. АН СССР, 1963.
3. Солоухин Р. И., Ударные волны и детонация в газах, Физматгиз, 1963.
4. Власов О. Е., Основы теории действия взрыва, Военно-инженерная академия им. Куйбышева, 1957.
5. Coward H. F., Jones G. W., Limits of Flammability of Gases and Vapors, United States Government Printing Office, Washington, 1952.
6. Jacobs R. B., Разрушительный характер детонации, Petrol. Refiner, № 12, 179 (1959).
7. Ginsburg J., Bulkley W. L., Детонация смесей углеводородных газов с воздухом в производственных условиях, Chem. Eng. Progr., 59, № 2, 82 (1963).
8. Когарко С. М., Исследование давления в торце трубы при стационарном быстром горении, ЖТФ, 28, № 9, 2041 (1958).
9. Когарко С. М., Лямин А. Г., Михайлов В. А., О самопроизвольном переходе при низких давлениях горения в детонацию в чистом ацетилене, ДАН СССР, 162, № 4, 857 (1965).
10. Randall P. N., Bland J., Dydley W. M., Jacobs R. B., Влияние газовой детонации на сосуды и трубопроводы, Chem. Eng. Progr., 53, № 12, 574 (1957).
11. Зельдович Я. Б., Теория предела распространения тлеющего пламени, ЖЭТФ, 11, № 1, 159 (1941).
12. Когарко С. М., Лямин А. Г., Михайлов В. А., Исследование эффективности работы скрубберов с насадкой в качестве огнепреградителей на ацетиленопроводах, Хим. пром., № 4, 275 (1964).
13. Стрижевский И. И., Розловский А. И., Рибас Ю. М., Заказнов В. Ф., Оболочка для взрывонепроницаемого электрооборудования, авт. свид. 155519, 1963 г.
14. Заказнов В. Ф., Гашение пламени с помощью гранулированных и пористых материалов, Химия и технология азотных удобрений и продуктов органического синтеза. Труды ГИАП, Сектор научно-технической информации ГИАП, 1963, стр. 45.
15. Burgoine J. H., Основные принципы проблемы предотвращения взрывов, Chem. Proc. Eng., 42, № 4, 157 (1961).

16. Phillips H., О передаче взрыва через промежуток меньший, чем расстояние гашения, *Combustion a Flame*, 7, № 2, 129 (1963).
17. Wolfhard H. G., Воспламенение горючих смесей нагретыми газами, *Jet Propuls.*, 28, № 12, 798 (1958).
18. Holm L., Иницирование взрывов газов небольшим пламенем, *Phil. Mag.*, 14, 18 (1952); Поджигание взрывчатых газовых смесей небольшим пламенем, *Phil. Mag.*, 15, № 2, 329 (1933).
19. Friedman R., Johnston W. C., Влияние давления на гасящее расстояние для пламен *n*-гептана, *изо*-октана, бензола и этилового эфира, *J. Chem. Phys.*, 20, № 5, 919 (1952).
20. Simon D. M., Belles F. E., Spakowski A. E., Исследование областей воспламенения некоторых бедных углеводородо-воздушных смесей, *IV Symposium on Combustion*, Baltimore, 1953, p. 126.
21. Hulsberg F., Предупреждение распространения взрывов при помощи гранулированных материалов., *Revue de l'industrie minerale*, 39, № 4, 373 (1957).
22. Egerton A. C., Everett A. J., Moore N. P., Применение пористых металлов для гашения пламени, *IV Symposium on Combustion*, Baltimore, 1953, p. 689.
23. Мордкин В. М., Вольпе С. М., Огневые огнепреградители и их испытание, Труды Всесоюзного научно-исследовательского института по технике безопасности в нефтяной промышленности (ВНИИГБ), вып. 1, 1947, стр. 43.
24. Palmer K. N., Гашение пламени металлическими сетками, *VII Symposium on Combustion*, London, 1958, p. 497.
25. Palmer K. N., Tonkin P. S., Гашение пламен различных топлив в узких створениях, *Combustion a Flame*, 7, № 2, 121 (1963).
26. Berlada A. L., Гашение пламени в горелке с прямоугольным каналом различной ширины как функция давления для различных смесей пропан—кислород—азот, *J. Phys. Chem.*, 58, № 11, 1023 (1954).
27. Рубан Ф. И., Исследование надежности элементов огневых предохранителей хранилищ авиатоплив, Автореферат диссертации, Ленинградская Краснознаменная военно-воздушная инженерная академия, 1951.
28. Зельдович Я. Б., Воеводский В. В., Тепловой взрыв и распространение пламени в газах, Изд. Моск. механического ин-та, 1947.
29. Wilson C. A., Проскок пламени в газовых устройствах *Ind. Eng. Chem.*, 51, № 4, 560 (1959).
30. Potter A. E., Berlada A. L., Отношение градиента пограничной вязкости для обратного проскока пламени к скорости пламени и гасящему расстоянию, *VI Symposium on Combustion*, New York, 1957, p. 27.
31. Anagnostou E., Potter A. E., Гасящий диаметр для быстрых пламен при низких давлениях, *Combustion a Flame*, 3, № 4, 453 (1959).
32. Гэйдон А. Г., Вольфгард Х. Г., Пламя, его структура, излучение и температура, Металлургиздат, 1959.

