

Министерство образования и науки Российской Федерации
НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Н.Я. ИЛЮШОВ

ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТЬ

ОГNETУШАЩИЕ ВЕЩЕСТВА

Утверждено
Редакционно-издательским советом университета
в качестве учебного пособия

НОВОСИБИРСК
2016

УДК 614.842.61(075.8)+614.841.345.6(075.8)
И 498

Рецензенты:
канд. техн. наук, доц. *Парахин А.М.*
канд. техн. наук, доц. *СибГУТИ Щербаков Ю.С.*

Работа подготовлена на кафедре безопасности труда

Илюшов Н.Я.

И 498 Пожаровзрывобезопасность. Огнетушащие вещества : учебное пособие / Н.Я. Илюшов. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2016. – 123 с.

ISBN 978-5-7782-2972-3

Данное учебное пособие включает в себя материал курса лекций «Пожаровзрывобезопасность», разработанный на кафедре безопасности труда НГТУ. Пособие предназначено для студентов всех форм обучения направления 20.03.01 «Техносферная безопасность».

УДК 614.842.61(075.8)+614.841.345.6(075.8)

ISBN 978-5-7782-2972-3

© Илюшов Н.Я., 2016
© Новосибирский государственный
технический университет, 2016

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	5
Глава 1. СВОЙСТВА И КЛАССИФИКАЦИЯ ОГNETУШАЩИХ ВЕЩЕСТВ	6
1.1. Основные характеристики ОТВ	7
1.2. Классификация ОТВ.....	8
Глава 2. ЖИДКИЕ ОГNETУШАЩИЕ ВЕЩЕСТВА.....	15
2.1. Вода и ее растворы	15
2.2. Расчет сил и средств при тушении пожаров водой	27
2.3. Огнетушащие пены	31
2.4. Расчет сил и средств, необходимых для тушения воздушно- механической пеной	45
Глава 3. ГАЗООБРАЗНЫЕ ОГNETУШАЩИЕ ВЕЩЕСТВА.....	48
3.1. Двуокись углерода.....	52
3.2. Галоидоуглеводороды	56
3.3. Инертные газы	62
Глава 4. НЕГОРЮЧИЕ СЫПУЧИЕ ОГNETУШАЩИЕ ВЕЩЕСТВА	70
4.1. Огнетушащие порошковые составы	70
4.2. Расчет сил и средств, необходимых для тушения огнетуша- щими порошковыми составами	77
Глава 5. КОМБИНИРОВАННЫЕ СОСТАВЫ	79
5.1. Огнетушащие аэрозоли	79
5.2. Комбинированные составы эмульсии и пены.....	83
5.3. Азотно-хладоновые и углекислотно-хладоновые составы	85
5.4. Комбинированные порошки типа СИ.....	86

Глава 6. ВЫБОР ОГNETУШАЩЕГО ВЕЩЕСТВА	87
Глава 7. РАСЧЕТ НЕОБХОДИМОГО КОЛИЧЕСТВА ОГNETУШАЩЕГО ВЕЩЕСТВА	94
7.1. Определение времени тушения пожара	94
7.2. Расчет интенсивности подачи ОТВ.....	96
7.3. Определение удельного расхода ОТВ	100
7.4. Определение расхода ОТВ.....	102
7.5. Определение необходимого запаса ОТВ на тушение и защиту.....	108
7.6. Расчет количества сил и средств, необходимых для тушения пожара.....	109
Библиографический список	116
Приложения.....	118
Приложение 1. Огнетушащие вещества, применяемые при тушении пожаров различных веществ и материалов	118
Приложение 2. Линейная скорость распространения пожара	121

ВВЕДЕНИЕ

Быстрое и эффективное тушение пожара может быть достигнуто только в том случае, когда правильно выбрано не только средство пожаротушения, но и само огнетушащее вещество (ОТВ). Выбор ОТВ производится на основе их классификации и характеристик, поэтому знание особенностей каждого ОТВ, возможностей его применения при тушении пожаров крайне важно для повышения уровня пожарной безопасности на любом защищаемом объекте.

Данное учебное пособие предназначено для студентов очной и заочной форм обучения при изучении дисциплины «Пожарная безопасность», а также для студентов, обучающихся по направлению «Техносферная безопасность».

Глава 1. СВОЙСТВА И КЛАССИФИКАЦИЯ ОГNETУШАЩИХ ВЕЩЕСТВ

Огнетушащими веществами называются вещества, которые непосредственно воздействуют на процесс горения и создают условия для его прекращения.

Известно, что в основе горения лежит химическая реакция, сопровождающаяся выделением тепла и излучением света [1]. Горение возникает и протекает только при определенных условиях. Например, для возникновения горения горючее вещество и окислитель должны быть нагреты до необходимой температуры, при этом они должны находиться в нужном количественном соотношении. Существуют определенные максимальные и минимальные концентрации горючих веществ в воздухе, выше или ниже которых воспламенение невозможно. Кроме того, скорость распространения пламени регулируется скоростью передачи тепла в образовавшейся горючей смеси. Достаточно изменить условия прохождения реакции, например, снизить температуру горючей смеси ниже критической или выйти за предельные значения концентрации горючего вещества или окислителя, и реакция горения прекратится.

В мире существует много природных огнетушащих веществ, например, песок или земля. Кроме того, современные технологии позволяют получать такие ОТВ, которые гораздо более эффективны, чем природные. Но далеко не все огнетушащие вещества принимаются на вооружение пожарных подразделений, а только те, которые отвечают определенным требованиям. Они должны:

- обладать высокой эффективностью тушения при сравнительно малом расходе;
- быть доступными, экономичными и простыми в применении;
- не оказывать вредного воздействия на людей и материалы при их применении;
- быть экологически чистыми.

На сегодняшний день в качестве ОТВ используются:

- вода и водяной пар;
- огнетушащие пены;
- инертные разбавители;
- галоидоуглеводороды;
- огнетушащие порошковые составы;
- огнетушащие аэрозоли;
- комбинированные составы.

1.1. Основные характеристики ОТВ

Эффективность тушения пожара любого класса зависит от многих факторов, важнейшими из которых являются вид ОТВ и его характеристики.

Основными характеристиками любого вида ОТВ являются:

- огнетушащая эффективность;
- интенсивность подачи при тушении пожара;
- удельный расход.

Огнетушащая эффективность – минимальное количество ОТВ, расходуемое на тушение модельного очага пожара определенного класса. Зависит от многих факторов: от природы горючего вещества, условий горения, свойств самого ОТВ, способов его подачи и т. д.

На практике для расчета необходимого при тушении пожара количества ОТВ используют понятие интенсивности его подачи.

Интенсивность подачи I – количество ОТВ, подаваемое в единицу времени на единицу соответствующего геометрического параметра пожара, например, на единицу площади или объема:

$$I = \frac{m_{\text{ОТВ}}}{60\Pi \cdot \tau_{\text{туш}}}, \quad (1.1)$$

где $m_{\text{ОТВ}}$ – масса ОТВ, израсходованного на тушение, л, кг, м³;

Π – величина расчетного параметра пожара, например, его площадь – м², объем – м³, периметр – м;

$\tau_{\text{туш}}$ – время, затраченное на тушение пожара.

Так как тушение пожара происходит либо по площади, либо по объему защищаемого помещения, размерность интенсивности подачи

ОТВ имеет различную размерность. При поверхностном тушении интенсивность подачи ОТВ имеет размерность кг/(м²·с) или л/(м²·с), а при объемном тушении – кг/(м³·с) или л/(м³·с).

По известному значению интенсивности подачи ОТВ и соответствующему ей времени тушения определяется удельный расход ОТВ.

Удельным расходом ОТВ $q_{уд}$ называется его расход на расчетный параметр пожара за все время тушения. Рассчитывается удельный расход ОТВ по формуле

$$q_{уд} = Q^{ОТВ} / П, \text{ л/м}^2 \quad (1.2)$$

или

$$q_{уд} = I \tau_{туш}, \quad (1.3)$$

где $Q^{ОТВ}$ – объем ОТВ, необходимый для тушения пожара;

П – величина расчетного параметра пожара, например, площадь, м²;

I – интенсивность подачи ОТВ, л/м²·с;

$\tau_{туш}$ – время тушения, мин.

1.2. Классификация ОТВ

Огнетушащие вещества разделяются по своему агрегатному состоянию. На сегодняшний день существуют жидкие, пенные, порошковые составы и газы.

По своей электропроводности ОТВ подразделяются:

– на электропроводные (вода, растворы, пена, водяной пар);

– неэлектропроводные (огнетушащие газы и порошки).

По своей токсичности ОТВ определяются как:

– нетоксичные (вода, пена);

– малотоксичные (углекислота);

– токсичные (фреоны, галоидированные составы).

Но главным принципом в классификации ОТВ является принцип прекращения горения. Известно, что в реакции горения управляемыми параметрами являются:

– температура;

– концентрация горючего;

– концентрация окислителя.

Именно по способу воздействия на данные параметры все используемые ОТВ подразделяются на четыре группы:

– охлаждающие очаг горения, т. е. отнимающие тепло у горящих материалов и продуктов горения (вода, растворы воды со смачивателем, твердый диоксид углерода, водные растворы солей);

– изолирующего действия, т. е. создающие изолирующий слой между зоной горения и горючим материалом или воздухом (огнетушащие пены, огнетушащие порошковые составы, негорючие сыпучие вещества);

– разбавляющие или снижающие процентное содержание кислорода в очаге горения, способные разбавить горючие пары или горючие газы до негорючих концентраций либо снизить концентрацию кислорода воздуха до концентрации, не поддерживающей горение (инертные газы, водяной пар, тонкораспыленная вода, газоводяные смеси, продукты взрыва взрывчатых веществ);

– ингибирующие или тормозящие реакцию горения, т. е. вступающие во взаимодействие с активными центрами реакции окисления, образуя с ними при этом негорючие либо менее активные для горения соединения, обрывая тем самым цепную реакцию горения (галогидоуглеводороды, хладоны, водобромэтиловые растворы).

Кроме перечисленных механизмов прекращения горения, воздействующих на параметры реакции, существуют еще два способа тушения пожара:

– механический срыв пламени при увеличении линейной скорости поступления горючего вещества в пламя или при сдувании его сильной струей воздуха, например, задувание пламени спички;

– создание условий огнепреграждения на пути распространения пламени при помощи направления его через узкие каналы.

ОТВ охлаждающего действия

Сущность способа тушения огнетушащими веществами охлаждающего действия заключается в охлаждении горящих веществ и материалов ниже температуры воспламенения. Охлаждение можно осуществлять двумя способами: применением специального ОТВ или перемешиванием.

Огнетушащее вещество охлаждающего действия должно обладать большой теплоемкостью, высокой теплотой плавления и парообразования, а также должно быть способно быстро и равномерно распределяться по поверхности горящего материала, впитываться и проникать вглубь данного материала. Подобными свойствами обладают многие

вещества, но наибольшее практическое применение в качестве охлаждающего вещества нашла вода.

Попадая в зону горения, вода отнимает от горящих материалов большое количество тепла, снижая их температуру ниже значения температуры горения. В результате горение прекращается. Интенсивность охлаждения зависит от скорости подачи воды на горящее вещество и от разности их температур.

Вода имеет удельную теплоемкость $4200 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$ и удельную теплоту парообразования $2258 \text{ кДж}/\text{кг}$ при нормальных условиях. При подаче в зону горения вода охлаждает верхний (наиболее нагретый) слой поверхности. Испаряясь, вода превращается в водяной пар, количество которого зависит от температуры горящего вещества, от времени контакта воды с горячей поверхностью, а также от интенсивности подачи воды в зону горения. Водяной пар разбавляет и охлаждает горючие газы, выделяющиеся в зоне горения, что и способствует прекращению горения. Кроме того, вода также изолирует древесину от действия лучистого тепла.

Кроме воды и ее растворов для охлаждения некоторых горючих материалов применяется твердый диоксид углерода, имеющий теплоту испарения гораздо меньшую, чем у воды, но очень высокую скорость охлаждения горячей поверхности за счет своей низкой температуры кипения.

ОТВ изолирующего действия

Для прекращения горения достаточно создать между зоной горения и горючим материалом или воздухом изолирующий слой. Этот способ тушения пожара на сегодняшний день является наиболее распространенным. Для его реализации используют разнообразные ОТВ и материалы, способные изолировать зону горения от доступа горючих паров и газов либо от доступа кислорода воздуха.

На практике для этих целей применяются:

- жидкие ОТВ (пена, в некоторых случаях – вода);
- газообразные ОТВ (продукты взрыва);
- негорючие сыпучие материалы (песок, тальк, флюсы, огнетушащие порошки);
- твердые тканевые материалы (асбестовые и войлочные покрывала, листовое железо и другие негорючие материалы) [2].

В зависимости от места создания изолирующего слоя способы изоляции подразделяются на две группы:

- изоляция горящего вещества от доступа воздуха;
- изоляция зоны горения от доступа горючих паров или газов.

Первый способ применяется при тушении пожаров в помещениях, имеющих незначительную площадь проемов. В этом случае изолирующий слой устанавливается непосредственно на проемах, перекрывая доступ воздуха в помещение и удаление продуктов сгорания. Иногда для этих целей достаточно заложить проемы мешками с землей или другими сыпучими материалами. При этом даже не следует добиваться тщательного уплотнения в проемах, так как в защищаемом помещении из-за нагрева создается повышенное давление, препятствующее проникновению свежего воздуха в зону горения. В результате концентрация кислорода уменьшается, а концентрация продуктов сгорания – увеличивается. В связи с этим скорость диффузии кислорода в зону горения уменьшается и соответственно уменьшается скорость горения. Уменьшение скорости горения в свою очередь приводит к понижению температуры горения, и при снижении последней до определенного значения горение прекращается.

Второй способ в основном применяется для тушения горючих жидкостей, но возможно его применение и для тушения некоторых твердых горючих веществ. Изолирующий слой создается из веществ и материалов различного агрегатного состояния, способных прекратить поступление в зону горения горючих газов и паров. При этом, если поток газов и паров перекрывается твердыми материалами, т. е. прекращается полностью, горение прекращается практически мгновенно. Но твердыми огнетушащими материалами и веществами не всегда удобно пользоваться, и поэтому их применение ограничивается тушением небольших объемов или площадей. Наиболее широко при втором способе применяются жидкие ОТВ, например пожарные пены. Благодаря своей способности растекаться и распределяться по всей поверхности горящего вещества ровным слоем жидкие вещества очень удобны при тушении нефтепродуктов, а также практически всех жидких и твердых горючих материалов.

Газообразные ОТВ (как изолирующий слой) широко применяются при тушении нефтяных и газовых фонтанов. Для создания такого слоя газовые ОТВ подаются в поток горящего вещества ниже зоны горения со скоростью, превышающей скорость поступления горючего вещества. Для этих целей используют взрывчатые вещества, которые помещают в негорящую часть струи фонтана на некотором расстоянии от земли. При взрыве струя фонтана разрывается взрывной волной и пространство между нижней и верхней частью струи заполняется продуктами взрыва, т. е. горючее вещество на некоторое время изолируется от зоны горения [3].

Разбавляющие ОТВ

Для прекращения горения по принципу разбавления реагирующих веществ применяются вещества, способные разбавить либо горючие газы и пары до негорючих концентраций, либо уменьшить концентрацию окислителя до концентраций, не поддерживающих горение.

Огнетушащие вещества, применяемые для разбавления, должны обладать следующими свойствами:

- быть негорючими и не поддерживать горение;
- находиться в газообразном или распыленном состоянии;
- обладать большой теплоемкостью и малой теплопроводностью [3].

Таковыми свойствами обладают многие вещества, но на практике в качестве разбавляющих ОТВ наиболее часто применяются диоксид углерода, азот, водяной пар и распыленная вода.

Существует два способа тушения ОТВ разбавляющего действия:

- введение ОТВ в само помещение, где происходит горение;
- введение ОТВ в горящее вещество.

Первый способ применяется при тушении пожара в помещениях без больших открытых проемов. В этом случае ОТВ вводится в объем горящего помещения как можно ближе к очагу горения или, если местонахождение очага неизвестно, равномерно около стен помещения. Благодаря диффузии и конвективным потокам концентрация пара или газа быстро выравнивается по всему объему помещения. Концентрация кислорода в воздухе снижается, и вместе с этим снижается и скорость его диффузии в зону горения. Следовательно, уменьшается скорость горения и понижается его температура. При этом понижение температуры зоны горения происходит не только из-за уменьшения концентрации кислорода, но и в результате затрат тепла на нагревание и испарение ОТВ. Поэтому огнетушащие концентрации разбавляющих ОТВ при тушении одного и того же горючего вещества могут отличаться по своему значению. Разница эта обусловлена различием ОТВ по их агрегатному состоянию, теплоемкости и теплопроводности. Чем больше теплоемкость разбавляющего огнетушащего газа или пара, тем больше тепла затрачивается на их нагревание и, следовательно, тем меньше должна быть их огнетушащая концентрация [3].

Второй способ тушения пламени разбавляющими веществами применяется при тушении горящих веществ, которые способны смешиваться с негорючими веществами. На практике такой способ может применяться только при тушении жидкостей и газов. В этом случае ОТВ подается непосредственно в объем горящего факела, а в отдель-

ных случаях, например при тушении водой этилового или метилового спирта, в горящую жидкость. Поступая в горящее вещество, ОТВ нагреваются, смешиваются с горючими парами или газами и вместе с ними достигают зоны горения. Благодаря этому концентрация горючих паров или газов в зоне горения уменьшается на величину концентрации ОТВ, что и уменьшает скорость реакции и выделения тепла. Применяя второй способ тушения разбавляющими веществами, следует помнить, что концентрация ОТВ в этом случае должна создаваться гораздо выше, чем при тушении пожара первым способом. Но так как объем пламени всегда меньше, чем объем горящего помещения, общий расход ОТВ при тушении пожара обоими способами примерно одинаков [3].

Таким образом, механизм прекращения горения при подаче разбавляющих веществ основывается на снижении объемной доли кислорода в области горения за счет его вытеснения. Все это приводит к снижению скорости диффузии кислорода в зоне реакции, а значит, и к уменьшению количества вступающих в реакцию горючих паров и газов. Количество выделяемого тепла в зоне горения уменьшается и при определенной концентрации разбавляющих ОТВ в воздухе помещения температура горения уменьшается настолько, что горение прекращается. Обычно пламенное горение большинства горючих материалов прекращается при концентрации кислорода в воздухе до 14–16 %.

Наибольшее распространение разбавляющие ОТВ получили при использовании в замкнутых защищаемых помещениях стационарных установок, а также для тушения горючих жидкостей, пролитых на небольшой площади.

Ингибирующие ОТВ

Ингибирование (от лат. *inhibeo* – удерживаю) означает процесс торможения химических реакций внешними факторами. Поэтому ОТВ ингибирующего действия имеют второе название – ОТВ химического торможения.

Сущность прекращения горения химическим торможением заключается в том, что в зону горения или в воздух горящего помещения вводят химически активные вещества, которые вступают во взаимодействие с активными центрами реакции окисления. В результате в зоне горения образуются либо негорючие, либо менее активные соединения и реакция горения обрывается. Данные ОТВ оказывают свое воздействие непосредственно в зоне реакции горючих веществ и окислителя, т. е. там, где реагирующие вещества находятся в паро-

воздушной фазе. Поэтому они должны отвечать ряду специфических требований:

- иметь низкую температуру кипения для более быстрого перехода в парообразное состояние;
- иметь низкую термическую стойкость и разлагаться на составляющие атомы и радикалы при достаточно низких температурах;
- продукты химического распада ОТВ должны активно вступать в реакцию с активными центрами.

Всем перечисленным выше требованиям лучше всего соответствуют галоидированные углеводороды (и особенно на основе фтора и брома). Ингибирующее действие оказывают также огнетушащие порошки, подающиеся в виде аэрозоля в зону горения, где в реакцию с активными центрами вступают соли металлов, содержащиеся в порошке.

Следует отметить, что все ОТВ в основном оказывают комбинированное воздействие на процесс горения. Так, например, вода обладает разбавляющим, изолирующим и охлаждающим действием, пена – разбавляющим и изолирующим, огнетушащие порошки – ингибирующим и изолирующим, хладоны – ингибирующим и разбавляющим действием. Поэтому одно и то же ОТВ применяется для тушения разных классов пожаров. Но каждое ОТВ обладает одним доминирующим огнетушащим свойством, воздействующим на процесс горения (табл. 1) [18].

Т а б л и ц а 1

Доминирующие огнетушащие свойства ОТВ

Способ прекращения горения	Применяемые ОТВ
Охлаждение зоны горения и поверхности горящих веществ	Вода; вода со смачивателями и загустителями; водные растворы солей, твердый CO ₂ ; снег и др.
Разбавление реагирующих веществ в зоне горения	Негорючие газы (СО, N, дымовые газы); водяной пар; тонкораспыленная вода
Изоляция горящих веществ от зоны горения	Химическая и воздушно-механическая пены; огнетушащие порошковые составы; негорючие сыпучие вещества (песок, земля, шлаки и т. п.); листовые негорючие материалы и др.
Химическое торможение реакций горения	Галогеноуглеводороды (хладоны); огнетушащие порошковые составы

Выбор того или иного ОТВ для тушения пожара в защищаемом помещении в основном зависит от двух факторов: условий и характера развития пожара, а также от свойств и состояния горючих материалов.