33. Friedman R., Гашение ламинарного водородо-кислородного пламени твердыми поверхностями, III Symposium on Combustion, Baltimore, 1949, p. 120.
34. Стрижевский И. И., Тесменицкий Д. И., Сухие металлокерамические предохранительные затворы для природного газа, Сварочное производство, № 9, 36 (1961).
35. Заказов В. Ф., Розловский А. И., Стрижевский И. И., Пределы гашения дефлаграционного горения при помощи гранулированных и пористых материалов, Инженерный журнал, 3, № 2, 280 (1963).
36. Spralding D., Теория пределов воспламенения и гашения пламени, Proc. Roy. Soc., A240, № 1220, 83 (1957).
37. Putman A. A., Jensen R. A., Применение безразмерных критериев к обратному проскоку пламени и другим явлениям горения, III Symposium on Combustion, Baltimore, 1949, p. 89.
38. Lewis B., von Elbe G., Устойчивость и структура пламени горелки, J. Chem. Phys., 11, № 2, 75 (1943).
39. Friedman R., Johnston W. C., Гашение ламинарного пламени пропано-воздушной смеси в щели в зависимости от давления, температуры и состава смеси, J. Appl. Phys., 21, 721 (1950).
40. Potter A. E., Berladi A. L., Гашение пламени смесей пропан — кислород — аргон и пропан — кислород — гелий, J. Phys. Chem., 60, № 1 (1956).
41. Шаулов Ю. Х., Распространение пламени через пористые среды, Изд. АН Аз.ССР, 1954.
42. Розловский А. И., Стрижевский И. И., Заказов В. Ф., Безопасный смеситель высокого давления для сильно взрывчатых газовых смесей, ЖФХ, 36, № 12, 2809 (1962).
43. Беркман А. С., Пористая проникаемая керамика, Госстройиздат, 1959.
44. Gilbert M., Влияние давления на скорость пламени, VI Symposium on Combustion, New York, 1957, p. 74.
45. Strauss W. A., Edse R., Измерение скорости пламени методом бомбы постоянного давления, VII Symposium on Combustion, London, 1959, p. 377.
46. Алиев А. А., Розловский А. И., Шаулов Ю. Х., О нормальных скоростях пламени ацетилено-кислородных смесей. ДАН СССР, 99, № 4, 559 (1954).
47. Egerton A. C., Sen D., Распространение пламени, влияние давления на скорость горения плоских пламен, IV Symposium on Combustion, Baltimore, 1952, p. 321.
48. Badami G. H., Egerton A. C., Определение скорости горения медленных пламен, Proc. Roy. Soc., A228, № 1174, 297 (1955).
49. Михельсон В. А., Собр. соч. т. 1, изд. «Новый агроном», 1930.
50. Jahn G., Der Zündvorgang in Gasgemischen, München, 1937.
51. Smith F. A., Проблема стационарных пламен, Chem. Rev., 21, 389 (1937).