Глава 2. ЖИДКИЕ ОГNETУШАЩИЕ ВЕЩЕСТВА

2.1. Вода и ее растворы

Вода, несомненно, была первым ОТВ, которое использовал человек. Еще во II в. до н. э. древнегреческий ученый Ктесибий из Александрии изобрел пожарный насос, а в городах стали создаваться специальные запасы воды для борьбы с пожарами. Вода и сегодня остается основным средством пожаротушения. Так, по статистическим данным и сегодня с помощью воды тушат около 80 % всех пожаров.

Вода – это и самое дешевое и самое доступное ОТВ. Она довольно эффективна при тушении большинства горючих материалов. При этом нетоксична, можно легко организовать подачу воды к месту возгорания и хранить воду в пожарных резервуарах длительное время.

Высокая удельная теплоемкость воды, равная 4181 Дж/(кг·град) при температуре 20 °С, придает воде значительные охлаждающие свойства. Испаряясь в очаге возгорания, вода забирает приблизительно 540 ккДж тепловой энергии от горящего вещества, снижая тем самым его температуру. При этом из 1 л воды образуется 1750 л сухого насыщенного пара, который вытесняет кислород из зоны горения.

Так как вода имеет низкую теплопроводность, она способствует созданию на поверхности горящего материала надежной тепловой изоляции, что позволяет использовать воду не только для тушения, но и для защиты материалов от воспламенения.

Еще одним важным свойством воды является ее способность растворять некоторые горючие жидкости. Так при тушении горящих спиртов, альдегидов, ацетона, органических кислот, вода разбавляет их концентрацию до уровня, когда горение данного вещества не происходит. Кроме горючих жидкостей, вода способна растворять некоторые газы и пары, а также поглощать аэрозоли.

Несомненным достоинством воды как ОТВ является и ее высокая термическая стойкость. Так, например, разложение воды на кислород и водород происходит при температуре 1700 °С. Столь высокая температура разложения позволяет применять ее при тушении большинства твердых материалов, так как большинство горючих материалов горит при температуре, не превышающей 1300–1500°. Однако некоторые материалы, например, металлический магний, титан и его сплавы, цинк, алюминий при горении создают температуру, превышающую термическую стойкость воды, и поэтому тушение их водой недопустимо. То, что тушение водой при высоких температурах невозможно, писал еще русский ученый С.П. Власов в 1815 г. в своей докладной записке «Новый метод тушения пожаров». Он первым отметил, что при температуре выше 2000 °С из-за разложения воды может возникнуть обратный эффект, так как возможно протекание реакции $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{H}_2 + \text{O}_2$, т. е. разложение воды на горючий газ водород и окислитель кислород.

Вода практически не вступает в химическую реакцию с абсолютным большинством горючих материалов. Исключение составляют металлы, разогретые до высокой температуры ($\text{Fe} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{FeO} + \text{H}_2$), а также щелочные и щелочноземельные металлы, при взаимодействии которых с водой выделяется большое количество водорода ($2\text{Na} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{NaOH} + \text{H}_2$). Поэтому некоторые вещества, например гидросульфат натрия, при взаимодействии с водой разлагаются и становятся способными к самовозгоранию и взрыву. Другие вещества, например негашеная известь, при взаимодействии с водой не выделяют горючих веществ ($\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca(OH)}_2$), но образовавшегося тепла может быть достаточно для воспламенения веществ, находящихся рядом. Перечень некоторых широко распространенных веществ и материалов, при тушении которых опасно применять воду, приведен в табл. 2.

Таблица 2

**Вещества и материалы, при тушении которых водой
возникает опасность**

Вещество, материал	Степень опасности
Азид свинца	Взрывается при увеличении влажности до 30 %
Алюминий, магний, цинк, цинковая пыль	При горении разлагают воду на кислород и водород
Битум	Подача компактных струй воды ведет к выбросу и усилению горения
Гидриды щелочных и щелочноземельных металлов	Реагируют с водой с выделением водорода, возможен взрыв

Окончание табл. 2

Вещество, материал	Степень опасности
Гидросульфит натрия	Самовозгорается и взрывается от действия воды
Гремучая ртуть	Взрывается от удара водяной струи
Железо кремнистое	Выделяется фосфористый водород, самовоспламеняющийся на воздухе
Калий, кальций, натрий, рубидий, цезий металлический	Реагируют с водой с выделением водорода, возможен взрыв
Кальций и натрий (фосфористые)	Выделяется фосфористый водород, самовоспламеняющийся на воздухе
Калий и натрий (перекиси)	При попадании воды возможен взрывообразный выброс с усилением горения
Карбиды алюминия, бария и кальция	Разлагаются с выделением горючих газов, возможен взрыв
Карбиды щелочных металлов	При контакте с водой взрываются
Магний и его сплавы	При горении разлагают воду на водород и кислород
Натрий сернистый и гидросернистый	Сильно разогревается (свыше 400 °С), может вызвать возгорание горючих веществ, а также ожог при попадании на кожу, сопровождающийся трудно заживающими язвами
Негашеная известь	Реагирует с водой с выделением большого количества тепла
Нитроглицерин	Взрывается от удара струи воды
Селитра	Подача струи воды в расплав ведет к сильному взрывообразному выбросу и усилению горения
Серный ангидрид	При попадании воды возможен взрывообразный выброс
Термит, титан и его сплавы, титан четыреххлористый	Реагируют с водой с выделением большого количества теплоты, разлагают воду на кислород и водород

За счет относительно большой плотности (1 г/см^3 при температуре 4 °C и $0,958 \text{ г/см}^3$ при 100 °C) и, соответственно, своего довольно высокого удельного веса, вода также не применяется при тушении более легких горючих жидкостей, например, нефтепродуктов, всплывающих на ее поверхности и продолжающих горение.

Кроме того, вода обладает большой силой поверхностного натяжения, достигающей $72,8 \cdot 10^3$ Дж/м², и поэтому не может проникнуть внутрь спрессованных материалов, таких как пыль, хлопок, торф, и прекратить их тление. Также вода имеет сравнительно высокую температуру замерзания. И, наконец, даже самые современные установки водяного пожаротушения позволяют использовать непосредственно для пожаротушения только 5–10 % поданной воды. Остальной объем воды, т. е. 90–95 %, можно считать пролитым напрасно. Очень часто ущерб от этой напрасно пролитой воды составляет значительные суммы и даже может превысить ущерб от самого пожара.

Некоторые недостатки воды можно существенно уменьшить. Например, известно, что при тушении горящего материала водой основные процессы происходят на границе раздела фаз, куда и попадают образующиеся капли воды. Тушение происходит в результате того, что данные капли вбирают в себя тепло от горячей поверхности. Количество теплоты, поглощенной одной каплей при контакте с горячей поверхностью Q , можно определить из уравнения [20]:

$$Q = \alpha(t_n - t_k)F\tau, \quad (2.1)$$

где α – коэффициент теплопередачи;

t_n , t_k – начальная и конечная температура капли;

F – площадь контакта капли с поверхностью;

τ – время контакта.

Анализ данного уравнения показывает, что для увеличения количества теплоты, отбираемой с горячей поверхности каплей воды, необходимо увеличить либо площадь контакта капли с поверхностью, либо время этого контакта. Площадь контакта зависит только от дисперсности воды и смачиваемости поверхности, т. е. от межмолекулярного взаимодействия жидкости и твердой поверхности при их контакте. Поэтому для снижения поверхностного натяжения и повышения проникающей способности воды применяются поверхностно-активные смачиватели, которые добавляются в воду в количестве от 0,2 до 7 % от общего объема раствора. Смачиватели представляют из себя поверхностно-активные вещества (ПАВ), синтезированные, как правило, на белковой или синтетической основе. Добавка смачивателей существенно снижает поверхностное натяжение воды на границе раздела с воздухом и этим обеспечивает эластичность водных пленок в течение длительного времени. Снижение поверхностного натяжения воды происходит за счет самопроизвольного концентрирования молекул ПАВ

на поверхности. При этом молекулы ПАВ ориентируются углеводородными гидрофобными концами к воздуху, а полярными гидрофильными – к воде. Поэтому поверхность становится как бы углеводородной, имеющей более низкое поверхностное натяжение.

Склонность молекул ПАВ к адсорбции, т. е. к увеличению концентрации растворенного вещества у поверхности раздела двух фаз, объясняется тем, что в одной молекуле имеются две части, различные по растворимости в воде: гидрофобная или углеводородная часть и гидрофильная часть, представляющая собой солевой остаток кислоты.

Все ПАВ, в зависимости от заряда, который приобретает поверхность воды при адсорбции молекул, делятся на четыре группы:

- анионные, придающие поверхности отрицательный заряд (натриевая соль карбоновой кислоты);
- катионные, заряжающие поверхность положительно (четвертичные аммониевые соли);
- неионогенные, практически не влияющие на заряд поверхности (оксиэтилированный бутилфенол);
- амфолитные, заряжающие поверхность в зависимости от кислотности среды (рН), в кислой среде – положительно, а в щелочной – отрицательно (карбоксібетаин).

При этом независимо от группы поверхностное натяжение водных растворов смачивателя не должно превышать 37 МДж/м^2 (у чистой воды 72 МДж/м^2) [20].

Применение смачивателей позволяет тушить волокнистые материалы, а также торф и сажу. При этом расход воды уменьшается в 2–2,5 раза и сокращается время тушения пожара на 20–30 %. На сегодняшний день наибольшее распространение получили такие смачиватели как пенообразователи ПО-1 и ПО-2. Основные виды смачивателей и их оптимальная концентрация показаны в табл. 3. Но и смачиватели имеют свой существенный недостаток – они агрессивны и вызывают повышенную коррозионность материалов.

Теплоемкость воды можно повысить за счет добавления растворов солей, например, каустической соли, сернокислого аммония, соли хлористого кальция и др. Такие водные растворы солей широко применяются для тушения лесных и степных пожаров. Они не только имеют повышенную теплоемкость, но и образуют после испарения пленку из солей, предотвращающую повторное возгорание от искр и угольков.

На основе фторсодержащих ПАВ была разработана так называемая «легкая вода», обладающая двойным эффектом: охлаждающего дей-

ствия и поверхностного тушения за счет образования пленки, препятствующей испарению жидкости.

Т а б л и ц а 3

Оптимальные концентрации смачивателей

Смачиватель	Оптимальная концентрация, %, к воде	По массовому содержанию
Смачиватель ДБ	0,2–0,25	0,002–0,0025
Сульфанол: НП-1, НП-5	0,3–0,5	0,003–0,005
Эмульгатор ОП-4	1,95–2,1	0,0195–0,021
ОП-7, ОП-8	1,5–2,0	0,015–0,02
Пенообразователь ПО-1	3,5–4,0	0,035–0,04
Пенообразователь ПО-1Д	6,0–6,5	0,06–0,065

Иногда на практике необходимо, наоборот, повысить вязкость воды. Это достигается в результате применения загустителей, в качестве которых применяют водорастворимые высокомолекулярные соединения, например карбоксиметилцеллюлозу. Вода, обработанная такими загустителями, называется «вязкой водой» и образует пленку, прилипающую к поверхности горящего материала. Благодаря данной пленке вязкая вода удерживается на поверхности гораздо дольше, чем обычная, увеличивая тем самым время контакта воды и горящего материала. Но вода с загустителями не проникает вглубь материала и, кроме этого, образует скользкую поверхность, что может вызвать проблемы для пожарных.

При добавках к воде небольшого количества полиэтиленоксида и полиакриламида можно снизить ее гидравлическое сопротивление на 50–70 % за счет уменьшения вязкости и потерь на трение в пожарных рукавах. Вода с такими добавками получила название «скользящая вода», и ее применение позволяет увеличить дальность подачи водяной струи. Механизм воздействия добавок основан на том, что полимеры при растворении образуют псевдожесткие структуры, вытянутые по ходу потока и препятствующие его перемешиванию [20].

Огнетушащая эффективность воды и ее растворов при тушении пожаров зависит не только от применения определенных добавок, но и от способа ее подачи в очаг пожара. Обычно вода применяется в виде либо сплошных, либо тонкораспыленных струй.

Сплошные струи воды применяют для механического отрыва пламени и для охлаждения соседних объектов, находящихся в непо-

средственной близости от пожара. В зависимости от напора и расхода воды радиус действия компактной струи может достигать 30 м и более. К достоинствам можно также отнести и маневренность струи. Недостатком сплошной струи является короткое время контакта воды с зоной горения, что резко снижает коэффициент использования ее теплоемкости. Кроме того, при тушении сплошной струей возникает опасность образования смесей, имеющих взрывоопасную концентрацию, при попадании струи на слои горючей пыли. Мощная струя может также травмировать людей, нанести механические повреждения оборудованию. Тушение пожара с помощью сплошной струи показано на рис. 1.



Рис. 1. Использование сплошной струи при тушении гаража

Механизм прекращения горения и эффективность применения сплошных струй проще всего объяснить на примере тушения древесины. Под воздействием тепла, выделяющегося в зоне горения древесины, на ее поверхности образуется слой угля, температура которого составляет 600–700 °С. При подаче воды в зону горения происходит охлаждение наиболее горячего верхнего слоя угля и всей зоны реакции за счет значительной разницы температур угля и воды. Кроме того, вода, испаряясь, разбавляет и охлаждает газы и пары в зоне горения, а также, растекаясь по поверхности угля, изолирует древесину от лучистого тепла и препятствует выходу паров и газов в зону горения. Как мы видим, вода оказывает охлаждающее, изолирующее и разбавляю-

щее действие, но к прекращению горения приводит доминирующее охлаждающее свойство воды.

Тонкораспыленная струя получается с помощью насосов, создающих давление свыше 2–3 МПа, и специальных стволов распылителей. Состоит струя из капель размером менее 100 мкм, имеющих небольшую ударную силу и дальность полета. Но эти капли создают плотную завесу над горящей поверхностью, которая резко ограничивает поступление кислорода к зоне горения. Пар, образованный при испарении капель воды, разбавляет кислород, и таким образом создаются условия, при которых горение невозможно. Тушение более крупными каплями, т. е. большими, чем 100 мкм, происходит за счет охлаждения горящего вещества. В этом случае капли не успевают испариться в объеме пламени и оказывают в основном охлаждающее действие.

Эффект тушения тонкораспыленной водой также зависит и от плотности струи по ее сечению, т. е. от количества воды, поступающей за единицу времени на единицу поверхности горящего вещества. Эксперименты показывают, что наибольшая плотность воды оказывается в пределах круга сечением не более чем 0,5 м. На большем расстоянии от оси струи плотность распыленной воды резко уменьшается [3].

Существенную роль в повышении эффективности тушения тонкораспыленной струей играет и расположение распылителя относительно зоны горения. Эксперименты показали, что расположение распылителя выше верхней точки пламени нецелесообразно. В этом случае большинство капель размером менее 100 мкм испаряется в потоке горячих продуктов горения, выходящих из пламени, и уносятся в атмосферу в виде пара. Естественно, что эффективность тушения тонкораспыленной струей при этом резко уменьшается. Более целесообразно размещать распылитель в верхней точке пламени, причем так, чтобы струя входила непосредственно в объем пламени, где и будет происходить испарение воды. Следует учесть, что при этом в самом начале тушения высота пламени резко увеличивается, а только затем уменьшается и гаснет [3].

Таким образом, время тушения тонкораспыленной водой в основном зависит от дисперсности капель, от давления и расхода воды в распылителях и положения распылителя относительно факела пламени. При тушении нефтепродуктов и других горючих жидкостей в резервуарах время тушения зависит еще и от уровня горючего в данном резервуаре. Эксперименты показали, что тушение жидкостей тонкораспыленной водой в резервуарах большого диаметра возможно только

тогда, когда минимальная высота свободного борта резервуара $h_{\text{мин}}$ составляет 0,15 от диаметра резервуара, т. е.

$$h_{\text{мин}} \geq 0,15D,$$

где D – диаметр резервуара.

С увеличением расстояния от верхнего края резервуара до уровня жидкости время тушения значительно уменьшается. Причиной здесь является охлаждение тонкораспыленной струей нагретых стенок резервуара, что и приводит к ускорению процесса тушения горячей жидкости [3].

При тушении резервуаров с нефтепродуктами необходимо учитывать и то, что тушение, например прогревшегося бензина или нефти, связано с возможностью их вскипания и даже с переливом их через борт резервуара. Поэтому тушение нефтепродуктов тонкораспыленной струей должно обязательно сопровождаться охлаждением стенок резервуара, расположенных ниже уровня жидкости, и по возможности снижением уровня жидкости (сливом ее из резервуара в специальные приемники).

В целом тушение тонкораспыленной струей является одним из наиболее эффективных способов тушения пожаров. Тонкораспыленные струи позволяют орошать значительную поверхность, имеют повышенный охлаждающий эффект и более благоприятны к испарению воды. Несомненным преимуществом тонкораспыленных струй над сплошными струями является и то, что при применении распыленной воды не происходит излишнего увлажнения защищаемых материалов, а это значительно уменьшает возможность возникновения их коррозии. И, наконец, тонкораспыленные струи способствуют осаждению частиц дыма, что упрощает эвакуацию людей и проведение самого тушения пожара. Но при тушении пожара данным способом необходимо учитывать, что, например, при тушении древесины в случае переноса струи воды в другое место от очага пожара верхний слой угля довольно быстро высыхает, следовательно, разложение древесины продолжается, и горение возникает вновь. Поэтому охлаждение поверхности даже потушенного пожара должно продолжаться и после того, как гаснет пламя. Применение тонкораспыленной воды при тушении из пожарного модуля показано на рис. 2.

Водяной пар применяется при наружном тушении технологических установок химической и нефтеперерабатывающей промышленности, а также для пожаротушения в достаточно герметичных помеще-

ниях, объемом не более 500 м^3 , например, в топливных цистернах, сушильных камерах, трюмах судов. Впервые теоретические основы данного способа тушения были обоснованы в работах русского инженера М. Колесника-Кулевича еще в середине XIX в. и в 1900 г. воплощены на практике инженером И.А. Вермишевым.



Рис. 2. Тушение тонкораспыленной струей

Водяной пар эффективен при тушении жидких, твердых и газообразных веществ. Огнетушащая способность водяного пара основана на том, что пар, введенный в помещение, уменьшает концентрацию кислорода в защищаемом объеме до 12–15 %. Этого вполне достаточно, чтобы горение большинства горючих веществ прекратилось. Кроме того, пар способен охлаждать зону горения, не вызывая резких температурных напряжений на нагретых до высоких температур конструкциях и оборудовании. Возможен также и механический срыв пламени компактными струями пара.

Но тушение паром эффективно только в том случае, если ограждающие конструкции и оборудование нагреты выше температуры конденсации пара при атмосферном давлении. В противном случае, т. е. при более низких температурах, происходит интенсивная конденсация пара, и пожар может быть не потушен. Поэтому при расчетах расход пара должен приниматься с учетом возможной конденсации в зависимости от герметичности защищаемого помещения. В целом огнетушащая способность пара невысока, при плотности пара $0,598 \text{ кг/м}^3$ он

имеет слабую теплоемкость и соответственно малый охлаждающий эффект. Огнетушащая концентрация пара составляет 35 % от объема помещения. Кроме низкой эффективности к недостаткам водяного пара можно отнести возможность получения ожогов людьми, находящимися в зоне действия установок по производству пара [1].

Применение водяного пара для механического отрыва пламени показано на рис. 3.



Рис. 3. Механический отрыв пламени струей водяного пара

Обычно для подачи пара в защищаемый объем используются перфорированные трубы с выпускающими отверстиями диаметром 4–5 мм, проложенные по всему периметру помещения на высоте 20–30 см от пола. При этом отверстия располагаются так, чтобы все струи пара были направлены внутрь помещения. Интенсивность подачи пара рассчитывается такой, чтобы время полной ликвидации горения не превышало трех минут.

Для паровой защиты используется либо насыщенный, либо перегретый пар технологического назначения от паропроводной сети объекта. Насыщенный пар, находящийся в термодинамическом равновесии с водой и конденсирующийся при понижении температуры, наиболее эффективен при внутреннем пожаротушении. Перегретый пар, т. е. пар, нагретый до температуры, превышающей температуру кипения при данном давлении, имеет большую температуру и больший удельный объем, чем насыщенный, и поэтому применяется только для создания противопожарных паровых завес. Паровые завесы предназначены для исключения контакта горючих газовых смесей, которые

могут образоваться в результате аварии, с источниками зажигания, например с нагревательными приборами, и являются очень эффективным способом предотвращения пожара. Завесы могут быть выполнены в двух вариантах:

- непрерывная отражающая завеса для защиты с одной или нескольких сторон от защищаемого объекта (рис. 4);
- локальная завеса для защиты отдельных элементов или зон, которые опасны как источники зажигания.