52. Lindner W., *Entzündung und Verbrennung von Gas- und Brennstoff Dampfgemischen*, Berlin, 1931.
53. Van Wousterghem J., van Tiggelen A., *Bull. Soc. chim. Belg.*, 63, 235 (1954).
54. Brokaw R. S., Gersteem M., Соотношение скорости горения, гасящих расстояний и минимальных энергий поджигания для систем углеводород — кислород — азот, VI Symposium on Combustion, New York, 1957, p. 72.
55. Senior D. A., Скорость пламени в водородо-воздушных и водородо-кислородных смесях. Ее измерение методом шлирен-фотографии, *Combustion and Flame*, 5, № 1, 7 (1961).
56. Розловский А. И., Брандт Б. Б., Унифицированная закономерность для нижнего концентрационного предела распространения пламени, *ДАН СССР*, 145, № 6, 1331 (1962).
57. Заказов В. Ф., Стрижевский И. И., Оценка надежности действия сухих огнепреградителей, *Вестник техн. и эконо. информации НИИТЭхим*, № 2, 29 (1964).
58. Гиршфельдер Д., Кертис Ч., Берд Р., Молекулярная теория газов и жидкостей, Издательство, 1964.
59. Hirschfelder J. O., Bird R. B., Sportz E. L., Вязкость и другие физические свойства газов и газовых смесей, *Trans. Am. Soc. Mech. Eng.*, 71, 921 (1949).
60. Misic D., Thodos G., Теплопроводность углеводородных газов при атмосферном давлении, *A. I. Ch. E. Journal*, 7, № 2, 264 (1961).
61. Варгафтик Н. Б., *Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей*, Изд. физ.-мат. лит., 1963.
62. Rossini F. D., Pitzer K. S., Arnett R. L., Braun R. M., Pimentel G. C., *Selected values of physical and thermodynamic properties of hydrocarbons and related compounds*, Pittsburg, 1953.
63. Lindsay A. L., Bromley L. A., Теплопроводность газовых смесей, *Ind. Eng. Chem.*, 42, № 8, 1508 (1950).
64. Цеденберг Н. В., Теплопроводность газов и жидкостей, Госэнергоиздат, 1963.
65. Вукалович М. П., Кириллин В. А., Ремизов С. А., Силецкий В. С., Тимофеев В. Н., Термодинамические свойства газов, Гос. научно-техн. изд. машиностр. и судостр. лит., 1953.
66. Теплофизические свойства веществ, *Справочник под ред. Варгафтика Н. Б.*, Госэнергоиздат, 1956.
67. *Справочник химика*, т. 1, Госхимиздат, 1963.
68. Kistiakowsky G. B., Rice W. W., Теплоемкость газов, *J. Chem. Phys.*, 8, № 8, 610 (1940).
69. Johnston H. L., Grilly E. R., Теплопроводность обычных восьми газов, *J. Chem. Phys.*, 14, № 4, 233 (1946).
70. Голубев И. Ф., Назиев Я. М., Теплопроводность газообразных предельных углеводородов при атмосферном давлении и различных температурах, Изд. АН Аз.ССР, Серия физ.-мат. и техн. наук, № 5, стр. 113 (1961).
71. Landolt, Börnstein, *Physikalische-Chemische Tabellen*, 2, Berlin, 1923, стр. 1306.
72. Lenoir J. M., Comings E. W., Теплопроводность газов при высоких давлениях, *Chem. Eng. Progr.*, 47, № 4 (1951).

73. Leng D. E., Comings E. W., Теплопроводность пропана, *Ind. Eng. Chem.*, 49, № 12, 2042 (1957).
74. Lambert J. D., Steines E. N., Woods S. D., Теплопроводность паров органических соединений, *Proc. Roy. Soc. A200*, № 1061, 262 (1950).
75. Варгафтик Н. Б., Смирнова Е. В., О зависимости теплопроводности водяного пара от температуры, *ЖТФ*, 26, № 6, 1251 (1956).
76. Зайцева Л. С., Экспериментальное исследование теплопроводности одноатомных газов в широком интервале температур, *ЖТФ*, 29, № 4, 497 (1959).
77. Scholte T. G., Waags P. B., Скорость горения водородно-воздушных смесей и смесей некоторых углеводородов с воздухом, *Combustion a. Flame*, 3, № 4, 495 (1959).
78. Cohen L., Скорость горения аммиака в смеси с воздухом и кислородом, *Fuel*, 34, № 4, 123 (1955).
79. Хитрин Л. Н., Физика горения и взрыва, Изд. МГУ, 1957.
80. Fenn J., Calcote H., Энергия активации в условиях горения при высоких температурах, *IV Symposium on Combustion*, Baltimore, 1953, p. 231.
81. Simon D. M., Теория диффузии активных частиц, *Ind. Eng. Chem.*, 43, № 12, 2718 (1951).
82. Gerstein M., Lewine O., Wong E. L., Распространение пламени. Определение нормальной скорости горения углеводородов методом трубы, *J. Am. Chem. Soc.*, 73, № 1, 418 (1951).
83. Gerstein M., Lewine O., Wong E. L., Нормальная скорость пламени углеводородов, *Ind. Eng. Chem.*, 43, № 12, 2770 (1951).
84. Garner F. H., Long R., Achforth G. K., Влияние давления на скорость горения смесей бензола, гептана и 2,2,4-триметилпентана с воздухом, *Fuel*, 30, 17 (1951).
85. Заказов В. Ф., Стрижевский И. И., Огнепреградитель к свече сжигания окисьюглеродной фракции, *Техн. и эконом. информация, Серия «Охрана труда и техника безопасности в хим. и нефтехим. пром.» НИИТЭхим*, № 2, 22 (1965).
86. Левин М. М., Винарский И. С., Некоторые результаты дегазации капитальных горных выработок на шахте № 22 комбината Караганда—шахтстрой, *Научные труды*, вып. 4, Госгортехиздат, 1964, стр. 127.
87. Сурначев Б. А., Хашин В. Н., Вагн В. Д., Дегазация мощных крутых пластов на шахте «Коксовая-1» (Кузбасс), *Технология и экономика угледобычи*, Научно-техн. сб. (ЦИТИ угольной пром-ти), № 10, 31 (1962).
88. Bartknecht W., Огнепреградители для установок по отсасыванию рудничного газа, *Schlägel und Eisen*, № 5, 323 (1961); Bartknecht W., Разработка и испытание огнепреградителей для установок по отсасыванию рудничного газа, *Schlägel und Eisen*, № 3, 162; № 4, 243 (1964).
89. Стрижевский И. И. и др. Устройство для осушения приточного воздуха в огнепреградителе резервуара с горючей жидкостью, *авт. свид. 171796, Бюлл. изобр.* № 11 (1965).
90. Neumann J., Капиллярные огнепреградители, *Erdöl und Kohle, Erdgas, Petrochemie*, № 8, 628 (1964).