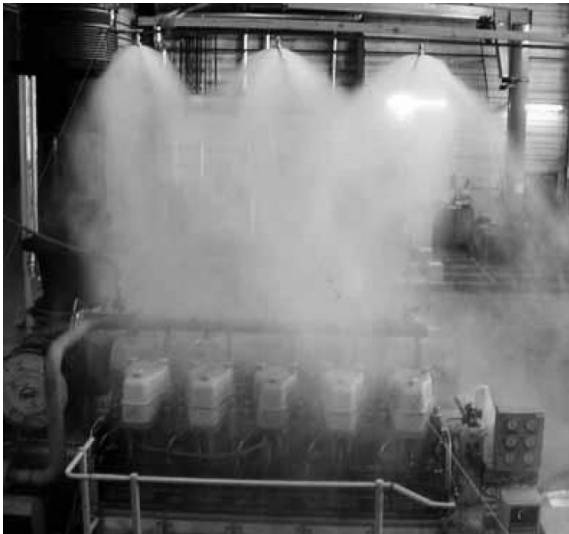


Рис. 4. Противопожарная паровая завеса

Устраиваются паровые завесы в тех случаях, когда расстояние от оборудования, опасного по выбросу горючих газов или паров, до источника зажигания не превышает 100 м. Опасным по выбросу считается оборудование с горючими веществами, содержащимися под избыточным давлением, а также нагретыми выше температуры самовоспламенения или выше нормальной температуры кипения. Включение противопожарной паровой завесы происходит в следующих случаях:

- при визуальном обнаружении утечки горючих жидкостей, паров или газов из оборудования;
- при поступлении сигнала от приборов контроля на источнике зажигания о поступлении из воздуха парогазовоздушной смеси;

- при поступлении сигнала от газоанализатора, установленного на опасном оборудовании, о возникновении парогазовоздушной смеси;
- при сообщениях об аварийной загазованности на соседних технологических участках.

Для исключения проникновения горючих газов в защищаемую зону завесы должны обладать достаточной плотностью. Поэтому устройство для создания паровой завесы обычно представляет собой кольцевой коллектор, вдоль оси которого на равном расстоянии друг от друга просверлены отверстия одинакового диаметра. Выпускные отверстия располагаются так, чтобы направление струй пара составляло 45° к горизонтальной плоскости. Если высота защищаемой зоны превышает 10 м, может быть устроена двухъярусная завеса, перекрывающая всю высоту.

Давление в паропроводе должно быть равным 0,2 МПа, в этом случае скорость истечения пара составляет 200 м/с при удельном расходе пара 0,0001 кг/с на 1 мм² выпускного отверстия.

2.2. Расчет сил и средств при тушении пожаров водой

Методика расчета противопожарного водоснабжения

Запасы воды, необходимые для тушения пожара, можно легко определить по формуле

$$Q = 3,6qt_n n, \quad (2.3)$$

где q – удельный расход воды на внутреннее и внешнее пожаротушение, л/с;

t_n – расчетная продолжительность пожара, ч;

n – количество одновременных пожаров, принимаемое в зависимости от местности и площади застройки.

Удельный расход воды на пожаротушение q зависит от объема защищаемого объекта, а также от категории зданий и помещений по пожарной опасности и степени их огнестойкости. Нормативные значения расхода воды приведены в табл. 4 [14].

Расчетная продолжительность пожара t_n обычно принимается равной 3 ч, также ее можно определить и по формуле

$$t_n = N / v, \quad (2.4)$$

где N – количество горючего вещества или материала, находящегося в защищаемом помещении, кг/м³;

v – скорость выгорания вещества, принимаемая по справочным данным, кг/м³·ч.

Таблица 4

Расход воды на пожаротушение

Степень огнестойкости здания	Категория производства	Расход воды q (л/с) при объеме зданий, тыс. м ³				
		до 3	3–5	5–20	20–50	50–200
I и II	Г, Д	5	5	10	10	15
I и II	А, Б, В	10	10	15	20	30
III	Г, Д	10	10	15	25	–
III	В	10	15	20	30	–
IV и V	Г, Д	10	15	20	30	–
IV и V	В	15	20	20	40	–

Количество одновременных пожаров n для промышленных предприятий принимается равным 1, если площадь предприятия менее 150 га, и 2, если его площадь превышает 150 га. Расчетное количество пожаров на территории складов лесоматериалов принимается из расчета: один пожар – при площади территории склада до 50 га, свыше 50 га – два пожара. Изменяется расчетное количество пожаров и от количества жителей в поселении (табл. 5) [14].

Таблица 5

Расчетное количество одновременных пожаров в зависимости от числа жителей в поселении

Число жителей в поселении, тыс. чел	Расчетное количество одновременных пожаров
Не более одного	1
Более одного, но не более 5	1
Более 5, но не более 10	1
Более 10, но не более 25	2
Более 25, но не более 50	2
Более 50, но не более 100	2
Более 100, но не более 200	3
Более 200, но не более 300	3
Более 300, но не более 400	3

Число жителей в поселении, тыс. чел	Расчетное количество одновременных пожаров
Более 400, но не более 500	3
Более 500, но не более 600	3
Более 600, но не более 700	3
Более 700, но не более 800	3
Более 800, но не более 1000	3
Более 1000	5

Определение требуемого расхода воды на тушение и защиту

Требуемый расход воды для тушения твердых горючих материалов в зависимости от обстановки на пожаре определяется по формулам:

$$Q_{\text{тр}}^{\text{T}} = S_{\text{п}} I_{\text{тр}}; \quad (2.5)$$

$$Q_{\text{тр}}^{\text{лок}} = S_{\text{T}} I_{\text{тр}}, \quad (2.6)$$

где $Q_{\text{тр}}^{\text{T}}$ – требуемый расход воды на непосредственное тушение, л/с;

$Q_{\text{тр}}^{\text{лок}}$ – требуемый расход воды на локализацию пожара, л/с;

$S_{\text{п}}$ – площадь пожара, м²;

S_{T} – площадь тушения, м²;

$I_{\text{тр}}$ – требуемая интенсивность подачи воды.

Обычно при тушении пожара требуется защищать объекты, расположенные вблизи очага возгорания. В этом случае для защиты необходимо использовать дополнительные один-два ствола с расходом воды от 3,5 до 7,0 л/с. Расходы ОТВ на защиту определяют по площади, на которой возможно распространение пожара, или по периметру защищаемого объекта. Интенсивность подачи ОТВ при этом обычно принимают в 2–3 раза меньшую, чем интенсивность подачи на непосредственное тушение [19].

Определение требуемого количества стволов и отделений

Количество пожарных стволов, необходимых для подачи воды во время тушения $N_{\text{ст}}^{\text{T}}$ и для защиты соседних объектов $N_{\text{ст}}^3$, определяется по формулам:

$$N_{\text{ст}}^{\text{T}} = \frac{Q_{\text{тр}}^{\text{T}}}{q_{\text{ст}}}; \quad (2.7)$$

$$N_{\text{ст}}^3 = \frac{Q_{\text{тр}}^3}{q_{\text{ст}}}, \quad (2.8)$$

где $Q_{\text{тр}}^{\text{T}}$ – расход воды на тушение, л/с;

$Q_{\text{тр}}^3$ – расход воды на защиту, л/с;

$q_{\text{ст}}$ – расход воды одного пожарного ствола, л/с.

Количество отделений $N_{\text{отд}}$, необходимых для тушения данного пожара, определяется как по тактическим возможностям боевых расчетов пожарного депо, так и по формулам

$$N_{\text{отд}} = \frac{Q_{\text{тр}}}{Q_{\text{отд}}} \quad (2.9)$$

или

$$N_{\text{отд}} = \frac{N_{\text{ст}}}{N_{\text{ст.отд}}}, \quad (2.10)$$

где $Q_{\text{тр}}$ – требуемый расход воды, л/с;

$Q_{\text{отд}}$ – расход воды, который может подать одно отделение, л/с;

$N_{\text{ст}}$ – требуемое на тушение количество стволов;

$N_{\text{ст.отд}}$ – количество стволов, которое может подать одно отделение.

Практикой доказано, что каждое отделение должно подавать на тушение и на защиту 14–20 л/с. Эти цифры и принимаются за средние величины при решении задач пожаротушения [19].

Расчет противопожарной паровой завесы

Расход пара, необходимый для создания паровой завесы $Q_{\text{п}}$, рассчитывается по формуле

$$Q_{\text{п}} = f_d n \cdot 10^{-4}, \quad (2.11)$$

где f_d – площадь сечения выпускного диаметра, мм²;

n – количество отверстий в паропроводе.

Площадь сечения отверстий выбирается в зависимости от диаметра данного отверстия (табл. 6) [22].

Т а б л и ц а 6

**Зависимость площади сечения выпускного отверстия
от его диаметра**

$d, \text{мм}$	3	4	5	6	7	8	9	10
$f_d, \text{мм}^2$	7,0	12,4	19,4	27,9	38,0	49,6	62,7	78,5

Диаметр выпускного отверстия рассчитывается в зависимости от высоты завесы по формуле

$$d = 0,001H, \quad (2.12)$$

где H – высота завесы, мм.

Расстояние между выпускными отверстиями l вычисляется из выражения

$$l = 50d. \quad (2.13)$$

Количество выпускных отверстий на паропроводе определяется по формуле

$$n = \frac{L}{l} + 1, \quad (2.14)$$

где L – длина паропровода, м или мм.

Диаметр самого паропровода в миллиметрах можно определить из выражения

$$d_{\text{пар}} = 2\sqrt{f_d n}. \quad (2.15)$$

2.3. Огнетушащие пены

Пена – ОТВ, представляющее собой дисперсную систему, состоящую из пузырьков воздуха (газа), разделенных пленками, и жидкости, содержащей стабилизатор пены. Пузырьки образуются в результате смешивания воды и пенообразователя. Это довольно эффективное средство поверхностного огнетушения, предназначенное для тушения

пожаров жидких и твердых веществ. Благодаря своей малой плотности ($0,1-0,2 \text{ г/см}^3$) пена растекается по поверхности жидкости, изолируя ее от пламени. Пример тушения пеной железнодорожных цистерн показан на рис. 5.



Рис. 5. Тушение пожара с помощью пены

Впервые пена как ОТВ была предложена учителем физики из Баку А.Г. Лораном, который попробовал тушить горящую нефть пивной пеной. Затем он изменил ее химический состав и добился устойчивости пены при покрытии зеркала горячей жидкости. В 1904 г. Лоран сделал доклад о получении огнетушащей пены в Русском химическом обществе и в этом же году изобрел первый ручной пенный огнетушитель. В состав пены входили альбумин, серная кислота и поташ K_2CO_3 , и данный состав в честь изобретателя был назван «лорантином» [20].

Механизм тушения пламени пенами состоит в следующем. Пена, попадая на поверхность горящего вещества, например горячей жидкости, растекается, покрывает ее ровным слоем и начинает разрушаться. Скорость разрушения пены в первую очередь зависит от структуры горячей жидкости и от температуры ее верхнего слоя, при этом скорость разрушения пены тем больше, чем ниже температура кипения жидкости. В результате разрушения пены образуется раствор, который в виде капель опускается на дно емкости. Так как температура пены значительно ниже температуры горячей жидкости, то образовавшийся раствор осуществляет охлаждение горячей жидкости. А это в свою очередь приводит к снижению скорости разрушения пены. При сниже-

нии температуры верхнего слоя горячей жидкости до 60 °С скорость разрушения пены снижается настолько, что на поверхности из пены образуется изолирующий слой, не пропускающий пары горючей жидкости в зону горения. Скорость диффузии паров горячей жидкости сквозь пленку пены очень мала, но при определенных условиях, например, когда температура верхнего слоя жидкости близка к температуре кипения, сопротивляемость пены прорыву паров довольно низка, и пары прорываются через изолирующий слой. Поэтому при тушении пожара пеной рекомендуется использовать комбинированный способ тушения. Первоначально горящую поверхность необходимо охладить тонкораспыленной водой, а уже затем покрывать пеной.

В целом огнетушащий эффект пены обусловлен созданием сплошного слоя на поверхности горящих материалов, не позволяющего горючим газам или парам выходить за пределы поверхности, а кислороду – проникать в область горения. Кроме того, вода, входящая в состав раствора, оказывает на горящий материал охлаждающее действие. Прежде чем накопиться над горячей поверхностью достаточным слоем, препятствующим выходу горючих газов и паров из горючего материала в зону реакции, пена под действием тепла разрушается и охлаждает горящее вещество. Жидкость, из которой получена пена, испаряется, разбавляя горючие газы и пары, что также способствует прекращению горения. Но доминирующим огнетушащим свойством пены является ее изолирующая способность.

Основными характеристиками пены являются:

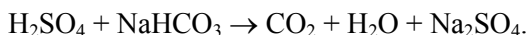
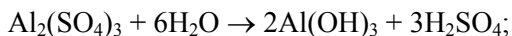
- *стойкость* – способность пены противостоять разрушению в течение определенного времени;
- *кратность* – отношение объема пены к объему воды и пенообразователя;
- *вязкость* – способность пены к растеканию по поверхности;
- *дисперсность* – размеры пузырьков;
- *электропроводность* – способность пены проводить электрический ток.

Идеальная пена должна быстро и легко покрывать горящую поверхность, надежно на ней удерживаться, создавая непроницаемый слой в течение определенного времени. При этом пена должна быть легкой, чтобы плавать на поверхности горячей жидкости, и одновременно достаточно тяжелой, чтобы ее не сдувало ветром. Обычно качество пены определяется временем разрушения 25 % ее объема, а также способностью выдерживать температуру пламени и своим относитель-

ным расширением. Все эти качества обусловлены химическим составом пенообразователя, температурой и давлением воды.

Существуют два основных вида пены: воздушно-механическая и химическая, каждая из которых имеет свои достоинства и недостатки.

Химическая пена образуется в результате смешивания кислоты (обычно сульфата алюминия $Al_2(SO_4)_3$) и щелочи (как правило, гидрокарбоната натрия $NaHCO_3$), входящих в состав пенообразователя. При этом сульфат алюминия подвергается гидролизу с образованием серной кислоты, которая и реагирует с содой, образуя пузырьки углекислого газа. Упрощенно этот процесс можно представить уравнениями [20]:



Химическая пена состоит из 80 % углекислого газа, 19,7 % воды и 0,3 % пенообразующего вещества. Пузырьки углекислого газа образуются в результате реакции нейтрализации при взаимодействии пенообразователя с водой и обычно в 7–16 раз по своему объему превышают первоначальный объем воды. При этом углекислый газ практически не обладает никакой огнетушащей способностью, он только заставляет пузырьки всплывать. В результате образуется слой устойчивой пены толщиной 7–10 см со стойкостью не менее часа. Основными недостатками химической пены являются ее сравнительно высокая стоимость и высокая химическая активность, вызывающая коррозию защищаемых материалов.

Воздушно-механическая пена представляет собой механическую смесь воздуха, воды и пенообразователя, снижающего поверхностное натяжение воды. Обычно воздушно-механическая пена содержит около 90 % воздуха и 1 % водного раствора пенообразователя, либо 99 % воздуха, 1 % воды и 0,04 % пенообразователя. Пузырьки пены возникают в результате турбулентного перемешивания воздуха с пенным раствором и заполнены воздухом. Поэтому качество пены обуславливается не только составом пенообразователя, но и степенью ее перемешивания.

Существует несколько одинаковых по природе типов воздушно-механической пены. Состав ее пенообразователя основан на протеине и поверхностно-активных веществах (ПАВ). Так как ПАВ – это довольно большая группа веществ, то и пены, включающие в свою основу различные виды ПАВ, отличаются друг от друга по своей эффективности. Рассмотрим основные виды воздушно-механической пены.

Пена на протеиновой основе. Один из первых типов воздушно-механической пены, разработанный еще в годы Второй мировой войны. Пена производится из растительных и животных отходов, богатых протеином. Эти отходы в результате химической реакции гидролиза образуют слабую кислоту. Добавки минеральных солей делают пену термически устойчивой, а добавление специальных присадок в виде этанола или этиленгликоля делает возможным образование пены при низких температурах до $-23\text{ }^{\circ}\text{C}$. Несомненным достоинством данной пены является возможность ее образования при добавлении пенообразователя к воде любого типа, кроме воды, загрязненной нефтепродуктами. Существенный недостаток – несовместимость с огнетушащими порошками. Предназначена протеиновая пена в первую очередь для тушения углеводородов.

Пена на фторпротеиновой основе. Отличается от пены на протеиновой основе только добавкой фторированного вещества, что позволяет успешно применять ее совместно с огнетушащими порошками. Фторпротеиновые пенообразователи состоят из гидролизованных и стабилизированных белков с органическими фторированными поверхностно-активными веществами, что позволяет получать пену, устойчивую к загрязнению углеводородами. Основными достоинствами фторпротеиновой пены являются повышенная огнетушащая способность и высокая сопротивляемость к повторному воспламенению даже при наличии раскаленных металлических предметов в зоне горения.

Пена для тушения спиртов. Также аналогична пене на протеиновой основе, но дополнительно смешивается с нерастворимым мылом, что позволяет применять ее для тушения спиртов, эфиров, альдегидов и кетонов, т. е. растворимых в воде легковоспламеняющихся органических жидкостей.

Синтетическая пена. Получается из солей алкилсульфокислоты. Хотя данная пена гораздо менее устойчива к температуре пламени, чем другие протеиновые пены, но для ее получения требуется гораздо меньше воды, что очень важно, когда запас воды ограничен.

Пена «легкая вода». Изготавливается из ПАВ, имеющих в своем составе как полярные молекулы (растворимые в воде) так и неполярные (нерастворимые в воде, но растворимые в масле). При распылении над поверхностью горящей жидкости неполярные молекулы растворяются в самом горючем веществе, а полярные увлекают за собой воду под поверхность топлива на дно емкости. В результате на поверхности нерастворимых в воде жидкостей, таких как керосин, бензин, реактив-

ное топливо, образуется тончайшая водяная пленка, толщиной менее 0,03 мм. Хотя пленка и тяжелее горящего топлива, она удерживается на его поверхности за счет своего большого поверхностного натяжения. Основным достоинством пены данного типа является то, что она способна покрывать пленкой гораздо большую площадь поверхности, чем другие типы пены. Кроме того, вода с полярными молекулами проникает внутрь горючего вещества, снижая его температуру и увеличивая тушащий эффект. Недостаток пены – пленка, образующаяся на поверхности, неустойчива к механическим воздействиям и при перемешивании или волнении горячей жидкости может разрушиться.

Низкотемпературная пена. В условиях нашего климата пенообразователи зачастую хранятся при отрицательных температурах. Поэтому большинство пенообразователей снабжаются добавками, обеспечивающими их защиту при хранении и использовании до температуры $-6,7^{\circ}\text{C}$. Естественно, что температура воды, используемая для перемешивания с пенообразователем, должна быть выше 0°C .

Сравнить огнетушащие свойства некоторых видов пены можно по данным из табл. 7, где цифре 1 соответствует характеристика «слабая», 2 – «средняя», 3 – «хорошая», 4 – «отличная».

Т а б л и ц а 7

Огнетушащие свойства различных видов пены

Показатели	Протеиновая пена	Синтетическая пена	Фторпротеиновая пена	Пена «легкая вода»
Скорость тушения	1	3	3	4
Сопrotивляемость к повторному возгоранию	4	1	4	3
Устойчивость к углеводородам	1	1	3	4

По своей кратности все виды и типы пены подразделяются на пены низкой, средней и высокой кратности с отношением объема пены к объему воды и пенообразователя 10:1, 50:1, 150:1 и 1000:1 соответственно. Выбор кратности пены зависит от химического состава пенообразователя, от условий тушения объекта, а также от типа огнетушащего ствола.

Низкократная пена используется для тушения нефтепродуктов и других горючих жидкостей. Хотя она в 2–3 раза менее эффективна, чем пена средней кратности из того же пенообразователя, пена низкой кратности обладает несомненным достоинством – дальность ее струи из пожарного ствола в 2–2,5 раза больше по сравнению со струей из средnekратной пены. К тому же только применение низкократной пены позволяет осуществлять подслоный способ тушения пожара углеводородного топлива в резервуаре. Повысить эффективность пены низкой кратности позволяет применение пленкообразующих фторсодержащих пенообразователей.

Средnekратная пена из углеводородных пенообразователей также используется в основном для тушения нефтепродуктов и других горючих жидкостей. Например, пена на основе ПО-1С применяется для тушения этилового спирта и эффективна при разбавлении его водой в емкости до 70 %, а при использовании ПО-1, ПО-1Д, ПО-2А, ПО-3А, ПО-6К и других – до 50 %.

Средnekратную пену также можно использовать не только для поверхностного, но и для объемного тушения пожаров транспортных средств, в подвалах, кабельных каналах, в небольших по объему помещениях, на чердаках и т. п. Пена средней кратности повышенной устойчивости успешно применяется и при прокладке пенной аварийной посадочной полосы на аэродроме.