91. Н и к о л а е в с к и й К. М., Проектирование рекуперации летучих растворителей с адсорберами периодического действия, Оборонгиз, 1961, стр. 107.
92. Н о в и к о в М. М., Р а к о в П. П., Устройства для безопасного налива нефти и нефтепродуктов. Безопасность труда в промышленности, № 8, 23 (1961).
93. М у к а н и н В. М., Огнепреградитель ЛКЗП, Вестник техн. и эконом. информации НИИТЭхим, № 6, 44 (1963).
94. D o l a n I. E., D e m p s t e r P. B., Подавление воспламенения метано-воздушных смесей тонкоразмолотыми пылями, J. Appl. Chem., 5, № 9, 510 (1955).
95. L a f f i t t e P., B o u c h e t R., Подавление детонационных волн в газовых смесях при помощи тонкоразмолотых порошков, VII Symposium on Combustion, London, 1959, p. 504.
96. Б у т П. П., Огневой предохранитель типа ОП-350, Новости нефтяной техники, № 9, 37 (1960).
97. Ч е н ц о в В. М., Испытания огневых предохранителей для резервуаров на огнепроницаемость. Транспорт, хранение и применение нефтепродуктов. Труды ВНИИТнефть, вып. 3, Гостоптехиздат, 1952, стр. 31.
98. N a b e r t K., D e g e n e r C. H., Огнепреграждающие приспособления, применяемые в устройствах для хранения, наполнения и транспортировки горючих жидкостей, Arbeitschutz, № 3, 63 (1963).
99. I t z G. W., M a a s W., Защита от взрывов, Ann. Mines de Belgique, № 6, 535 (1958).
100. M a a s W., Q u a d e n P., Применение огнепреградителей в установках для отсасывания рудничного газа, Ann. Mines de Belgique, № 6, 536 (1958).
101. M i h i l l A. R., Дренаж рудничного газа, Socie a. Gas, 22, № 252, 210 (1960).
102. L e n z G., Сообщение с атмосферой резервуаров для хранения воспламеняющихся жидкостей и газов, Anticendio e protez. Civile, 4, № 4, 855 (1962).
103. С т р и ж е в с к и й И. И., З а к а з н о в В. Ф. и др., Сухой огнепреградитель, авт. свид. 172950, Бюлл. изобр., № 14 (1965).
104. S w a p A., Предотвращение опасности воспламенения с помощью огнепреградителей, помещенных во всасывающую трубу, Aeronautical Research Committee Reports and Memoranda, № 1484, 1932.
105. C u b b a g e P. A., Огнепреградители для смесей природный газ — воздух, Gas World, 150, № 3927, 620 (1959).
106. N e u m a n I., Предотвращение взрывов в трубопроводах, содержащих взрывоопасные смеси, Pozarni technica, 7, № 5, 88 (1959).
107. Б у н ч у к В. А., Дыхательные централизованные установки на газовых обвязках резервуарных парков железобетонных резервуаров, Транспорт и хранение нефти, № 2, 13 (1963).
108. Энциклопедический справочник «Горное дело», т. 6, Углетехиздат, 1959, стр. 58.
109. З а й ц е в Н. А., А н д р о с о в М. С., Новые предложения по борьбе с метаном в угольных шахтах, Уголь, № 12, 36 (1962).

110. Огнепреградители в трубопроводах, *Iron a. Coal*, 180, № 4782, 575 (1960).
111. Сайто Е., Устройство для предотвращения воспламенения в газопроводе при отсасывании горючих газов из шахт, *Танко Гидзюцу*, 12, № 6, 35 (1957).
112. Malcaster K. D., Механическая прочность и пламегасящая способность высокопроизводительных аэрозольных фильтров, *Staub*, 23, № 2, 64 (1963).
113. Блюмберг Э. А., Васильев В. И., Эмануэль Н. М., Воздействие добавок углеводов на концентрационные пределы распространения пламени в газовых смесях, *Изв. АН СССР, Отд. хим. наук*, № 9, 1172 (1957).
114. Денисенко Г. Ф., Фильтры из пористого металла, *Кислород*, № 6, 16 (1952).
115. Гликман Л. С., Рощупкин В. И., Павловская Е. И., Металлокерамические фильтры для задержания песка при добыче нефти, *Нефтяное хозяйство*, № 12, 30 (1959).
116. Андриевский Р. А., Пористые металлокерамические материалы, *Изд. «Металлургия»*, 1964.
117. Бальшин М. Ю., Рыбальченко М. К., Падалко О. В., Эскина Н. П., Некоторые вопросы металлургии волокна, *Порошковая металлургия*, 4, № 3, 16 (1964).
118. Selig H. S., Применение пористой металлокерамики для предотвращения взрывов, *Intern. Z. Gaswärme*, 13, № 4, 138 (1964).
119. Предотвращение несчастных случаев при помощи сухих огнепреградителей, *Chem. Ind.*, 12, № 11/12, 73 (1960).
120. Langeveld F. A., Огнепреградители для ацетилено-кислородных смесей, *Lastechnik*, 23, № 1, 7 (1957).
121. Heinrich H. I., Влияние пламен на сухие огнепреградители, *Berufsgenossenschaft*, № 3, 91 (1963).
122. Konschak M., Scheguhn W., Предохранительные затворы и их значение при сварке и резке, *Schweissen und Schneiden*, 5, № 5 (1953).
123. Стрижевский И. И., Гузов С. Г., Ковальский В. А., Ацетиленовые станции, *Машгиз*, 1958.
124. Ulmer W., Уровень развития сухих взрывопредохранителей для газопроводов, *Industrie — Anzeiger*, 82, № 95, 1639 (1960).
125. Временные правила и нормы по технике безопасности и промышленной санитарии для проектирования, строительства и эксплуатации производств ацетилена термоокислительным пиролизом метана и электрокрекингом метана, *Госхимиздат*, 1962.
126. Волков А. Е., Лapidус А. С., Техника безопасности в производстве ацетилена из природного газа, *Изд. «Химия»*, 1964.
127. Система транспортировки ацетилена, *Chem. Eng.*, 67, № 18, 131 (1960).
128. Schmidt H., Haberl K., Меры безопасности при распаде ацетилена под низким давлением, *Technische Überwachung*, № 12, 423 (1955).

129. Стрижевский И. И., Бородулин А. А., Канер Б. Л., Защита ацетиленовых трубопроводов от разрушения, сб. «Охрана химических предприятий от пожаров и взрывов», НИИТЭхим, 1961, стр. 172.
130. Стрижевский И. И., Кальманович С. П., Сухие огнепреградители, Труды ВНИИавтоген, вып. VIII, Машгиз, 1962, стр. 182.
131. Hölemann P., Hasselmann R., Einfluss der Oberflächenbeschaffenheit der Wandung auf den Ablauf von Acetylenexplosionen. Forschungsber. Wirtsch.- und Verkehrsminister. Nordrhein. Westfalen, № 526, 1958.
132. Miller S. A., Ренпу Е., Техника безопасности при обращении с ацетиленом под давлением, Symposium on Chemical Progress hazards, Inst. Chem. Eng., 87 (1960).
133. Когарко С. М., Лямин А. Г., Михайлов В. А., Исследование разложения ацетилена и прохождения пламени через скруббер с насадкой при низких давлениях, Хим. пром., № 8, 61 (1965).
134. Когарко С. М., Иванов Б. А., Распространение зоны химической реакции в чистом ацетилене и в смесях с другими газами, ПМТФ, № 3, 59 (1963).
135. Nelson H. H., Зависимость взрывного распада ацетилена от диаметра трубы, VI Symposium on Combustion, New York Reinhold Corp., 1957, p. 382.
136. Фудзисаки, Хасигути, Разложение ацетилена под высоким давлением при взрыве, возникающем от статического разряда, Kōge Kagaku Zasshi, 61, № 5, 515 (1958).
137. Schulze H., Предохранительное устройство для установок, при эксплуатации которых возможен взрывной распад ацетилена, пат. ФРГ 809424, 1951 г.
138. Hölemann P., Hasselmann R., Untersuchungen über die thermische Zündung von explosibelen Acetylenzersetzungen in Kapillaren, Forschungsber. Wirtsch.- und Verkehrsminister, Nordrhein. Westfalen, № 102, 1954.
139. Иванов Б. А., Когарко С. М., Исследование величины нормальной скорости пламени и предельных диаметров при распаде чистого ацетилена в вертикальных трубах, ПМТФ, № 2, 164 (1964).
140. Kopschak M., Haupt W., Локализация взрывного распада ацетилена, Die Berufsgenossenschaft, № 1, 7 (1962).
141. Zimmermann R. L., Jones G. D., Nummy W. R., Виниловые эфиры диэтиленгликоля, Ind. Eng. Chem. Prod. Res. and Developm., 2, № 4, 296 (1963).
142. Заказов В. Ф., Стрижевский И. И., Гашение пламени распада ацетилена и ацетилено-азотных смесей в узких каналах, Хим. пром., № 4, 285 (1965).
143. Стрижевский И. И., Янтовский С. Я., Взрывные свойства ацетилена, ГИАП, ОНТИ, 1964, стр. 11.
144. Cummings G. A., Hall A. R., Straker R. A. M., Пламена распада ацетилена и метилацетилена, VII Symposium on Combustion, London Butterworth, 1962, p. 503.
145. Chase G. D., Weinberg F. G., Пламя распада ацетилена и объяснение механизма реакции на основании макрокинетики пламени, Proc. Roy. Soc., A275, № 1362, 411 (1962).