Высокократная пена предназначена для тушения пожаров в ограниченных объемах и помещениях. В отличие от пены низкой и средней кратности, создающих над горящей поверхностью слой в несколько сантиметров толщиной, является объемной. Более легкая по весу, чем вода и нефтепродукты, но тяжелее воздуха, она способна стекать и заполнять любой объем, вытесняя из него воздух, т. е. прекращая доступ кислорода. Так как любая пена в своей основе имеет воду, то она эффективно поглощает теплоту и охлаждает горящее вещество. Если при этом вода поглотила достаточное количество тепла для того, чтобы превратиться в пар, то этот пар дополнительно вытесняет кислород и также способствует прекращению горения.

Высокократная пена успешно применяется при тушении пожаров классов А и В, при этом тушение пожаров класса А обеспечивается в основном охлаждающей способностью пены, а тушение пожаров класса В – эффектом объемного тушения. Считается, что пожар класса А полностью взят под контроль, если пена покрыла всю поверхность горящего материала, но для полной ликвидации пожара подача пены

должна продолжаться для пополнения количества воды, израсходованной на парообразование.

Достоинства пены

1. Высокая эффективность при тушении пожаров класса А и В.
2. Пена препятствует выходу воспламеняющихся паров жидкости наружу, тем самым защищая от возгорания соседние емкости.
3. На сегодняшний день пена является наиболее эффективным ОТВ при тушении растекающихся нефтепродуктов на больших площадях.
4. Пена устойчива и не склонна к разрушению.
5. Хорошо удерживается на горячей поверхности.
6. Обеспечивает экономный расход воды.
7. Пенообразователи имеют небольшой вес и объем, что облегчает их хранение.
8. Пена имеет повышенную по сравнению с водой смачивающую способность.
9. При тушении пожара пеной не требуется перекрытия всей площади горения, так как пена способна растекаться по поверхности горящего материала.
10. Пена дает возможность подслоного тушения нефтепродуктов в резервуарах.

Ограничения в применении пены

Все ограничения в применении пены в первую очередь связаны с тем, что по своей сути она представляет собой водный раствор, поэтому:

- пену нельзя подавать на электрооборудование, находящееся под напряжением;
- нельзя применять пену для тушения горючих металлов;
- опасно подавать пену на горящие жидкости, температура которых выше 100 °С, это приводит к вспучиванию горячей жидкости, ее вскипанию и разбрызгиванию;
- пена неэффективна при тушении пожаров, связанных с горением криогенных жидкостей и газов.

Пенообразователи

Для получения воздушно-механической пены используются пенообразователи, представляющие собой концентрированный водный раствор стабилизатора пены, образующий при смешивании с водой рабочий раствор пенообразователя [16]. Обычно рабочая концентрация пенообразователя в рабочем водном растворе составляет от 0,5 до 6 %. Внешний вид пенообразователя показан на рис. 6.



Рис. 6. Внешний вид пенообразователя ТЭАС-N

По своему химическому составу пенообразователи подразделяются на синтетические (с), фторсинтетические (фс), протеиновые (п) и фторпротеиновые (фп). По способности образовывать огнетушащую пену на стандартном пожарном оборудовании все виды пенообразователей делятся [17]:

- на пенообразователи для тушения пожаров пеной низкой кратности (кратность пены от 4 до 20);
- пенообразователи для тушения пожаров пеной средней кратности (кратность пены от 21 до 200);
- пенообразователи для тушения пожаров пеной высокой кратности (кратность пены более 200).

В зависимости от способности разлагаться под действием микрофлоры водоемов и почв пенообразователи подразделяются на быстро-разлагаемые, умеренно-разлагаемые, медленно-разлагаемые и чрезвычайно медленно-разлагаемые.

Все пенообразователи по совокупности своих показателей назначения делятся на следующие классы [17]:

1 – пленкообразующие пенообразователи, предназначенные для тушения пожаров водонерастворимых горючих жидкостей подачей пены низкой кратности на поверхность и в слой нефтепродукта;

2 – пенообразователи, предназначенные для тушения пожаров водонерастворимых горючих жидкостей мягкой подачей пены низкой кратности;

3 – пенообразователи целевого назначения, предназначенные для тушения пожаров водонерастворимых горючих жидкостей подачей пены средней кратности;

4 – пенообразователи общего назначения, предназначенные для тушения пожаров водонерастворимых горючих жидкостей пеной средней кратности и тушения пожаров твердых горючих материалов пеной низкой кратности и водным раствором смачивателя;

5 – пенообразователи, предназначенные для тушения пожаров водонерастворимых горючих жидкостей подачей пены высокой кратности;

6 – пенообразователи, предназначенные для тушения пожаров водонерастворимых и водорастворимых горючих жидкостей.

Все пенообразователи имеют свое условное обозначение, в котором указываются:

- класс пенообразователя;
- вид пенообразователя;
- значение концентрации пенообразователя в рабочем растворе;
- химическая природа пенообразователя.

Например, условное обозначение пенообразователя 2НСВ-6фс показывает, что пенообразователь относится ко второму классу по совокупности своих показателей назначения, предназначен для тушения пожаров горючих жидкостей пеной низкой, средней и высокой кратности, значение концентрации пенообразователя в рабочем растворе составляет 6 % и по своей химической природе относится к фторсинтетическим пенообразователям.

Требования безопасности, предъявляемые к пенообразователям в соответствии с [16], следующие:

- по степени воздействия на организм человека пенообразователи не должны превышать 3-й класс опасности;
- пенообразователи не должны оказывать канцерогенных и мутагенных воздействий на организм человека;
- безвредными должны быть и рабочие растворы пенообразователей;
- допускается, что составы, содержащие фторированные добавки, могут обладать слабым кумулятивным и кожно-резорбтивным действием;
- при работе с пенообразователями необходимо применять индивидуальные защитные средства, исключающие попадание состава на кожные покровы, слизистую оболочку глаз и в желудочно-кишечный тракт;

- производственные помещения должны быть оборудованы точно-вытяжной вентиляцией;
- лица, работающие с пенообразователями, должны соблюдать меры личной гигиены перед приемом пищи, курением и после окончания работ;
- пенообразователи не должны быть способны к самостоятельному горению;
- в процессе производства и использования пенообразователей не должны образовываться вторичные опасные соединения;
- разрешается сброс биологически «мягких» пенообразователей, биоразлагаемость которых составляет более 80 %, в производственные сточные воды при разбавлении их водой до предельно допустимой концентрации ПАВ, равной 20 мг/л по активному веществу;
- запрещается сброс производственных сточных вод, содержащих биологически «жесткие» пенообразователи с биоразлагаемостью не более 40 %, в систему канализации населенных пунктов;
- в процессе эксплуатации и хранения пенообразователей необходимо применять меры, исключающие их пролив;
- слив остатков пенообразователей при промывке пенных коммуникаций, пеносмесителей, оборудования, емкостей для хранения в водоемы хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования не разрешается.

В последнее время для получения огнетушащих воздушно-механических пен используются следующие пенообразователи, характеристики которых приведены в табл. 8.

Т а б л и ц а 8

Характеристики наиболее распространенных пенообразователей

ПО-1	Водный раствор нейтрализованного керосинового контакта 84 ± 3 %, костный клей для стойкости пены 5 ± 1 %, синтетический этиловый спирт или концентрированный этиленгликоль 11 ± 1 %. Температура замерзания не превышает -8 °С. Является основным пенообразующим <i>средством</i> для получения воздушно-механической пены любой кратности. При тушении нефти и нефтепродуктов концентрация водного раствора ПО-1 принимается 6 %. При тушении других веществ и материалов используют растворы с концентрацией 2–6 %
ПО-1Д	Представляет собой ПО-1 на основе детергента Д путем сульфирования сернистым газом фракции керосина с температурой

Продолжение табл. 8

	кипения 150–300 °С. Полученные натриевые соли разбавляют водой до концентрации 26–29 % активного вещества. Раствор активного вещества в дальнейшем используют в качестве пенообразователя с температурой замерзания не выше –3 °С. Для получения пены применяют водный раствор ПО-1Д с концентрацией 4–6 %
ПО-1С	Паста из рафинированного алкиларилсульфоната (РАС) с добавлением концентрированного раствора альгината натрия (3,5 %) и 1 % высшего синтетического мирного спирта фракции С10 – С12. Температура замерзания –4 °С. Применяют при тушении полярных жидкостей (спирта, эфира и др.). Расчетную концентрацию водного раствора принимают не менее 10–12 %
ПО-2А	Водный раствор вторичных алкилсульфатов натрия. Выпускается с содержанием активного вещества 30 ± 1 %. Температура замерзания не выше –3 °С. При применении разбавляют водой (1 ч. продукта на 2 ч. воды) с использованием дозирующей аппаратуры, рассчитанной на пенообразователь ПО-1. Для получения пены применяют водный раствор с концентрацией 6 %
ПО-3А	Водный раствор смеси натриевых солей вторичных алкилсульфатов. Содержит 26 ± 1 % активного вещества. Температура замерзания не выше –3 °С. При применении разбавляют водой в пропорции 1:1 с использованием дозирующей аппаратуры, рассчитанной на пенообразователь ПО-1. Для получения пены применяют водный раствор с концентрацией 4–6 %
ПО-6К	Изготавливают из кислого гудрона при ульфировании гидроочищенного керосина. Содержит 32 % активного вещества. Температура замерзания не выше –3 °С. Для получения пены при тушении нефтепродуктов используют водный раствор с концентрацией 6 %. В других случаях концентрация водного раствора может быть меньше
ПО-3АИ («Ива»)	Содержит 25 % синтетического ПАВ и ингибитор коррозии. Температура замерзания –2 °С. Обладает низкой коррозионной активностью; по отношению к емкостям из малоуглеродистой стали сохраняет пенообразующие свойства при замерзании и оттаивании. Хранится в виде концентрата и рабочих растворов. Для получения пены используют водный раствор с концентрацией от 3 % и более

«Сампо»	Состоит из синтетического ПАВ (20 %), стабилизатора (15 %), антифризной добавки (10 %) и вещества, снижающего коррозионное действие состава (0,1 %). Температура застывания –10 °С. Для получения пены используют водный раствор с концентрацией 6 %. Применяют при тушении нефти, неполярных нефтепродуктов, резинотехнических изделий, древесины, волокнистых материалов, в стационарных системах пожаротушения и для защиты технологических установок
Петрофилм	Состоит из пенообразующей протеиновой основы, поверхностно-активных фторорганических соединений с олеофобными и пленкообразующими свойствами. Предназначен для тушения пожаров класса А и В пеной низкой кратности (в том числе под-слойным методом). Нетоксичен, биологоторазлагаем
Тридол-РНН	Состоит из пенообразующей синтетической основы, поверхностно-активных фторорганических соединений с олеофобными и пленкообразующими свойствами. Предназначен для тушения пожаров класса А и В пеной низкой кратности (в том числе под-слойным методом). Нетоксичен, биологоторазлагаем.

В настоящее время ко всем типам пенообразователей и к рабочим водным растворам предъявляются следующие регламентирующие требования:

- поверхностное натяжение рабочего раствора пенообразователя не должно превышать 18 мН/м;
- межфазное поверхностное натяжение на границе с гептаном – не менее 3,0 мН/м;
- вязкость концентрата пенообразователя при температуре 20 °С – не более 100 сСт;
- пенообразующая способность пенообразователя не должна зависеть от жесткости воды, применяемой для приготовления рабочего раствора;
- пенообразователь не должен содержать осадка и посторонних примесей;
- по токсичности пенообразователь должен соответствовать четвертому классу опасности;
- температура замерзания – не ниже –15 °С;
- концентрация рабочего раствора 3 или 6 % (об.);
- срок хранения концентрата пенообразователя – не менее 10 лет;
- пенообразователи должны быть биологически разлагаемыми.

Пенообразователи используются не только для получения рабочего раствора пенообразователя, но и для получения водного раствора-смачивателя, концентрация пенообразователя в котором не превышает 2 %. Водные растворы-смачиватели применяются для тушения твердых горючих материалов. Поверхностно-активные вещества, входящие в состав пенообразователя, снижают поверхностное натяжение воды и повышают ее смачивающие свойства. В результате повышается эффективность пожаротушения и сокращается время тушения твердых гидрофобных материалов на горизонтальных и вертикальных поверхностях за счет улучшения проникающей способности раствора и смачиваемости горячей поверхности. Помимо этого достигается существенная экономия воды, средств доставки и хранения смачивателя.

В качестве смачивателя может использоваться любой тип пенообразователя при его малых концентрациях в воде. Но существуют и специальные смачиватели, данные об оптимальных концентрациях в воде которых приведены в табл. 9.

Таблица 9

Оптимальная концентрация смачивателей

Смачиватель	Оптимальная концентрация, % к воде
ДБ	0,2–0,25
НП-1	0,3–0,5
НП-5	0,3–0,5
Б	1,5–1,8
Некаль Б	0,7–0,8
ОП-7	1,5–2,0
ОП-8	1,5–2,0
Эмульгатор ОП-4	1,95–2,1

Проверка качества пенообразователей и определение кратности пены

Показатели качества пенообразователя проверяются сразу после окончания гарантийного срока, а затем не реже одного раза в шесть месяцев. Если при проверке выяснилось, что такие показатели как кратность и устойчивость пены снизились на 20 %, пенообразователь подлежит списанию или регенерации, т. е. восстановлению его первоначальных свойств.

Для определения кратности пены достаточно в стеклянный градуированный сосуд объемом 1000 см³ налить 2–6 %-ный раствор пенообразователя и методом обычного встряхивания сосуда добиться образования пены. Отсчитав объем пены по градуированным рискам сосуда и разделив его на объем раствора пенообразователя, получаем кратность пены. Устойчивость пены зависит от времени, в течение которого она разрушается на 40 % от своего первоначального объема.

2.4. Расчет сил и средств, необходимых для тушения воздушно-механической пеной

Тушение пожаров огнетушащей пеной проводится как по площади, так и по объему. Для обоих расчетов исходными данными являются:

- площадь пожара;
- интенсивность подачи раствора пенообразователя;
- интенсивность подачи воды;
- расчетное время тушения.

Так как огнетушащие пены являются наиболее эффективным веществом для тушения горючих жидкостей, они широко применяются для тушения пожаров в резервуарных парках. В этом случае площадь пожара принимается равной площади зеркала жидкости в резервуаре или площади обваловки, и пожар считается нераспространяющимся. На первом этапе пожаротушения в резервуарных парках необходимо проводить охлаждение как горящих, так и соседних резервуаров. Расход воды на охлаждение горящего вертикального металлического резервуара по длине его окружности $Q_{тр}^3$ определяется по формуле

$$Q_{тр}^3 = \pi D I_{тр}, \quad (2.16)$$

где D – диаметр площади пожара, т. е. диаметр зеркала жидкости, м²;

$I_{тр}$ – требуемая интенсивность подачи воды, л/(м²·с). Принимается равной 0,08 л/(м·с) (при охлаждении резервуара с горячей жидкостью) и равной 1 л/(м·с) (при горении жидкости в обваловке). При этом для охлаждения резервуара необходимо использовать как минимум три ствола.

На охлаждение соседних резервуаров, отстоящих от горящего на расстоянии не более чем два нормативных, требуемый расход воды подается минимум двумя стволами и рассчитывается по формуле

$$Q_{\text{тр}}^3 = 0,5\pi D I_{\text{тр}}, \quad (2.17)$$

где $I_{\text{тр}}$ – требуемая интенсивность подачи воды, равная 0,3 л/(м·с).

При тушении нераспространяющихся пожаров воздушно-механической пеной по площади требуемый расход пенообразователя $Q_{\text{тр}}^{\text{по}}$ определяется по формуле

$$Q_{\text{тр}}^{\text{по}} = S_{\text{п}} I_{\text{тр}} = \pi R^2 I_{\text{тр}}, \quad (2.18)$$

где $S_{\text{п}}$ – площадь пожара, м²;

$I_{\text{тр}}$ – требуемая интенсивность подачи раствора пенообразователя, л/(м²·с);

R – радиус пожара, м.

Интенсивность подачи раствора пенообразователя при тушении пеной средней кратности изменяется в зависимости от температуры вспышки паров горячей жидкости и находится в следующих пределах:

при $t_{\text{всп}} \leq 28 \text{ }^\circ\text{C}$ $I_{\text{тр}} = 0,08 \text{ л/(м}^2 \cdot \text{с)}$;

при $t_{\text{всп}} \geq 28 \text{ }^\circ\text{C}$ $I_{\text{тр}} = 0,05 \text{ л/(м}^2 \cdot \text{с)}$.

Требуемое количество генераторов пены средней кратности (ГПС) можно рассчитать по формуле

$$N_{\text{ГПС}} = \frac{Q_{\text{тр}}^{\text{по}}}{q_{\text{ГПС}}} = \pi R^2 \frac{I_{\text{тр}}}{q_{\text{ГПС}}}, \quad (2.19)$$

где $Q_{\text{тр}}^{\text{по}}$ – требуемый расход раствора пенообразователя, л/с;

$q_{\text{ГПС}}$ – расход раствора пенообразователя одним ГПС, л/с;

R – радиус площади пожара, м;

$I_{\text{тр}}$ – требуемая интенсивность подачи раствора пенообразователя, л/(м²·с).

Обычно при тушении резервуарного парка используются генераторы ГПС-600 и ГПС-2000, имеющие расход пенообразователя $q_{\text{ГПС}}$, соответственно 6 и 20 л/с. При этом для проведения приближенных расчетов считается, что один ствол ГПС-600 обеспечивает тушение пожаров нефтепродуктов или горючих жидкостей на площади 75 м²,

если температура вспышки данных нефтепродуктов не превышает 28 °С, и тушение 120 м², если нефтепродукты и жидкости имеют температуру вспышки более 28 °С.

Для защиты резервуарных парков от возможного пожара на объектах создается резерв пенообразующих средств. Требуемое резервное количество пенообразователя $W_{\text{по}}$ рассчитывается по формуле

$$W_{\text{по}} = 60KN_{\text{ГПС}}q_{\text{ГПС}}\tau_{\text{н}}, \quad (2.20)$$

где $N_{\text{ГПС}}$ – количество генераторов пены;

$q_{\text{ГПС}}$ – расход пенообразователя одного генератора, л/с;

$\tau_{\text{н}}$ – нормативное время тушения, равное 10 мин;

K – коэффициент запаса, равный 3.

Требуемое при тушении пожара количество отделений $N_{\text{отд}}^{\text{T}}$ рассчитывается по формуле

$$N_{\text{отд}}^{\text{T}} = \frac{N_{\text{ст}}^{\text{T}}}{n_{\text{ст.отд}}}, \quad (2.21)$$

где $N_{\text{ст}}^{\text{T}}$ – требуемое количество стволов для тушения;

$n_{\text{ст.отд}}$ – количество стволов ГПС, имеющих в одном отделении.

Для защиты и охлаждения резервуаров потребуется:

$$N_{\text{отд}}^3 = \frac{N_{\text{ст}}^3}{n_{\text{ст.отд}}}. \quad (2.22)$$

Общее же количество отделений, необходимое для тушения пожара $N_{\text{отд}}^{\text{общ}}$, определяется по формуле

$$N_{\text{отд}}^{\text{общ}} = N_{\text{отд}}^3 + N_{\text{отд}}^{\text{T}}, \quad (2.23)$$

где $N_{\text{отд}}^3$ – количество отделений, требуемое для защиты [19].

Глава 3. ГАЗООБРАЗНЫЕ ОГNETУШАЩИЕ ВЕЩЕСТВА

Газовые ОТВ предназначены для тушения пожаров класса А в начальной стадии их развития, а также пожаров класса В и С при исключении возможности поступления горючего газа в защищаемый объем и при наличии надежного заземления трубопроводов для подачи огнетушащего состава [10].

Запрещается применение газовых ОТВ для тушения:

- волокнистых, сыпучих и пористых материалов, способных к самовозгоранию с последующим тлением слоя изнутри (ветошь в тюках и т. п.);
- химических веществ и их смесей, способных быстро окисляться без доступа воздуха (нитроцеллюлоза, порох и др.);
- химически активных металлов (натрия, калия, магния, титана, циркония, урана, плутония и т. д.);
- гидридов металлов;
- химикатов, способных подвергаться аутоотермическому распаду (органических перекисей и гидразина);
- металлородных соединений;
- пирофорных материалов (белого фосфора, металлоорганических соединений).

Кроме того, не допускается применение двуокси углерода для тушения электрооборудования, находящегося под напряжением выше 10 кВ [10].

Выбор газовых огнетушащих составов производится исходя из требований:

- безопасности персонала при тушении в защищаемом помещении;
- сохранения работоспособности оборудования и конструкций помещения;
- технико-экономических показателей;

- возможности удаления газовых составов из помещения после тушения пожара;
- ограничений по применению;
- воздействия на окружающую среду.