146. Гликин М. А., Когарко С. М., Стрижевский И. И., Исследование взрывного распада ацетилена и ацетилено-азотных смесей методом сферической бомбы постоянного объема, Газ. пром., № 12, 32 (1964).
147. Реппе В., Исследование разложения ацетилена и содержащих ацетилен газовых смесей под повышенным давлением, сб. «Химия ацетилена», Издательство, 1954.
148. Стрижевский И. И., Взрывобезопасность при работе с ацетиленом под высоким давлением, Журн. ВХО им. Д. И. Менделеева, 7, № 6, 632 (1962).
149. Стрижевский И. И., Заказнов В. Ф., Ковальский В. А., Огнепреградители ацетилена высокого давления, Сварочное производство, № 2, 42 (1966).
150. Magin J., Weissweiler A., Устройство, препятствующее обратному удару пламени в трубопровод, пат. ФРГ 853135, 1952 г.
151. Miller S. A., Работа с ацетиленом под давлением на химических предприятиях, Intern. Chem. Eng. Process Ind., 32, № 10, 476 (1951).
152. Хасигути, Воспламенение сжатого при высоком давлении ацетилена, Коацу гасу кёкайси, 23, № 2, 78 (1959).
153. Стрижевский И. И., Заказнов В. Ф., Огнепреградители ацетилена, Безопасность труда в промышленности, № 8, 48 (1965).
154. Каховский Н. И., Полизовцев А. М., Андриевский Р. А., Сварка пористой высоколегированной стали, Порошковая металлургия, № 4, 91 (1964).
155. Жаворонков Н. М., Гидравлические основы скрубберного процесса и теплопередачи в скрубберах, Изд. «Советская наука», 1944.
156. Жаворонков Н. М., Аэров М. Э., Умник Н. Н., Гидравлическое сопротивление и плотность упаковки зернистого слоя, ЖФХ, 23, № 3, 342 (1949).
157. Денисенко Г. Ф., Методика расчета фильтров из пористой бронзы, Труды ВНИИКИМАШ, вып. 3, ЦБТИ, 1960, стр. 103.
158. Аэров М. Э., Умник Н. Н., Измерение скорости газа в реальном зернистом слое, ЖПХ, 23, № 10, 1009 (1950).
159. Rose H. E., Rizk A. M., Inst. Mech. Eng. Proc., 160, 493 (1949).
160. Жаворонков Н. М., Гидро- и аэродинамика насадок скрубберных и ректификационных колонн, Хим. пром., № 9, 13 (1948).
161. Quinton P. G., Сопротивление огнепреградителей газовому потоку, Brit. Chem. Eng., 7, № 12, 914 (1962).
162. S a r t a n P. G., Поток жидкости через гранулированный слой, Trans. Inst. Chem. Eng., 15, 150 (1937).
163. Rose H. E., Закономерности течения жидкости через слой гранулированного материала, Inst. Mech. Eng., applied Mechanics Proc., 1953, War Emergency Issue, № 5, 141, 1945.
164. Grootenhuis P., Proc. Inst. Mech. Eng., 168, 827 (1954).
165. Kindley B. C., J. R. Aero Soc., 63, 597 (1959).
166. Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением, Госгортехиздат, 1963.