В соответствии с [7] в зависимости от механизма тушения газовые огнетушащие составы (ГОС) делятся на две группы:

- инертные разбавители, снижающие содержание кислорода в зоне горения и образующие в ней инертную среду;
- ингибиторы, тормозящие процесс горения.

В зависимости от агрегатного состояния в условиях хранения ГОС также подразделяются на газообразные и жидкие. К жидким ГОС относятся не только жидкости, но и сжиженные газы и растворы газов в жидкости.

Для газового пожаротушения, согласно НПБ 88–2001, используются сжиженные и сжатые под избыточным давлением газы, основные виды которых представлены в табл. 10 [5].

Таблица 10

Основные виды газовых огнетушащих веществ

Сжиженные газы	Сжатые газы
Двуокись углерода (CO ₂)	Азот (N ₂)
Хладон 125 (C ₂ F ₅ H)	Аргон (Ar)
Хладон 218 (C ₃ F ₈)	Инерген (IG541)
Хладон 227ea (C ₃ F ₇ H)	Аргонит (IG55)
Хладон 318Ц (C ₄ F ₈ Ц)	
Хладон 114B2 (C ₂ F ₄ Br ₂)	
Хладон 23 (CF ₃ H)	
Шестифтористая сера (SF ₆)	

Помимо перечисленных в таблице газовых ОТВ на практике широко используются огнетушащие составы на базе хладона 13B1, а также смесей бромэтила и бромэтилена с углекислотой.

Газовые ОТВ преимущественно применяются при объемном пожаротушении, т. е. огнетушащая концентрация создается по всему объему помещения, как правило, при выключенной вентиляции. Для этого параметр негерметичности помещения должен быть не более 0,004 м⁻¹ при степени негерметичности не более 1,5 %. При объемном пожаротушении с применением азота параметр негерметичности не должен превышать 0,001 м⁻¹ при степени негерметичности не более 0,5 %.

Нормативные значения огнетушащих концентраций ГОС для объемного тушения некоторых материалов и веществ приведены в табл. 11.

Таблица 11

Нормативная объемная огнетушащая концентрация ГОС

Наименование материала, вещества	Нормативная объемная огнетушащая концентрация, %								
	CO ₂	C ₂ F ₅ H	C ₃ F ₇ H	C ₄ F ₈ Ц	N ₂	Ar	SF ₆	IG541	IG55
Н-гептан	34,9	9,7	7,0	7,8	34,5	39,0	10,0	36,5	33,6
Этанол	35,7	11,7	–	7,8	36,0		14,4	36,0	33,6
Ацетон	33,7	–	–	7,2	–		10,8	37,2	31,2
Керосин	32,6	–	–	7,2	–		–	–	
Резина ИРП-1118	28,0	7,3	6,6	7,0	–		12,0	–	
Бумага, древесина	39,0	14,4	–	9,0	–		19,2	–	
Толуол	25,0	–	6,0	5,5	–		–	–	
Масло трансформаторное	–	9,5	–	7,2	27,8	36,1	7,2	28,3	
Органопластик		10,5							
Текстолит		6,9	6,0						
Масло моторное					27,8	36,1			
Вакуумное масло		9,5							
Бензин А-80			7,3		33,8	44,2			
Растворитель 647			7,3						
Гексан	35,6								
Метан	40,8								
Пропан	35,0								32,3
Хлопчатобумажная ткань	40,0	15,3					16,8		
Ткань капроновая		9,7							

Для определения объемных огнетушащих концентраций ГОС, необходимых для пожаротушения жидких горючих веществ, информация о которых не вошла в данную таблицу, нужно минимальную табличную огнетушащую концентрацию умножить на определенный коэффициент безопасности K_6 . Для всех ГОС, компоненты которых находятся в газовой фазе, коэффициент безопасности равен 1,2 (за исключением двуокси углерода). Для CO₂ этот коэффициент будет равен 1,7. Если ГОС в нормальных условиях находятся в жидкой фазе или в виде смеси, в которой хотя бы один компонент является жидкостью, $K_6 = 1,2$.

Нормы огнетушащей концентрации ГОС зависят от категории помещения по взрывопожаробезопасности. Например, для хладона 114В2 ($C_2F_4Br_2$) нормативная огнетушащая концентрация составляет, %:

- 3,4 – для помещений с производством категории А и Б;
- 2,0 – для помещений с производством категории В.

Также нормативная огнетушащая концентрация газов зависит и от оборудования, находящегося в защищаемом помещении. Так, например, нормативная огнетушащая концентрация хладона 125(C_2F_5H) в зависимости от помещения выбирается по данным табл. 12 [10].

Таблица 12

**Нормативная огнетушащая концентрация хладона 125
по ряду помещений**

Наименование помещения	Нормативная огнетушащая концентрация
Архив	14,4
Помещение ВЦ	10,5
Аппаратная с электротехнической аппаратурой	10,5
Дизель-генераторная	10,5

Важным параметром ГОС является нормативная массовая огнетушащая концентрация q_n , определяющаяся как произведение нормативной объемной концентрации огнетушащего состава на его плотность в газовой фазе при температуре 20 °С и давлении 0,1 МПа. Нормативные значения массовой огнетушащей концентрации некоторых газовых составов приведены в табл. 13 [11].

Таблица 13

Нормативная массовая огнетушащая концентрация ГОС

Наименование материала	Нормативная массовая огнетушащая концентрация, $кг \cdot м^{-3}$			
	C_2F_5H	C_4F_8C	CO_2	SF_6
Н-гептан	0,5	0,64	0,58	0,65
Этанол	0,61	0,66	0,6	0,94
Вакуумное масло	0,49			
Хлопчатобумажная ткань	0,8		0,73	1,1
Оргстекло	0,52	0,66	0,58	0,94
Текстолит В	0,36		0,46	0,38

Наименование материала	Нормативная массовая огнетушащая концентрация, кг·м ⁻³			
	C ₂ F ₅ H	C ₄ F ₈ Ц	CO ₂	SF ₆
Резина ИРП-1118	0,41	0,59		0,78
Ткань капроновая	0,5			
Целлюлоза	0,78	0,76	0,71	1,15
Ацетон		0,61	0,53	0,7
Керосин		0,61	0,55	
Толуол		0,47	0,46	
Гетинакс		0,65		
Пенополистирол		0,6		
Трансформаторное масло				0,47

3.1. Двуокись углерода

Двуокись углерода CO₂ (углекислый газ) (диоксид углерода) в нормальных условиях представляет собой бесцветный газ, без запаха, со слегка кисловатым вкусом, плотностью 1,97 кг/м³. Нетоксичен, не взаимодействует с горящими веществами и материалами. При нормальном атмосферном давлении диоксид углерода не может существовать в виде жидкости, он непосредственно из твердого состояния переходит в газообразное. Жидкостью диоксид углерода становится только при повышенном давлении, порядка 4,0 МПа, и обычных температурах, что и используется для его хранения. Обычно CO₂ хранят в баллонах под давлением 12,5 МПа.

Механизм пожаротушения двуокисью углерода заключается в охлаждении зоны горения и снижении концентрации кислорода в воздухе. Пламенное горение практически прекращается в случае снижения концентрации кислорода в воздухе до 14 %. Огнетушащая концентрация двуокиси углерода в защищаемом помещении должна быть не менее 30 % по объему помещения или 0,637 кг/м³ по массе. В помещениях категорий А и В по взрывопожаробезопасности массовая огнетушащая концентрация увеличивается до 0,768 кг/м³.

Двуокись углерода, подаваемая в очаг пожара, может находиться в твердом, в газообразном и в аэрозольном состояниях. Так как углекислота не электропроводна, не испаряется и не оставляет после себя сле-

дов, она применяется при тушении пожаров в хранилищах ценных материалов, музеях, архивах, библиотеках. Также она широко применяется при тушении электрооборудования и двигателей внутреннего сгорания.

В газообразном состоянии двуокись углерода, так же как и хладонные составы, применяется для тушения объемных пожаров внутри помещения. Газ заполняет весь объем помещения и вытесняет из него кислород. При этом CO_2 не разлагается в пламени и не вступает в химические реакции с продуктами горения. Для человека опасным является только снижение концентрации кислорода в защищаемом помещении. Так, например, безопасная концентрация двуокиси углерода для человека не превышает 5 %, опасно для жизни при кратковременной экспозиции – выше 10 %. Так как для успешного тушения концентрация CO_2 должна быть более 25 %, то вход в помещение после применения CO_2 возможен только в изолирующих противогазах.

Двуокись углерода в аэрозольном состоянии, т. е. в виде мельчайших кристаллических частичек, особенно эффективна при тушении пыли. В этом случае она не только производит тушение, но и приводит к быстрому осаждению частиц, взвешенных в воздухе. Концентрация CO_2 , необходимая для тушения возгорания пыли, должна быть не менее 30 %.

При использовании двуокиси углерода в качестве ОТВ необходимо учитывать, что объем жидкой углекислоты при атмосферном давлении зависит от температуры. Эта зависимость удельного веса от давления и температуры приводит к тому, что при молекулярном весе углекислоты 44,01 и объеме моля 22,26 кг/моль образуется значительная область состояний CO_2 , когда объемы газового состава и емкости, в которой он хранится, становятся равными. Следовательно, в газовых установках пожаротушения с двуокисью углерода необходим контроль не только за массой ОТВ, но и за его давлением. При температуре углекислоты выше критической давление в баллонах может резко возрасти. Так, например, при температуре 30 °С давление будет равно 90 кг/см², при температуре 40 °С – уже 130 кг/см², а при 50 °С – 175 кг/см² [3].

Двуокисью углерода нельзя тушить спирты, так как углекислый газ в них не растворяется и не может снизить их концентрацию до негорючего состояния. Не применяется CO_2 для тушения веществ, способных гореть без доступа воздуха, например, целлулоида или термита. Кроме того, диоксид углерода нельзя применять при тушении загоревшегося магния и его сплавов, металлического натрия и калия, так

как при этом происходит разложение углекислоты с атомарного кислорода.

Твердый диоксид углерода. Для охлаждения некоторых видов горючих материалов применяется твердый диоксид углерода, представляющий собой мелкую кристаллическую массу с плотностью $1,53 \text{ кг/м}^3$ (рис. 7).



Рис. 7. Внешний вид твердой углекислоты

Твердое состояние двуокиси углерода или так называемый углекислый снег получается при быстром испарении жидкой углекислоты под уменьшенным давлением. По внешнему виду напоминает спрессованный снег, но тяжелее льда и тонет в воде. Несмотря на низкую температуру, его холод не сильно ощущается пальцами человека. При осторожном касании рукой образующийся при соприкосновении с нашим теплом углекислый газ защищает кожу от действия холода. В средствах огнетушения CO_2 находится в жидком состоянии под давлением не менее 7 МПа. При выходе из баллона, за счет перепада давления, углекислота резко охлаждается, образуя снегообразную массу температурой -80°C . Теплоемкость при испарении составляет $572,75 \text{ Дж/кг}$, что гораздо меньше, чем у воды, но скорость охлаждения горящих материалов за счет большой разницы температур углекислоты и горячей поверхности при этом достаточно высокая. Попадая в зону горения, снегообразная углекислота испаряется, при этом из 1 л данной массы образуется 500 л газа, минуя жидкое состояние. Это позволяет тушить твердым диоксидом углерода материалы, портящиеся

при контакте с влагой. Именно поэтому он широко применяется при тушении пожаров в музеях, архивах, библиотеках, на выставках и т. п.

В целом твердый диоксид углерода способен прекратить горение практически всех горючих веществ. Исключение составляют только магний и его сплавы, калий, а также металлический натрий. Зато твердый диоксид неэлектропроводен, поэтому применяется и при тушении электрооборудования, находящегося под напряжением.

Несмотря на то что плотность твердого диоксида углерода больше, чем у воды, его можно применять и для тушения горящих жидкостей. Из-за постоянного перехода диоксида в газ создается своеобразная газовая подушка, которая позволяет ему не тонуть и находиться на поверхности жидкости. Верхний слой горячей жидкости при этом охлаждается и, следовательно, уменьшается количество горючих паров и газов в зоне горения. Кроме того, так как переход твердой углекислоты в газ и испарение горючего вещества происходят с одной поверхности, образуется смесь диоксида углерода с горючими парами. Это в свою очередь вызывает снижение скорости реакции и температуры горения смеси, что и приводит к ликвидации пожара.

Таким образом, твердая углекислота тушит очаг возгорания одновременно за счет резкого охлаждения его поверхности и за счет разбавления паровой фазы или продуктов разложения горящего вещества. Однако доминирующую роль в механизме прекращения горения играет процесс охлаждения. Данный вывод можно доказать тем, что горение не прекращается сразу после подачи твердого диоксида углерода на поверхность горящего материала. Именно в этот момент объем образующегося газообразного диоксида углерода максимален, а значит, максимально и разбавление продуктов разложения горючего материала. Но горение прекращается только спустя какое-то время, когда снижается температура горящего материала, а также скорости испарения и термического разложения.

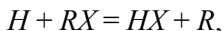
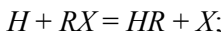
Наиболее быстро твердый диоксид углерода охлаждает горящие жидкости, так как они своей текучестью компенсируют недостаток ее удельной поверхности соприкосновения. Гораздо медленнее происходят охлаждение и прекращение горения твердых горючих материалов (например, древесины), и практически твердым диоксидом углерода не охлаждаются волокнистые вещества, такие как шерсть, хлопок, торф и т. п. [19].

3.2. Галоидоуглеводороды

Галоидоуглеводородные или галогенуглеводородные составы представляют собой ОТВ на основе углеводородов, в которых один или несколько атомов водорода замещены на атомы галогенов (или галоидов по устаревшей классификации). К галогенам относятся фтор F, хлор Cl, бром Br, йод I, астат At, а также искусственный элемент унунсептий Uus, имеющий высокую окислительную активность.

Способы тушения галоидированными углеводородами аналогичны способам тушения углекислым газом, но есть и существенные различия. Так, при тушении углекислым газом горение прекращается только тогда, когда концентрация кислорода в зоне реакции снижается до 14–18 %, а галоидированные углеводороды (например, бромистый этил) прекращают реакцию горения при концентрации кислорода 20,6 %. Следовательно, механизм прекращения горения этими веществами различен.

Известно, что в ходе реакции горения образуются определенные промежуточные продукты, при этом некоторые из них являются активными центрами. Например, при горении углеводородов такими центрами преимущественно являются атомы водорода. Схематично это можно объяснить так: один центр, вступая в реакцию, образует другой активный центр, который в свою очередь при реакции образует следующий активный центр и т. д. Реакция продолжается до тех пор, пока активный центр не погибнет и не произойдет разрыв цепочки. Гибель активных центров происходит тогда, когда они либо сталкиваются со стенками сосудов, либо вступают в реакцию с атомами и радикалами, при взаимодействии с которыми образуются насыщенные соединения или малоактивные радикалы, например:



где R – какой-либо радикал;

X – атом галоида.

Исходя из этого, можно сделать вывод, что галоидированные углеводороды уменьшают концентрацию активных центров, тем самым превращая реакцию горения из экзотермической в эндотермическую.

Таким образом, галогенуглеводородные огнетушащие составы относятся к ингибирующим и флегматизирующим веществам, замедляющим химические реакции. В настоящее время существуют две

основные теории ингибирования горения. Первая теория, получившая название радикальной, основана на том, что из зоны горения изымаются атомы и радикалы, ответственные за развитие процесса горения, и связываются с молекулами галогенуглеводородов. В соответствии со второй теорией, названной ионной, атомы брома легко отрываются от молекулы галогенуглеводорода и, имея большие сечения захвата электронов, чем кислород, тормозят горение, захватывая электроны, необходимые для активации кислорода.

Благодаря своим ингибирующим и флегматизирующим свойствам галоидированные углеводороды имеют большую эффективность по сравнению с другими ОТВ. Так, в табл. 14 для сравнения приведены огнегасительные концентрации галоидированных углеводородов и газовых ОТВ, необходимых для прекращения горения бензина [21].

Таблица 14

Огнегасительные концентрации галоидированных углеводородов по сравнению с другими огнетушащими веществами

Наименование	Огнегасительная концентрация по объему, %			
	Бензин	Толуол	Этиловый спирт	Ацетон
Бромистый метил CH_3Br	4,0	1,7	4,5	3,6
Четыреххлористый углерод CCl_4	7,5	3,5	10,5	7,5
Аргон Ar	42,8	—	—	—
Углекислый газ CO_2	21,2	16,0	25,0	16
Азот N_2	30,8	27,0	31,5	—
Водяной пар	—	—	31,5	—

Современное название галогенуглеводородов в нашей стране – хладоны, ранее – фреоны.

Хладоновые составы представляют собой легкоиспаряющиеся жидкости, вследствие чего их и относят к газам или аэрозолям. Основу хладонов составляют галоидносодержащие углеводороды. Действие хладоновых составов при тушении пожара основано на ингибировании химических реакций горения. Основными составами, широко используемыми в наше время, являются хладоны 114B2($\text{C}_2\text{F}_4\text{Br}_2$), 23 (CF_3H), 125 ($\text{C}_2\text{F}_5\text{H}$), 218 (C_3F_8), 227ea ($\text{C}_3\text{F}_7\text{H}$), 318 ($\text{C}_4\text{Cl}_3\text{F}_8$). На сегодняшний день они считаются наиболее эффективными средствами пожаротушения, превышают по своей эффективности инертные газы

в 10 и более раз и применяются для тушения пожаров классов А, В, С, а также электроустановок при практически любых температурах.

На основе галоидированных углеводородов и углекислоты разработаны специальные огнетушащие составы, компоненты которых приведены в табл. 15 [18].

Таблица 15

Компоненты огнетушащих составов на основе галоидированных углеводородов и углекислоты

Название состава	Содержание компонентов, %, по массе			
	C_2H_5Br	CO_2	$C_2F_4Br_2$	CH_2Br_2
3,5	70	30	–	–
7	20	–	–	80
4НД	97	3	–	–
БФ-1	84	–	16	–
БФ-2	73	–	27	–
ТФ	–	–	100	–
БМ	70	–	–	30

Галоидоуглеводороды и составы на их основе представляют собой газоподобные летучие соединения или легкоиспаряющиеся жидкости. Очень плохо растворяются в воде, но имеют хорошую смачивающую способность, неэлектропроводны, способны смешиваться с большинством органических веществ. Обладающие высокой плотностью как в жидком, так и в газообразном состоянии галоидоуглеводороды образуют при тушении компактную струю. Струя способна глубоко проникать в пламя и удерживаться над очагом возгорания, поэтому хладоновые составы применяются для поверхностного, объемного и локального тушения пожаров. Эффективны при тушении волокнистых материалов, электрооборудования, находящегося под напряжением, двигателей внутреннего сгорания, опасных цехов химических предприятий, складов горючей жидкости. Широко используются хладоновые составы и при тушении пожаров в архивах, музеях и подобных им объектах особой ценности. Очень важно то, что галоидоуглеводороды и их составы можно использовать практически при любых отрицательных температурах.

Тем не менее, несмотря на свою высокую эффективность, область применения хладоновых составов ограничена из-за их высокой стоимости. В основном они используются для защиты объектов, представ-

ляющих собой особую важность. Основные сведения о свойствах хладонов приведены в табл. 16.

Таблица 16

Свойства хладонов

Техническая характеристика	Единицы измерения	Хладон 218	Хладон 125	Хладон 227ea	Хладон 23	Хладон 318Ц
Молекулярная масса	А.е.м.	188	120	170,03	70,01	200,0
Температура кипения при 760 мм рт. ст.	°С	-37,0	-48,5	-16,4	-82,1	6,0
Температура замерзания	°С	-183,0	-102,8	-131	-155,2	-50,0
Критическая температура	°С	71,9	66	101,7	25,9	115,2
Критическое давление	МПа	2,680	3,595	2,912	4,836	2,7
Плотность жидкости при 20 °С	кг · м ⁻³	1320	1218	1407	806,6	–
Критическая плотность	кг · м ⁻³	629	572	621	525	616,0
Температура термического разложения	°С	730	900	–	650–580	–
Нормативная огнетушащая концентрация	% (об.)	7,2	9,8	7,2	14,6	7,8
Плотность паров при давлении 101,3 кПа, температуре 20 °С	кг · м ⁻³	7,85	5,208	7,28	2,93	8,438

Основным недостатком хладонов являются их высокая токсичность и токсичность продуктов их разложения. Например, наиболее эффективный по огнетушащей способности хладон 114В2 (фреон) представляет собой тяжелую, маслянистую, бесцветную жидкость с температурой кипения 46,7 °С и имеющую температуру замерзания 110 °С. При пожаротушении из 1 кг жидкости образуется 86,5 л паров [6]. Данный хладон является одним из самых активных среди остальных хладонов ингибитором, его минимальная огнетушащая концентрация по объему равна 1,9 %, удельный расход при тушении зависит от категории помещения по взрывопожаробезопасности. Так, для помещений категорий А или Б удельный расход хладона 114В2 составляет 0,37 кг/м³, а для помещений категории В – 0,22 кг/м³. Хладон 114В2 малотоксичен, обладает слабым наркотическим действием, вызывающим головокру-

жение. Его предельно допустимая концентрация для помещений равна 0,6 мг/л. Гораздо более токсичны продукты термического разложения хладона 114В2, т. е. галоидоводородные кислоты. Но так как хладон обладает высокой термической устойчивостью, то в условиях пожара успевает разложиться не более 3 % его массы, что снижает опасность воздействия продуктов распада на человека.

В целом, все хладоны, как фторсодержащие вещества, при термическом разложении образуют высокотоксичные соединения, например, фтористый водород, дифторфосген, октафторизобутилен. При тушении, т. е. под воздействием пламени, резко ускоряется процесс гидролиза хладона, определяющийся температурой и природой хладона, а также содержанием в нем воды. Гидролиз приводит к образованию галоидоводорода, обладающего сильным раздражающим действием на верхние дыхательные пути, и углеводородного радикала, действующего на все органы организма. Такие же процессы протекают и при тушении пожара шестифтористой серой, из которой под воздействием температуры образуются высокотоксичные фтористый водород и пentaфтористая сера. Поэтому для уменьшения количества токсичных продуктов разложения целесообразно применять фторированные углеводороды на ранних стадиях развития пожара и уменьшать время их подачи для огнетушения. При этом необходимо учитывать, что термостабильность хладоновых составов тем выше, чем больше степень замещения в молекуле атомов водорода на атомы фтора.

Оценка негативного воздействия на человека проводится с помощью фиксированных значений концентрации газов:

$C_{от}$ – максимальной концентрации ОТВ, при которой вредное воздействие газа на человека при экспозиции менее 5 минут отсутствует;

$C_{мин}$ – минимальной концентрации ОТВ, при которой наблюдается минимально ощутимое вредное воздействие газа на человека при экспозиции менее 5 минут.

Значения данных концентраций для хладонов, т. е. параметры их токсичности, приведены в табл. 17.

Таблица 17

Параметры токсичности хладонов

Концентрации	C_2F_3H	C_3F_7H	CF_3H
$C_{от}$	7,5	9,0	30
$C_{мин}$	10,0	10,5	>50

Продолжительность безопасного воздействия некоторых хладонов на человека (в зависимости от концентрации) приведена в табл. 18.

Т а б л и ц а 18

Продолжительность безопасного воздействия хладонов на человека в зависимости от концентрации газов

Концентрация, % (об.)	Время безопасного воздействия, мин	
	C ₂ F ₅ H	C ₃ F ₇ H
9,0	5,00	5,00
9,5	5,00	5,00
10,0	5,00	5,00
10,5	5,00	5,00
11,0	5,00	1,13
11,5	5,00	0,60
12,0	1,67	0,49
12,5	0,59	–
13,0	0,54	–
13,5	0,49	–

Кроме того, в результате гидролиза хладона образуется галоидоводород, оказывающий высокое коррозионное воздействие на металлы.

Существенным недостатком хладоновых составов является и неэффективность при применении на открытом воздухе. Как и любой газ, хладон под действием движения воздуха может быть сдут с поверхности возгорания. Кроме того, во влажной среде хладоновые составы способны образовывать коррозионно-активные соединения. С помощью хладонов нельзя тушить щелочные металлы, щелочноземельные металлы, а также кислотосодержащие вещества. Их нельзя применять при тушении материалов, содержащих в своем составе кислород. Хладоны не ингибируют горение в случаях, когда в качестве окислителя используется не кислород, а другие вещества. И некоторые галоидоуглеводороды нельзя применять в чистом виде. Например, бромистый этил, являющийся основным компонентом огнетушащих составов, при концентрации 6,5–11,3 % может воспламениться от источника теплоты большой мощности.

Шестифтористая сера – неорганическое вещество, при нормальных условиях представляет собой практически бесцветный газ в 5 раз тяжелее воздуха. Состоит из 21,95 % серы и 78,05 % фтора. При

нормальном давлении и температуре до $-50,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ может находиться в любом из трех агрегатных состояний. Практически не реагирует с водой, плохо растворяется в этиловом спирте и диэтиловом эфире. По степени воздействия на организм человека относится к малоопасным веществам, но существует возможность отравления продуктами распада, низшими фторидами, образующимися под действием высоких температур. Несомненным достоинством шестифтористой серы является то, что она не разрушает озоновый слой атмосферы. Основным недостатком – высокая стоимость вещества.

3.3. Инертные газы

Инертные газы – это группа химических элементов с полностью завершенной внешней электронной оболочкой. В пожаротушении используются аргон, азот и смеси инертных газов – огранит, инерген. Применяются для объемного тушения внутри помещений, а также для тушения небольших по площади поверхностей горящих жидкостей, двигателей внутреннего сгорания, электродвигателей и электротехнических установок.

Объемное тушение инертными газами обычно используют в тех случаях, когда тушение другими ОТВ затруднено. В основном его применяют в закрытых технологических аппаратах, а также в небольших помещениях с ограниченным воздухообменом. При подаче инертных газов в зону горения снижается концентрация окислителя и уменьшается скорость горения. При определенных концентрациях инертных газов горение прекращается.

Благодаря стабильности своей электронной конфигурации инертные газы практически не образуют химических соединений с другими веществами. Имеют очень низкие температуры сжижения и затвердевания, не имеют запаха, бесцветны. При тушении пожара они не разлагаются и не вступают в реакцию с продуктами горения. Не оказывают химического воздействия на материалы в защищаемом помещении, но при подаче инертных газов происходит их охлаждение и соответственно снижение температуры в помещении. Иногда такие перепады температур могут оказать негативное воздействие на оборудование, находящееся в защищаемом помещении. Основные свойства азота, аргона и инергена приведены в табл. 19.

Свойства инертных газов

Техническая характеристика	Аргон (Ar)	Азот (N ₂)	Инерген IG541	Аргонит IG55
Молекулярная масса, А.е.м.	39,9	28,0	34,0	83,96
Температура кипения при 760 мм рт. ст., °С	-185,9	-195,8	-189	-189
Температура замерзания, °С	-189,35	-210,0	-78,5	
Критическая температура, °С	-122,3	-146,9	–	
Критическое давление, МПа	4,903	3,399	–	
Плотность газа при давлении 101,3 кПа, температуре 20 °С, кг · м ⁻³	1,66	1,17	1,42	1,41
Нормативная огнетушащая концентрация, % (об.)	39,0	34,6	37,5	33,6

Азот (N₂) представляет собой газ без цвета и запаха, немного легче воздуха. Азот можно хранить и транспортировать как в жидком, так и в газообразном состоянии. Механизм пожаротушения азотом заключается в разбавлении концентрации кислорода в зоне горения до таких значений, при которых горение уже невозможно. В установках модульного типа применяется довольно редко, так как для успешного пожаротушения нужно заполнять объем защищаемого помещения до 40 %. Естественно, это приводит к необходимости хранить на объекте большое количество рабочих баллонов, находящихся под высоким давлением. Поэтому чаще всего азот используется в комбинированных составах, а также служит для транспортировки хладагента или порошковых составов по трубам в очаг возгорания. Более эффективно применять жидкий азот с температурой –196 °С. При распылении он резко охлаждает зону горения и применяется для тушения металлоорганических соединений, щелочных металлов, ацетона, спирта.

Аргон по своим свойствам и огнетушащей эффективности аналогичен азоту.

Инерген образуется путем смешивания азота, аргона и углекислоты в пропорции: азот – 52 %, аргон – 40 % и двуокись углерода – 8 %. Механизм тушения инергеном также основан на вытеснении кислорода из зоны горения. С точки зрения воздействия на организм человека инерген является наиболее безопасным газом. Даже при снижении концен-

трации кислорода при тушении, двуокись углерода, входящая в состав инергена, повышает способность нашего организма более эффективно использовать оставшийся кислород, что снижает опасность для человека. В небольших количествах CO_2 приводит к увеличению частоты дыхания и тем самым позволяет сохранить жизнедеятельность при недостатке кислорода. Мозг человека продолжает получать необходимое количество кислорода даже при снижении его концентрации в помещении до 12,5–14 %.

Удельный вес инергена близок по значению с удельным весом воздуха, поэтому огнетушащая концентрация газа создается по всему помещению равномерно. Кроме того, инерген не образует осадка, не проводит электрический ток, не создает активных коррозионных продуктов распада. Все эти достоинства газового состава позволяют использовать инерген для защиты помещений с дорогостоящим оборудованием, объектов с наличием исторических и культурных ценностей, а также помещений с постоянно присутствующим персоналом.

К недостатку инергена можно отнести высокое значение его огнетушащей концентрации (порядка 37 % по объему), что также требует использования большого количества баллонов, давление в которых достигает 20 МПа.

Аргонит (IG55) представляет собой неэлектропроводную смесь азота и аргона в пропорциях N_2 – 50 % и Ar – 50 %. Смесь бесцветная, не имеет запаха, с точкой росы не выше минус 20 °С. Аргонит является экологически чистой заменой хладона, он не содержит токсичных компонентов, не разлагается термически, не образует ядовитых и коррозионных веществ при контакте с пламенем. Молекулярный вес данной смеси близок с молекулярным весом воздуха, благодаря чему ее воздействие на источник возгорания длится дольше других газов, применяемых в пожаротушении. Это обстоятельство позволяет также не герметизировать защищаемое помещение. К достоинствам аргонита относится и то, что он не образует конденсата. В совокупности с его неэлектропроводностью и некоррозионностью это делает аргонит безопасным для электроники, художественных и исторических ценностей. Это привело к его успешному распространению там, где есть необходимость избежать повреждений в области компьютерной техники, дорогостоящего электрического оборудования и телекоммуникационного оборудования, в диспетчерских пунктах, архивах, магазинах и т. д.

Хотя инертные газы считаются неядовитыми, они представляют определенную опасность. С увеличением концентрации инертных газов в помещении снижается концентрация кислорода, и это оказывает удушающее воздействие на человека вплоть до потери сознания. Значения максимальной и минимальной концентраций для инертных газов приведены в табл. 20 [9].

Т а б л и ц а 20

Значения $C_{от}$ и $C_{мин}$ для инертных газов

Наименование огнетушащего вещества	$C_{от}$, % (об.)	$C_{мин}$, % (об.)
Азот N ₂	43	52
Аргон Ar	43	52
Газовый состав «Огранит» IG55	43	52
Газовый состав «Инерген» IG541	43	52

Инертные газы эффективны и при комбинированном использовании. Например, при одновременном введении в защищаемое помещение хладона и азота или двуокиси углерода резко повышается общая огнетушащая эффективность. Так, при введении в огнетушащий состав 8–10 % инертного разбавителя, расход дорогого хладона снижается в 5–8 раз. В настоящее время широко используется комбинированный углекислотно-хладоновый состав, состоящий из 85 % хладона и 15 % двуокиси углерода, минимальная массовая огнетушащая концентрация которого составляет 0,27–0,40 кг/м³ [6].

Расчет массы газового ОТВ для установок газового пожаротушения при тушении объемным способом представлен в [10].

Масса ГОС, которая должна храниться в установке и необходима для успешного пожаротушения в помещении, определяется по формуле.

$$M_{г} = K_1[M_p + M_{тр} + M_{б}n], \quad (3.1)$$

где $M_{тр}$ – масса остатка ГОС в трубопроводах, кг;

$M_{б}$ – масса остатка ГОС в баллоне, принимаемая согласно технической документации на баллон, кг;

n – количество баллонов в установке;

K_1 – коэффициент, учитывающий утечки ГОС из сосудов, принимается равным 1,05.

M_p – масса ГОС, предназначенная для создания в объеме помещения огнетушащей концентрации, кг;
– для сжиженных газов

$$M_p = V_p \rho_1 (1 + K_2) \frac{C_H}{100 - C_H}; \quad (3.2)$$

– для сжатых газов и двуокиси углерода

$$M_p = V_p \rho_1 (1 + K_2) \ln \frac{C_H}{100 - C_H}, \quad (3.3)$$

где V_p – расчетный объем защищаемого помещения, м³;

K_2 – коэффициент, учитывающий утечки ГОС через проемы помещения;

C_H – нормативная объемная огнетушащая концентрация, %;

ρ_1 – плотность ГОС с учетом высоты защищаемого объекта относительно уровня моря для минимальной температуры в помещении, кг/м³.

$$\rho_1 = \rho_0 \frac{T_0}{T_M} K_3, \quad (3.4)$$

где ρ_0 – плотность паров ГОС при температуре $T_0 = 293$ К (20 °С) при атмосферном давлении 101,3 кПа;

T_M – минимальная температура воздуха в защищаемом помещении, К;

K_3 – поправочный коэффициент, учитывающий высоту расположения объекта относительно уровня моря (табл. 21).

Масса остатка ГОС в трубопроводах рассчитывается по формуле

$$M_{тр} = V_{тр} \rho_{готв}, \quad (3.5)$$

где $V_{тр}$ – объем всей трубопроводящей разводки установки, м³;

$\rho_{готв}$ – плотность ГОС при давлении, которое имеется в трубопроводе после окончания истечения массы хладона M_p в защищаемом помещении.

Суммарный остаток массы ГОС в баллонах и трубной разводке можно подсчитать исходя из формулы

$$M_{\text{ост}} = m_{\text{ост}}n, \quad (3.6)$$

где $m_{\text{ост}}$ – масса остатка ГОС в баллоне и в его трубной разводке;

n – число модулей, содержащих ГОС для защищаемого помещения.

Т а б л и ц а 21

Значение коэффициента K_3 в зависимости от высоты расположения объекта над уровнем моря

Высота над уровнем моря, м	Поправочный коэффициент K_3
От 0 до 1000	1,0
Более 1000 до 1500	0,885
Более 1500 до 2000	0,830
Более 2000 до 2500	0,785
Более 2500 до 3000	0,735
Более 3000 до 3500	0,690
Более 3500 до 4000	0,650
Более 4000 до 4500	0,610
Более 4500	0,565

Численные значения массы остатков ГОС в баллоне и в трубопроводе приведены в табл. 22 [8].

Т а б л и ц а 22

Масса остатков ГОС в модуле и его трубной разводке, кг

Вместимость модуля, л	Двуокись углерода	Шестифтористая сера	Хладон 114В2	Хладон 125	Хладон 227ea
20	2,00	2,56	1,10	1,40	0,89
35	3,50	4,48	1,93	2,45	1,56
50	5,00	6,40	2,75	3,50	2,23
80	8,00	10,24	4,40	5,59	3,56
100	10,00	12,80	5,50	6,99	4,45

Коэффициент K_2 , учитывающий потери огнетушащего газа через проемы помещения, рассчитывается по формуле

$$K_2 = \Pi \delta \tau_{\text{под}} \sqrt{H}, \quad (3.7)$$

где H – высота помещения, м;

$\tau_{\text{под}}$ – нормативное время подачи огнетушащего газа в защищаемое помещение, с;

Π – параметр, учитывающий расположение проемов по высоте помещения, $\text{м}^{0,5} \cdot \text{с}^{-1}$. Значения параметра Π выбираются из следующих условий.

$\Pi = 0,65$, если проемы расположены одновременно в верхней и нижней зоне помещения или одновременно на полу помещения и на его потолке, причем площади проемов в нижней и верхней зонах примерно равны и составляют половину суммарной площади проемов. Нижней зоной считается высота помещения от 0 до $0,2H$, верхней – от $0,2$ до $0,8H$.

$\Pi = 0,1$, если проемы расположены только в верхней зоне помещения или на его потолке.

$\Pi = 0,25$, если проемы расположены только в нижней зоне или в полу помещения.

$\Pi = 0,4$ при равномерном распределении площади проемов по всей высоте помещения.

δ – параметр негерметичности помещения, м^{-1} , рассчитываемый по формуле

$$\delta = \frac{\sum F_{\text{н}}}{V_{\text{р}}}, \quad (3.8)$$

где $\sum F_{\text{н}}$ – суммарная площадь проемов, м^2 .

При расчете массы огнетушащего газа, необходимого при тушении пожаров подкласса A_1 , кроме тлеющих материалов, следует учитывать, что тушение можно осуществлять только в помещениях с параметром негерметичности не более $0,001 \text{ м}^{-1}$. Значение массы $M_{\text{р}}$ в этом случае можно определить по формуле

$$M_{\text{р}} = K_4 M_{\text{р-гепт}}, \quad (3.9)$$

где $M_{\text{р-гепт}}$ – значение массы $M_{\text{р}}$ для нормативной объемной концентрации $C_{\text{н}}$ при тушении n -гептана.

Коэффициент K_4 учитывает вид горючего вещества и принимается равным 1,3 для тушения бумаги, картона, тканей и т. п., 2,25 – для тушения этих же материалов в помещениях, куда доступ пожарным после окончания работы установки пожаротушения исключен. Для всех остальных пожаров подкласса A_1 значение K_4 принимается равным 1,2.

При расчетах допускается увеличивать τ , т. е. нормативное время подачи огнетушащего газа, в K_4 раза.

Глава 4. НЕГОРЮЧИЕ СЫПУЧИЕ ОГNETУШАЩИЕ ВЕЩЕСТВА

Основное назначение негорючих сыпучих материалов заключается в создании изолирующего слоя над зоной горения. Они применяются при тушении пожаров любого агрегатного состояния, электроустановок под напряжением, металлов и пирофорных соединений, не поддающихся тушению пеной или водой. Кроме создания изолирующего слоя, они способны охлаждать горящие материалы, разбавлять зону реакции горения своими газообразными негорючими продуктами разложения и химически тормозить реакцию горения. К негорючим сыпучим материалам относятся огнетушащие порошки, песок, тальк, флюсы.

4.1. Огнетушащие порошковые составы

Впервые порошковые ОТВ были применены при тушении пожара в 1770 г. в Германии, когда в огонь была брошена бочка, специально начиненная алюминиевыми квасцами и содержащая пороховой заряд для распыления порошка. В России в конце XIX века инженером Н.Б. Шефтелем был разработан взрывной огнетушитель «Пожарогас», в котором в качестве ОТВ использовалась смесь из двууглекислой соды, квасцов или серноокислого аммония с примесью к ним 10 % инфузорной земли и 10 % асбестовых очесов. Наиболее бурное развитие порошкового пожаротушения началось в 60-х годах XX в., когда возникла необходимость обеспечения огнетушащими средствами атомных электростанций.

На сегодняшний день огнетушащие порошковые составы (ОПС) являются наиболее универсальными и эффективными веществами, применяемыми при тушении пожаров. Они нетоксичны, малоагрессивны, дешевы и удобны в обращении. ОПС используются при туше-

нии пожара любого класса, при этом выбор порошка определяется только условиями защищаемого объекта. Условно порошки можно разделить на порошки общего назначения (ПФ, ПСБ, ПИРАНТ) – для тушения пожаров классов А, В, С и специального назначения, например: МГС – для тушения натрия и лития, РС – для тушения щелочных металлов и др. Тушение разлившейся горючей жидкости огнетушащими порошковыми составами с помощью робота показано на рис. 7.



Рис. 8. Применение огнетушащих порошковых составов для тушения пожара разлития

Механизм огнетушащего действия порошковых составов обуславливается следующими факторами:

- охлаждением зоны горения за счет затрат тепла на нагрев, разложение и испарение частиц порошка;
- разбавлением горючей среды порошковым облаком или газообразными продуктами разложения порошка;
- эффектом огнепреграждения при прохождении пламени через узкие каналы, создаваемые порошковым облаком;
- ингибированием химических реакций горения.

Основными компонентами порошков являются:

- негорючая основа – 90–95 %;
- гидрофобизаторы (специальные составы, делающие обработанные материалы несмачиваемыми водой) – 3–5 %;
- депрессанты (добавки антислеживающие, преимущественно белая сажа) – 1–3 %;

- антиоксиданты (природные или синтетические вещества, способные замедлять окисление, т. е. ингибиторы окисления) – 0,5–2 %;
- целевые добавки (добавки для увеличения текучести, преимущественно нефелиновый концентрат) – 1–3 %.

В зависимости от негорючей основы смеси выделяют три основные группы порошков на основе:

- бикарбонатов щелочных металлов;
- фосфорно-аммонийных солей;
- хлоридов щелочных металлов.

Основные виды и краткие характеристики наиболее распространенных огнетушащих составов приведены в табл. 23.