167. Nabert K., Schön G., Испытание огнепреградителей, PTB — Mitt., 74, № 2, 124 (1964).
168. Nabert K., Degener C. H., Устройства, предохраняющие от проникновения пламени, принятые на основании предписаний техники безопасности для горючих жидкостей, Techn. Überwachung, 6, № 1, 14 (1965).
169. Neuman J., Испытание огнепреградителей на надежность локализации пламени, Chem. Techn., 12, № 4, 214 (1960).
170. Стрижевский И. И., Предохранительные затворы при обработке металлов газом, Новости нефтяной и газовой техники, Газовое дело, № 1, 43 (1962).
171. Солоухин Р. И., О пузырьковом механизме ударного воспламенения в жидкости, ДАН СССР, 136, № 2, 311 (1961).
172. Кедринский В. К., Пиголкин В. К., Об устойчивости схлapyвающейся газовой полости во вращающейся жидкости, ПМТФ, № 3, 113 (1964).
173. Senig D. A., Теория горения сферических пузырьков газа под водой, Proc. Roy. Soc., A251, № 1267, 493 (1959).
174. Стрижевский И. И., Кальманович С. П., Новый стандарт на водяные затворы и способы их испытаний, Сварочное производство, № 3, 40 (1959).
175. Стрижевский И. И., О некоторых мерах безопасности при газопламенной обработке металлов, Сварочное производство, № 9, 42 (1960).
176. Pusch W., Wagner H. I., Исследование влияния диаметра трубы на пределы детонации, Combustion a. Flame, 6, № 3, 157 (1962).
177. Стрижевский И. И., Офицеров Д. М., Тесменицкий Д. И., Кальманович С. П., Ковальский В. А., Шелечник М. М., Водяной затвор для ацетиленовой аппаратуры, авт. свид. 127967, 1960 г.
178. Weese D. E., Новые предохранительные затворы без ограничения пропускной способности, Schweißen und Schneiden, 2, № 8, 220 (1950).
179. Acetylene transmission for Chemical Synthesis. Recommended minimum safe practices for piping system, International acetylene association, New York, 1960.
180. Watts H. E., The law relating to petroleum mixtures, acetylene, calcium carbide, and to the transport of certain compressed gases, London, 1956.
181. Стрижевский И. И., Эксплуатация ацетиленовых генераторов и водяных затворов в зимнее время, «Передовой научно-технический опыт», филиал ВИНТИ, тема 12, № М-58—114/10, 1958.
182. Mach E., Druskferluste und Belastungsgrenzen Füllkörpersäulen, «Forschund auf dem Gebiete des Ingenieurwesens», 1935, Forshunheft, 375.

Иосиф Исаакович Стрижевский
Владимир Федорович Заказнов

ПРОМЫШЛЕННЫЕ ОГНЕПРЕГРАДИТЕЛИ

Издательство «Химия», М., 1966 г.

УДК 614.841.332

152с.

Редактор *Н. С. Ратманский*

Техн. редактор *Б. Ф. Пятигорская*

Художник *И. И. Карпиков*

Корректоры *Н. А. Ваничкова, Г. А. Быковская*

T10096

Подписано к печати 26/IX 1966 г.

Формат бумаги 84×108¹/₃₂=бум. л. 4,75, печ. л. 7,98

Уч.-изд. л. 7,75

Тираж 4000 экз.

Типогр. бум. № 2 Темплан 1966 г. № 124 Кн. торг. инд. 3-14-2

Цена 44 к.

Зак. 2103

Московская типография № 21 Главполиграфпрома
Комитета по печати при Совете Министров СССР
Москва, 88, Угрешская, 12.