Т а б л и ц а 23

Наиболее распространенные отечественные ОПС

Порошок	Состав порошка	Область применения
ПСБ-3	Механическая смесь бикарбоната натрия с химически осажденным мелом (углекислым кальцием), тальком и аэросилом АМ-1-300 (кремнийорганическая добавка). Бывают трех марок – А, Б, В. Марка А: 97–98 % бикарбоната натрия и 1,5–2,5 % аэросила. Марка Б: 91–94 % бикарбоната натрия, 4–6 % углекислого кальция и 1,5–2,5 % аэросила. Марка В: 91–94 % бикарбоната натрия, 1,5–2,5 % аэросила и 4–6 % талька	Для тушения ЛВЖ, ГЖ, растворителей, сжиженных газовых фонтанов, электроустановок под напряжением 1000 В. Можно применять для пожаротушения в сочетании с огнетушащей пеной
П-1А	99 % фосфорно-аммонийные соли и 1 % аэросила АМ-1-300	Для тушения твердых горючих материалов (древесины, бумаги, пластмасс, угля и др.), нефтепродуктов, сжиженных газов, газовых фонтанов электроустановок под напряжением до 1000 В
Пирант-А	96 % фосфаты и сульфаты аммония	Предназначен для тушения пожаров классов А, В, С, электроустановок, находящихся под напряжением до 1000 В

Порошок	Состав порошка	Область применения
ПС-1	Смесь карбоната натрия с графитом и стеаратов тяжелых металлов: 95–96 % соды, 1–1,5 % графита, улучшающего текучесть; 0,5–3 % стеарата металла (магния, цинка, кальция)	Для тушения горящих щелочных металлов и их сплавов
СИ-2	Мелкозернистый силикагель марки МСК (50 %), насыщенный хладон 114В2 (50 %)	Для тушения многих горючих веществ, в том числе пирофорных, кремнийорганических алюминийорганических соединений, а также гидридов металлов
ПХК	90 % хлорид калия	Относится к порошкам специального назначения и предназначен для тушения пожаров класса Д (порошки металлов, например магния и их соединения)
АОС	Аэрозолеобразующие составы	Способны к самостоятельному горению без доступа воздуха с образованием огнетушащих продуктов горения – инертных газов, высокодисперсных солей и окислов щелочных металлов

Наиболее перспективными на сегодняшний день являются порошковые составы ПХК и АОС. Их огнетушащее действие заключается в ингибировании химической реакции горения и уменьшении содержания кислорода в зоне горения. Особой эффективностью обладают аэрозольные огнетушащие составы АОС, представляющие собой пиротехнические либо твердотопливные композиции. При попадании в зону горения, АОС способны гореть без доступа кислорода, выделяя при этом малотоксичные и экологически безвредные негорючие инертные газы, высокодисперсные соли и окислы щелочных металлов, вытесняющие кислород. Существуют пламенные и охлажденные АОС.

Пламенные АОС имеют существенный недостаток, так как при срабатывании устройств, производящих аэрозолеобразующие составы,

возникает факел пламени, достигающий нескольких метров, а температура продуктов горения может составлять 1200–1500 °С.

Охлажденные аэрозолеобразующие составы из-за специальных добавок имеют температуру горения от 200 до 600 °С, но при этом содержат продукты неполного сгорания АОС, что значительно повышает их токсичность.

Основные показатели качества огнетушащих порошков:

– показатель огнетушащей способности, т. е. масса порошка, необходимая для тушения единицы площади открытой горячей поверхности;

– текучесть – способность порошка обеспечивать массовый расход через данное сечение в единицу времени под воздействием давления выталкивающего газа;

– плотность – отношение массы порошка к занимаемому им объему;

– устойчивость к термическому воздействию;

– устойчивость к вибрации и тряске;

– показатель слеживаемости, характеризующий способность огнетушащего порошка слеживаться под воздействием внешних факторов;

– срок сохраняемости.

Технические требования, предъявляемые к характеристикам огнетушащих порошков

В соответствии с ГОСТ Р 53280.4–2009 [11] огнетушащие порошки должны обладать следующими характеристиками:

– плотность неуплотненных порошков должна быть не менее 700 кг/м³;

– кажущаяся плотность уплотненных порошков должна быть не менее 1000 кг/м³;

– при ситовом анализе массовое количество остатка порошка на сите с сеткой № 05К по ГОСТ 6613 не должно отличаться от заявляемой производителем величины более чем на 10 % масс., при полном отсутствии порошка на сите 1000 мкм;

– массовая доля влаги должна быть не более 0,35 % масс.;

– склонность к влагопоглощению – увеличение массы должно составлять не более 3 %;

– склонность к слеживанию – масса образовавшихся комков не должна превышать 2 % от общей массы образца.

– способность к водоотталкиванию – порошки не должны полностью впитывать капли воды в течение не менее 120 мин.

– текучесть должна составлять не менее 0,28 кг/с. Остаток порошка после полного выброса не должен превышать 10 % от начальной массы порошка;

– огнетушательная способность порошка для тушения модельного очага пожара класса А. Порошки, предназначенные для тушения пожаров класса А, должны обеспечивать тушение модельного очага пожара 1А;

– огнетушательная способность порошка для тушения модельного очага пожара класса В и расход порошка на единицу площади горящей поверхности. Порошки, предназначенные для тушения пожаров класса В, должны обеспечивать тушение модельного очага пожара 55В с расходом не более 1 кг/м²;

– порошки, удовлетворяющие требованиям 4.1.10, используют для тушения пожаров класса С;

– порошки, предназначенные для тушения пожаров класса Е, должны иметь пробивное напряжение не менее 5 кВ;

– срок сохраняемости порошков должен составлять не менее 5 лет.

Основные недостатки ОПС:

– склонность к слеживанию и комкованию;

– из-за своей высокой дисперсности порошки образуют большое количество пыли, что приводит к необходимости специальной одежды и защиты органов дыхания и зрения;

– неэффективны при тушении тлеющих материалов и веществ, горящих без доступа кислорода;

– низкая охлаждающая способность, из-за которой возможны повторные вспышки пламени от раскаленных в огне предметов;

– кратковременность действия модулей порошкового пожаротушения (1–30 секунд), приводящая к возможности возникновения повторного горения и развитию пожара с прежней интенсивностью.

Способы подачи огнетушащего порошка при тушении пожара

На практике огнетушательная способность порошка зависит не только от его свойств, но и от способа подачи порошка в очаг возгорания. Режим подачи ОПС регламентируется следующими параметрами:

– минимальным удельным количеством ОТВ;

– интенсивностью его подачи;

– временем тушения [23].

Тушение порошковыми составами может быть поверхностным и объемным. При поверхностном тушении действие ОПС заключается в создании изолирующего слоя на поверхности горящего вещества и прекращении доступа к нему кислорода воздуха. При объемном пожаротушении огнетушательные свойства порошков проявляются в ингибиро-

вании процесса горения. Поэтому способы подачи ОПС зависят от класса пожара и от типа применяемого порошка. Так, например, для тушения металлов и металлосодержащих элементов порошки специального назначения создают равномерный слой порошкового покрытия на поверхности металла. Поверхностный способ тушения применяется и при тушении древесины. Для тушения порошками общего назначения органических горючих веществ в основном используется объемный способ тушения.

Подача ОПС в зону горения может осуществляться в виде сплошной струи, когда порошок подается из ручного или лафетного ствола. Длина струи при этом составляет 10–15 м для ручного ствола и 20–25 м для лафетного. Огнетушащая струя при этом делится по концентрации на три участка, соответственно 40, 40 и 20 %. Каждый из этих участков имеет различную эффективность при тушении различных материалов. Так, наиболее эффективной для тушения большинства газов и жидкостей является средняя часть струи, расположенная в 4–6 м от начала струи у ручных стволов и в области 10–12 м у лафетных. Ближняя часть струи не используется из-за близости расположения стволов к очагу горения, а конечная – из-за малой концентрации ОПС. Но конечная часть струи, общая протяженность которой составляет в среднем 2–6 м, может быть использована при тушении керосина, дизельного топлива, масел и т. п. [24].

При тушении пожара порошковыми составами возможно применение и многоструйного варианта, когда в зону горения порошковые смеси подаются в виде групп из отдельных струй. При этом в каждой группе оси смежных между собой струй располагаются под одинаковым углом относительно друг друга, и этот угол не превышает половины угла раскрытия каждой струи [25].

Кроме подачи ОПС в зону горения через стволы существуют способы импульсной подачи. Так, порошок можно распылять с помощью газа высокого давления. При этом скорость порошка, подаваемая через специальные пламяподавители, достигает примерно 80 м/с на небольших расстояниях до 1 м, затем облако порошка тормозится, его скорость падает до нуля и порошок опускается на горящую поверхность. Во взвешенном состоянии такое облако может находиться 1–2 мин.

Подавать порошок в зону горения можно и с помощью взрыва. При этом огнетушащее действие порошка усиливается за счет:

- отрыва фронта пламени ударной волной от горючей нагрузки;

– дробление фронта пламени на отдельные участки, не способные поддерживать горение;

– разбавление зоны горения инертными продуктами взрыва [26].

На использовании взрыва основан и вихрепорошковый способ тушения, разработанный в 1978 г. в Институте гидродинамики СО РАН. Данный способ разработан для тушения нефтяных и газовых фонтанов и заключается в создании вихревых колец, идущих вдоль оси факела снизу вверх. Образуются вихревые кольца с помощью подрыва зарядов небольшой мощности, расположенных по окружности факела. При своем движении вверх вихревое кольцо сдувает пламя, а чтобы избежать проскока пламени через кольцо, оно в момент подрыва заполняется огнетушащим порошком.

4.2. Расчет сил и средств, необходимых для тушения огнетушащими порошковыми составами

Расчет сил и средств, необходимых для успешного тушения пожара огнетушащими порошками сводится к определению следующих параметров [19]:

– требуемый расход порошка

$$Q_{\text{тр}} = S_{\text{п}} I_{\text{тр}}, \quad (4.1)$$

где $I_{\text{тр}}$ – требуемая интенсивность подачи порошка, обычно на практике для порошков общего назначения равной $0,3 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$;

– количество стволов

$$N_{\text{ст}}^{\text{т}} = \frac{Q_{\text{тр}}}{q_{\text{ст}}}, \quad (4.2)$$

где $Q_{\text{тр}}$ – требуемый расход порошка, кг/с;

$q_{\text{ст}}$ – расход одного ствола, кг/с;

– требуемое количество порошка

$$W_{\text{п}}^{\text{тп}} = S_{\text{п}} I_{\text{тр}} \tau_{\text{р}} \quad (4.3)$$

или

$$W_{\text{п}}^{\text{тп}} = S_{\text{п}} q_{\text{уд}}, \quad (4.4)$$

где $S_{\text{п}}$ – площадь пожара, м^2 ;

$I_{\text{тп}}$ – требуемая интенсивность подачи порошка, $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$;

$\tau_{\text{р}}$ – расчетное время тушения пожара, принимаемое равным 30 с;

$q_{\text{уд}}$ – требуемый удельный расход порошка, $\text{кг}/\text{м}^2$.

Усредненно удельный расход огнетушащих порошков общего назначения при тушении твердых и жидких горючих веществ и материалов принимается равным 2–5 $\text{кг}/\text{м}^2$. При использовании порошков специального назначения, т. е. при тушении пожаров металлов, удельный расход равняется 30–50 $\text{кг}/\text{м}^2$.

Глава 5. КОМБИНИРОВАННЫЕ СОСТАВЫ

5.1. Огнетушащие аэрозоли

Огнетушащие аэрозоли представляют собой смесь газов с высокодисперсными солями и окислами щелочных металлов. Подавление возгораний с помощью аэрозолей относится по принципу действия к объемному способу комбинированного газового и порошкового пожаротушения. Иногда этот способ называют еще и газопорошковым пожаротушением.

Аэрозольные огнетушащие составы (АОС) были разработаны как альтернатива огнетушащим хладонам, имеющим высокий озоноразрушающий потенциал. Образуются аэрозоли при сгорании твердотопливных композиций, основанных на смеси кислородосодержащих горючих компонентов, а также целевых и технологических добавок. В нормальных условиях твердотопливные компоненты химически устойчивы, а при нагреве от внешнего источника интенсивно разгораются и обеспечивают требуемый эффект. При сгорании этих композиций в зоне горения образуется аэрозоль, представляющий собой огнетушащую смесь высокодисперсных твердых частиц размером 0,5–2,5 мкм и нейтральных газов. Горение твердотопливных составов представляет собой окислительно-восстановительную реакцию, в которой в качестве восстановителя выступают органические и неорганические горючие вещества, а окислителем служит кислород, выделяющийся из кислородосодержащих неорганических солей при нагревании.

Компоненты АОС по своему эксплуатационно-технологическому назначению делятся на:

– *базовые*, которые обеспечивают устойчивое протекание химической реакции горения компонентов смеси и обычно состоящие из широко используемых окислителей и горючих;

– *целевые*, придающие составам, процессу горения и продуктам горения заданных эксплуатационных и физико-химических свойств;

– *технологические*, служащие для обеспечения безопасности, экономичности и технологичности самого процесса производства огнетушащих зарядов [3].

Все компоненты АОС по своему физико-химическому составу подразделяются на следующие категории:

– *окислители*, представляющие собой твердое вещество из неорганических солей с температурой плавления не ниже 60 °С (табл. 24) [4];

– *горючие компоненты*, выделяющие при сгорании большое количество газовой смеси и не содержащие токсичных соединений (табл. 25) [4];

– *связывающие вещества или цементаторы*, т. е. вещества, обеспечивающие механическую прочность АОС;

– *флегматизаторы*, уменьшающие чувствительность, скорость и температуру горения АОС;

– *стабилизаторы*, увеличивающие химическую стойкость состава;

– *катализаторы или ингибиторы*, ускоряющие или замедляющие процесс горения, т. е. аэрозолеобразования;

– *вещества специального технологического назначения*, такие как жирующие добавки, растворители и т. п. [4].

Таблица 24

**Физико-химические свойства неорганических солей,
использующихся в качестве окислителя**

Окислитель	<i>M</i>	ρ , г/см ³	$T_{пл}$, °С	$T_{разл}$, °С	O, %	N, %
KClO ₄	139	2,5	525–588	530–619	46	–
NaNO ₃	85	2,2	304–310	320–753	47	16,5
KNO ₃	101	2,1	332–337	360–805	40	14,6
Ba(NO ₃) ₂	261	3,2	592	555–692	30	10,7

Все твердотопливные АОС должны обладать высокой химической и физической стойкостью для длительного хранения, стабильно воспламеняться во время запуска установки при необходимой температуре, равномерно гореть с необходимой скоростью и при этом иметь минимальные взрывчатые свойства. АОС не должны содержать дефицитных или токсичных материалов в своем составе и, кроме этого, иметь несложный технологический процесс изготовления. Продукты сгорания АОС должны обладать высокой огнетушащей способностью

при минимальных удельных расходах состава, иметь не опасный для человека уровень токсичности, быть экологически безопасными и легко утилизируемыми. Также важно, чтобы аэрозольные продукты горения обладали минимальной коррозионной активностью и имели минимальную температуру.

Т а б л и ц а 25

Физико-химические свойства горючих компонентов АОС

Горючее	ρ , г/см ³	Температура, °С	$Q_{гор}$, кДж/г
Магний	1,7	$T_{пл} = 650, T_{кип} = 1105 - 1120,$ $T_{сmb} = 420 - 440,$	25,2
Идитол $C_{48}H_{42}O_7$	1,3	$T_{пл} = 90 - 105, T_{кип} = 570 - 620,$ $T_{сmb} = 522$	32,8
Эпоксидные смолы ЭД-5....ЭД-22	1,15– 1,25	$T_{восп} = 290 - 300,$ $T_{сmb} = 445 - 570$	30,7
Каучук натуральный	0,91	$T_{восп} = 129, T_{сmb} = 375$	41,9–44,8
Каучук синтетический	0,87– 1,08	$T_{восп} = 194 - 390,$ $T_{сmb} = 315 - 475$	28,0–45,2
Пороха нитроглицериновые	1,5–1,6	$T_{сmb} = 158 - 165$	3,7
Дициандиамид $C_2H_4N_4$	1,4	$T_{пл} = 209, T_{сmb} = 845$	–
Уголь древесный	0,4	$T_{сmb} = 340$	33,9
Стеарин	0,85– 0,94	$T_{пл} = 71 - 72, T_{восп} = 220,$ $T_{сmb} = 290$	36,9
Парафин	0,8–0,9	$T_{пл} = 44 - 60,$ $T_{восп} = 150 - 170,$ $T_{сmb} = 215 - 250$	45,8

Механизм огнетушащего действия АОС заключается в снижении содержания кислорода в защищаемом объеме и разбавлении горючей смеси негорючими газами, что приводит к снижению скорости химической реакции окисления и, как следствие, к снижению скорости и температуры горения. Для пожаротушения в основном применяют АОС с низким коэффициентом обеспеченности окислителем, т. е. в АОС содержится недостаточное количество кислорода для полного окисления горючих компонентов смеси. Это приводит к тому, что догорание недоокисленных продуктов происходит за счет кислорода воздуха в защища-

емом помещении, что и снижает его концентрацию. Последующее за этим снижение скорости и температуры горения обеспечивает более значительное время контакта высокодисперсных твердых частиц с зоной горения и соответственно более полную реализацию их физико-химических свойств. Становится более эффективным ингибирование цепных реакций горения, увеличивается теплопоглощение из зоны горения при нагреве и разложении твердых частиц. Все это и определяет столь высокую эффективность пожаротушения с применением АОС. Так, например, при нагревании до 20 °С 1 кг аэрозоля, в состав которого входит диоксид углерода, поглощается 389,37 кДж теплоты, что эквивалентно охлаждению 5 кг воздуха от 100 до 20 °С.

В целом повышенная эффективность применения аэрозолеобразующих огнетушащих составов по сравнению с газовым и порошковым пожаротушением объясняется тем, что:

- АОС образует большое количество газов, снижающих содержание кислорода в помещении и реакционную способность горючей смеси;
- высокодисперсные твердые частицы на основе соединений калия обладают более высокой химической активностью по ингибированию пламени;
- меньшие по сравнению с порошками размеры твердых частиц аэрозоля обладают более высоким теплопоглощением;
- благодаря более низкой скорости оседания твердых частиц аэрозоли создают более стабильные огнетушащие концентрации способные сохраняться десятки минут;
- аэрозоли имеют повышенную проникающую способность в труднодоступные зоны защищаемого объема.



Рис. 9. Применение огнетушащих аэрозолей

Аэрозоли хорошо проникают в глубокие трещины и мелкие поры, что позволяет использовать их при тушении древесины, волокнистых материалов, а также в кабельных туннелях, в помещениях с электроустановками, музеях, картинных галереях и т. п. Тушение огнетушащими аэрозолями на промышленном объекте показано на рис. 6.

К основным недостаткам огнетушащих аэрозолей можно отнести их токсичность и высокую химическую активность. Так, твердые частицы, входящие в состав аэрозоля, при взаимодействии с влагой создают сильную щелочную среду, что приводит к коррозии металлов и разложению органических веществ при попадании на их поверхности аэрозоля. Кроме того, применение аэрозолей приводит к практически полной потере видимости в защищаемом помещении.

5.2. Комбинированные составы эмульсии и пены

Комбинированные огнетушащие составы (КОС) создаются по двум принципам:

- огнетушащие свойства одного компонента должны дополнять огнетушащие свойства другого компонента;
- проникающая способность КОС должна быть выше, чем у отдельных компонентов смеси.

К составам, которые сочетают в себе свойства доступного носителя и высокие ингибирующие свойства, относятся водо-галоидоуглеводородные эмульсии и комбинации воздушно-механической пены с бромхладонами [28].

Водо-галоидоуглеводородные эмульсии сочетают в себе ингибирующие свойства галоидоуглеводородов и охлаждающие свойства воды. Но данные составы имеют высокую коррозионную активность, к тому же достаточно трудно постоянно поддерживать равномерность эмульсии воды и галоидоуглеводородов. Поэтому данные КОС не получили широкого распространения и применения.

Комбинации воздушно-механической пены с бромхладонами – комбинированный пенный состав, в котором пары хладона заменяют часть воздуха. Данная комбинация обладает уникальными свойствами:

- при подаче хладона в пенообразующую аппаратуру под давлением перемешивание пенообразователя происходит без дополнительных механических действий;
- тепло, которое затрачивается на испарение хладона, приводит к частичному замораживанию воды и образованию снежной пены;

– тушение происходит за счет изоляции горячей поверхности и ее охлаждения пеной, а также за счет флегматизации зоны горения выделяющимися парами хладона [28].

Эффективность тушения тем или иным огнетушащим веществом можно оценивать не только по интенсивности подачи ОТВ, но и показателем В.М. Кучера, т. е. безразмерным отношением интенсивности подачи огнетушащего вещества к скорости выгорания нефтепродукта χ . В табл. 26 приведены сравнительные данные по результатам оценки эффективности воздушно-механических пен с различными газовыми наполнителями при тушении горящих жидкостей [28].

Таблица 26

Характеристика водогазовых пен с различными газовыми наполнителями

Горючее	Наполнитель	Необходимая интенсивность подачи, л/(м ² ·с)	χ
Автомобильный бензин	Воздух	0,063	–
	Азот	0,025	0,52
	Хладон	0,015	1,57
Н-Гексан	Воздух	0,090	–
	Азот	0,031	0,31
	Хладон	0,012	0,68
Этиловый спирт	Азот	0,030	0,93
	Хладон	0,004	0,54

Анализируя данные таблицы, можно сделать вывод, что хладонная пена гораздо эффективнее обычной воздушно-механической, но по своей массовой интенсивности уступает пене с азотным наполнителем.

Бромхладоны используются и при создании безводной пены, в состав которой входят следующие вещества (табл. 27) [28].

Таблица 27

Состав безводной пены [28]

Состав	Концентрация, %
Хладон 12В1 или 114В	61,2
Поверхностно-активное вещество ПАВ	6,7
Хладон 13В1	30,3
Безводный этанол (для обезвоживания)	0,3
Пропеллент (азот)	0,3
Добавка для повышения стабильности пены	1,5

Данная пена имеет не только высочайшую огнетушащую эффективность, но и может использоваться даже при минусовых температурах благодаря низкой температуре замерзания.

5.3. Азотно-хладоновые и углекислотно-хладоновые составы

Данные комбинированные огнетушащие составы разработаны специально для объемного пожаротушения. Они также оказывают на пламя ингибирующее действие, но позволяют в несколько раз сократить расход дорогих и разрушающих озоновый слой бромхладонов. Кроме этого в данных составах условия испарения хладонов улучшаются, а следовательно, увеличивается и коэффициент его использования. Обычное соотношение компонентов в азотно-хладоновом составе составляет 95–99 % азота и 5–1 % хладона 114В2. Эффективность состава наглядно демонстрируют данные опытов по тушению водорода и нефтепродуктов в помещениях объемом от 30 до 300 м³, приведенные в табл. 28 [28].

Таблица 28

**Огнетушащая эффективность азотно-хладонового состава
и хладона 114В2**

Горючее	Концентрация КОС	Концентрация 114В2
Водород	0,53–1,19	16,0
Нефтепродукты	0,23–0,4	2,5–3

5.4. Комбинированные порошки типа СИ

Комбинированные порошки представляют собой смесь крупнопористого силикагеля с частицами не более 1–2 мм, насыщенного тетрафтордибромэтаном в пропорции около 50 % по массе. Эффективность порошков такова, что при тушении бензина с общей площадью возгорания 100 м² требуется всего лишь 10 кг порошка. Порошки более эффективны, чем другие огнегасительные составы и при тушении металлоорганических соединений. А также являются единственным средством тушения алюминийорганических соединений.

В отличие от обычных огнетушащих порошковых составов комбинированные порошки просты в изготовлении и не подвержены слеживанию. Достоинством является и то, что возможно восстановление качества состава СИ, а также простота контроля над его состоянием. Контроль заключается в регулярном взвешивании состава, так как тетрафтордибромэтан способен улетучиваться при хранении. А восстановление свойств состава заключается в добавлении насыщающего компонента до получения исходной массы. Допускается максимальная потеря массы порошка не более 3 % в месяц, а при снижении массы на 20 % необходимо донасытить состав.

К недостаткам состава СИ необходимо отнести их сравнительно высокую стоимость и способностью тонуть в горячей жидкости благодаря поглотительной способности сорбента. Поэтому при тушении жидкости применяют составы, в которых силикагель заменен веществами с меньшей сорбционной способностью.

Глава 6. ВЫБОР ОГNETУШАЩЕГО ВЕЩЕСТВА

Эффективность борьбы с пожарами во многом зависит от правильности выбора типа ОТВ, применяемого для тушения на защищаемом объекте. Объекты разнятся не только по своему функциональному назначению или по производственному процессу, проходящему в его стенах. При выборе ОТВ необходимо учитывать многие факторы, например:

- класс вероятного пожара;
- категорию объекта по пожарной безопасности;
- показатели пожарной опасности пожарной нагрузки на объекте;
- конструктивные и планировочные характеристики объекта;
- стоимость материальных ценностей, находящихся на объекте;
- физико-химические свойства огнетушащих веществ;
- возможности и условия применения данного типа ОТВ на объекте;
- способ тушения;
- воздействие ОТВ на персонал объекта.

В первую очередь определяются класс и подкласс вероятного пожара по ГОСТ 27331 и в соответствии с [13] осуществляется предварительный выбор огнетушащего вещества (табл. 29).

Таблица 29

Классификация пожаров по ГОСТ 27331 и рекомендуемые средства пожаротушения

Класс пожара	Подкласс пожара	Характеристика подкласса	Рекомендуемые средства пожаротушения
А	А1	Горение твердых веществ, сопровождаемое тлением (например, древесина, бумага, уголь, текстиль)	Вода со смачивателями, пена, хладоны, порошки типа АВСЕ
	А2	Горение твердых веществ, не сопровождаемое тлением (каучук, пластмассы)	Все виды огнетушащих средств

Класс пожара	Подкласс пожара	Характеристика подкласса	Рекомендуемые средства пожаротушения
	B1	Горение жидких веществ, нерастворимых в воде (бензин, нефтепродукты), а также сжижаемых твердых веществ (парафин)	Пена, тонкораспыленная вода, вода с добавкой фторированного ПАВ, хладоны, CO ₂ , порошки типа АВСЕ и ВСЕ
	B2	Горение полярных жидких веществ, растворимых в воде (спирты, ацетон, глицерин и др.)	Пена на основе специальных пенообразователей, тонкораспыленная вода, хладоны, порошки типа АВСЕ и ВСЕ
C	–	Бытовой газ, пропан, водород, аммиак и др.	Объемное тушение и флегматизация газовыми составами, порошки типа АВСЕ и ВСЕ, вода для охлаждения оборудования
D	D1	Горение легких металлов и их сплавов (алюминий, магний и др.), кроме щелочных	Специальные порошки
	D2	Горение щелочных металлов (натрий, калий и др.)	Специальные порошки
	D3	Горение металлосодержащих соединений (металлоорганические соединения, гидриды металлов)	Специальные порошки

Более подробные данные о применимости того или иного огнетушащего вещества для различных классов пожара приведены в рекомендациях научно-исследовательского института противопожарной обороны «Средства пожарной автоматики. Область применения. Выбор типа» (табл. 30 и 31) [12].

Данные, приведенные в таблицах, составлены методом экспертного анализа и позволяют проверить для предварительно выбранных ОТВ противопоказания по их применению. Так, цифра 3 в таблицах означает, что данное ОТВ отлично подходит при тушении данного материала или вещества. Цифра 2 означает, что ОТВ подходит хорошо, 1 – подходит, но не рекомендуется, «–» – не подходит.

**Применимость водяных и пенных огнетушащих веществ
для различных классов пожара**

Класс пожара	Горючие вещества и материалы	Распыленная вода	Тонкораспыленная вода	Распыленная вода со смачивателем	Воздушно-механическая пена			
					кратностью			на основе ПО фторированных пенкообразующих
					низкой	средней	высокой	
А	Твердые тлеющие вещества, смачиваемые водой (дерево и т. п.)	3	3	3	2	2	2	2
	Твердые тлеющие вещества, не смачиваемые водой (хлопок, торф, резина и т. п.)	1	1	2	2	2	2	2
	Твердые не тлеющие вещества (пластмассы и т. п.)	2	3	3	2	2	2	2
	Резинотехнические изделия (не тлеющие)	2	2	3	2	2	2	2
В	Предельные и непредельные углеводороды (гептан, бензин и т. п.)	Для ЛВЖ и ГЖ с $T_{всп} < 90^\circ\text{C}$			3	3	3	3
	Спирты водорастворимые	–	2	1	–	–	–	3
	Спирты водонерастворимые				1	1	1	3
	Кислоты водорастворимые	Для ЛВЖ и ГЖ с $T_{всп} < 90^\circ\text{C}$			–/1	–/1	–/1	2
	Эфиры простые и сложные				–	1	1	2
	Альдегиды и кетоны (ацетон и т. п.)	3	3	3	–	1	1	2
С	Углеводородные газы (метан и т. п.)	–	–	–	–	–	–	–
	Газы, образующиеся при реакции вещества с водой (ацетилен и т. п.)	–	–	–	–	–	–	1
	Водород	–	–	–	–	–	–	1

Класс пожара	Горючие вещества и материалы	Распыленная вода	Тонкораспыленная вода	Распыленная вода со смачивателем	Воздушно-механическая пена			
					кратностью			на основе ПО фторированных пленкообразующих
					низкой	средней	высокой	
Е	ЭВЦ	1	2	1	1	1	1	1
	Телефонные узлы	2	2	2	1	1	2	1
	Кабельные сооружения	3	3	3	3	2	-	1
	Трансформаторные подстанции	2	2	2	1	1	2	1
	Электроника	1	1	1	1	1	1	1

Таблица 31

Применимость газовых, порошковых и аэрозольных огнетушащих веществ для различных классов пожара

Класс пожара	Горючие вещества и материалы	Газовые ОТВ			Порошки		Огнетушащие аэрозоли
		инертные газы	СО ₂	хладоны	общего назначения	специального назначения	
А	Твердые тлеющие вещества, смачиваемые водой (дерево и т. п.)	2	2	2	2	-	-/1
	Твердые тлеющие вещества, не смачиваемые водой (хлопок, торф, резина и т. п.)	2	2	2	2	-	-/1
	Твердые не тлеющие вещества (пластмассы и т. п.)	3	3	3	2	-	3

Класс пожара	Горючие вещества и материалы	Газовые ОТВ			Порошки		Огнетушащие аэрозоли
		инертные газы	СО ₂	хладоны	общего назначения	специального назначения	
	Резинотехнические изделия (не тлеющие)	3	3	3	2	–	2
В	Предельные и непредельные углеводороды (гептан, бензин и т. п.)	3	3	3	3	3	3
	Спирты водорастворимые	3	3	3	3	3	3
	Спирты водонерастворимые	3	3	3	3	3	3
	Кислоты водорастворимые	3	3	3	3	3	3
	Эфиры простые и сложные	3	3	3	3	3	3
	Альдегиды и кетоны (ацетон и т. п.)	3	3	3	3	3	3
С	Углеродородные газы (метан и т. п.)	–	–	2	2	2	1
	Газы, образующиеся при реакции вещества с водой (ацетилен и т. п.)	1	1	1	2	2	1
	Водород	1	1	1	1	1	1
Е	ЭВЦ	3	3	3	1	–	–
	Телефонные узлы	3	3	3	1	–	–
	Кабельные сооружения	2	3	3	1	–	2
	Трансформаторные подстанции	3	3	3	2	–	2
	Электроника	3	3	3	1	–	2

Проанализировав данные таблиц, можно сделать вывод, что *водопенные огнетушащие вещества* не подходят и запрещены для тушения таких материалов, как:

- алюминийорганические соединения из-за возникновения реакции со взрывом;
- литийорганические соединения, гибриды таких металлов как алюминий, магний, цинк, а также карбидов кальция, алюминия и бария, выделяющих горючие газы при разложении;
- гидросульфит натрия, взаимодействие которого с водой приводит к самовозгоранию;

– серная кислота, термиты и хлорид титана из-за возникающего сильного термического эффекта;

– битум, петролатум, жиры, масла, перекись натрия, усиливающих горение в результате вскипания и разбрызгивания.

Газовые огнетушащие вещества нельзя применять при тушении пожаров:

– пористых, волокнистых, сыпучих и других горючих веществ, способных к самовозгоранию и внутреннему тлению, например, опилки, хлопок и т. п.;

– химических веществ и материалов, склонных к тлению и горению без доступа воздуха;

– пирофорных веществ и гибридов металла;

– порошков металла, таких как натрий, калий, магний, титан и т. п.

Кроме того, выбирая газовые ОТВ для тушения пожаров класса С, необходимо учитывать вероятность образования взрывоопасной атмосферы при взаимодействии некоторых газов. Не следует забывать и о том, что некоторые газовые ОТВ, например хладон 114В2 и хладон 13В1, активно разрушают озоновый слой и поэтому их следует применять только для противопожарной защиты объектов особой важности.

Огнетушащие порошки не должны применяться для тушения горючих веществ, склонных к самовозгоранию и внутреннему тлению, а также для тушения химических веществ, способных гореть и тлеть без доступа воздуха.

Огнетушащие аэрозоли, хотя и являются одним из наиболее эффективных и универсальных ОТВ, имеют ограничения к применению по величине объема защищаемых помещений. Аэрозоли не применяются в помещениях высотой более 10 м или объемом более 10 000 м³. Ограничено применение огнетушащих аэрозолей и при тушении кабельных сооружений. Так, например, данное ОТВ применяется в коллекторах или шахтах объемом не более 3000 м³.

После определения соответствия ОТВ классу пожара необходимо определить вероятный способ пожаротушения для выбранных ОТВ.

При пожаротушении используются поверхностный и объемный способы борьбы с возгораниями. Поверхностное пожаротушение осуществляется за счет воздействия на поверхность защищаемого помещения, а объемное обеспечивается созданием в объеме помещения среды, не поддерживающей горение. Для каждого способа пожаротушения существуют свои оптимальные огнетушащие вещества. Так, в табл. 32 приведены возможные виды применяемых ОТВ в зависимости от способа пожаротушения [12].

Возможные виды применяемых ОТВ в зависимости от способа пожаротушения

Способ тушения	Применяемое ОТВ
По поверхности	Вода (распыленная или тонкораспыленная, с добавками и без добавок)
	Пена (средней или низкой кратности)
	Порошок общего или специального назначения
По объему	Пена (высокой или средней кратности)
	Газовые огнетушащие вещества
	Порошок общего назначения
	Огнетушащие аэрозоли
Локальный по поверхности	Вода (распыленная или тонкораспыленная, с добавками и без добавок)
	Пена (средней или низкой кратности)
	Порошок общего или специального назначения
Локальный по объему	Пена (высокой или средней кратности)
	Газовые огнетушащие вещества
	Порошок общего назначения

По данным таблицы хорошо видно, что выбор способа пожаротушения во многом определяет и выбор огнетушащего вещества. При этом следует учитывать особенности локальных способов пожаротушения, применяющихся в тех случаях, когда пожарная защита помещения в целом экономически нецелесообразна или технически невозможна. Так, например, для локального пожаротушения по объему высокократной пеной необходимо ограждать защищаемые агрегаты металлической сеткой высотой более 1 м и с размером ячейки не более 5 мм. Есть свои ограничения и при локальном пожаротушении с помощью огнетушащего порошка – порошок применяется только в тех помещениях, где скорость воздушных потоков не превышает 1,5 м/с.

При выборе способа пожаротушения необходимо также учитывать и экранирующее действие некоторых конструктивных элементов защищаемого помещения, способных мешать непосредственной подаче ОТВ на поверхность возгорания. Так, например, для подачи водопенных ОТВ на технологическое оборудование, установленное на приподнятых на высоту более 0,7 м от пола или наклонных площадках, а также на вентиляционные короба шириной более 0,75 м, следует дополнительно устанавливать дренчерные или спринклерные оросители с побудительной системой под данные площадки и короба.

Глава 7. РАСЧЕТ НЕОБХОДИМОГО КОЛИЧЕСТВА ОГNETУШАЩЕГО ВЕЩЕСТВА

Практический расчет количества ОТВ, необходимого для тушения пожара, зависит от нескольких факторов [2]:

- от интенсивности подачи ОТВ в зону горения;
- от класса и вида пожара;
- от характера развития пожара;
- от вида ОТВ;
- от свойств и состояния горючего вещества;
- от условий тушения.

7.1. Определение времени тушения пожара

На практике учитывается расчетное и фактическое время тушения пожара.

Расчетное время тушения пожара – это оптимальное установленный период непосредственного тушения пожара при заданной интенсивности подачи огнетушащего вещества без учета времени дотушивания [18].

Расчетное время тушения является необходимым показателем и обозначает оптимально установленный период непосредственного тушения при заданной интенсивности подачи ОТВ без учета дотушивания. Если за расчетное время при заданной интенсивности подачи пожар ликвидировать не удастся, то интенсивность подачи ОТВ увеличивается за счет введения дополнительных технических средств. В крайнем случае применяют другое ОТВ или другие способы прекращения горения, но расчетное время тушения не должно быть превышено.

Определяется расчетное время, так же как и интенсивность, опытным путем с учетом практики тушения подобных пожаров. Это время указывается в соответствующих документах по тушению пожаров. Значения расчетного времени тушения пожаров для некоторых объектов приведены в табл. 33.

В случаях, когда при тушении пожара существует предел времени, для расчета сил и средств, необходимых для успешного пожаротушения, значение расчетного времени принимается максимальным.

Т а б л и ц а 33

Расчетное время тушения пожаров на различных объектах

Объект	Время расчетное, мин
Жилые, административные и другие здания (тушение водой)	10–20
Кабельные туннели электростанций и подстанций, подвалы и другие заглубленные помещения (объемное тушение пеной)	10–15
Объекты с наличием каучука, резины и изделий из них (тушение водой)	50–60
Объекты с наличием пластмасс и изделий из них (тушение водой)	20–30
Подвалы, насосные станции, помещения повышенной герметичности и пожарной опасности (объемное тушение инертными газами водяным паром, огнетушащими составами)	2–3
Технологические установки по переработке нефти и нефтепродуктов (тушение воздушно-механической пеной)	30
Резервуарные парки с ЛВЖ и ГЖ при тушении	
Воздушно-механической пеной	10
Распыленной водой	1
Огнетушащим порошковым составом	0,5

Иногда расчетное время совпадает с фактическим временем тушения пожара, например, при тушении резервуаров с нефтепродуктами, но в основном фактическое время превышает расчетное.

Фактическое время тушения пожара $\tau_{\text{ф}}$ – это период от начала локализации пожара до полной его ликвидации [18]:

$$\tau_{\text{ф}} = \tau_{\text{лок}} + \tau_{\text{лик}} = \tau_{\text{лок}} + \tau_{\text{р}} + \Delta\tau, \quad (7.1)$$

где $\tau_{\text{лок}}$ – время локализации пожара, т. е. время, прошедшее от начала подачи ОТВ до момента локализации пожара, мин;

$\tau_{\text{лик}}$ – время ликвидации пожара, равное временному промежутку от локализации пожара до момента полного прекращения горения, мин;

$\tau_{\text{р}}$ – расчетное время тушения пожара, мин;

$\Delta\tau$ – время дотушивания пожара, т. е. время, необходимое для разборки конструкций, проливки огнетушащим средством разогретых материалов и т. д., мин.

Продолжительность ликвидации $\tau_{\text{лик}}$ при неизменной скорости тушения пожара можно определить по формулам

$$\tau_{\text{лик}} = \frac{S_{\text{п}}^{\text{лок}}}{V_{\text{т}}} \quad (7.2)$$

или

$$\tau_{\text{лик}} = \frac{S_{\text{п}}^{\text{лок}} q_{\text{уд}}}{Q_{\text{н}}}, \quad (7.3)$$

где $S_{\text{п}}^{\text{лок}}$ – площадь пожара на момент локализации, м²;

$V_{\text{т}}$ – скорость тушения площади пожара, м²/мин;

$q_{\text{уд}}$ – удельный расход огнетушащего вещества, л/м²;

$Q_{\text{н}}$ – необходимый расход огнетушащего вещества, л/с.

Время дотушивания $\Delta\tau$ обычно принимается в зависимости от оперативно-тактической характеристики защищаемого объекта, от размеров возможного пожара, от объема предполагаемых работ по разборке конструкций и т. д. Поэтому расчет $\Delta\tau$ для каждого защищаемого объекта проводится заблаговременно

7.2. Расчет интенсивности подачи ОТВ

В зависимости от расчетной единицы параметра пожара интенсивность подачи ОТВ подразделяется на поверхностную, линейную и объемную [18].

Поверхностной интенсивностью подачи ОТВ I_s называется количество ОТВ, подаваемого в единицу времени на единицу площади пожара:

$$I_s = \frac{m_{\text{ОТВ}}}{\tau_{\text{туш}} S_{\text{туш}}}, \frac{\text{л}}{\text{с}} \cdot \text{м}^2, \quad (7.4)$$

где $m_{\text{ОТВ}}$ – масса огнетушащего вещества, л;

$\tau_{\text{туш}}$ – время тушения, с;

$S_{\text{туш}}$ – площадь тушения, м^2 .

Линейной интенсивностью подачи ОТВ I_p называется количество ОТВ, подаваемое в единицу времени на единицу периметра или фронта пожара:

$$I_p = \frac{m_{\text{ОТВ}}}{\tau_{\text{туш}} P_{\text{п}}} \quad \text{или} \quad I_p = \frac{m_{\text{ОТВ}}}{\tau_{\text{туш}} \Phi_{\text{п}}}, \frac{\text{л}}{\text{с}} \cdot \text{м}^2, \quad (7.5)$$

где $P_{\text{п}}$ – периметр пожара, м;

$\Phi_{\text{п}}$ – фронт пожара, м.

Линейная интенсивность подачи ОТВ не является обязательным показателем при расчете сил и средств для тушения пожара, но тем не менее этот показатель при расчетах не исключается. Рассчитать линейную интенсивность подачи можно и через поверхностную интенсивность:

$$I_p = I_s h_{\text{туш}}, \quad (7.6)$$

где $h_{\text{туш}}$ – глубина тушения пожарного ствола.

Объемной интенсивностью подачи ОТВ I_v называется количество огнетушащего средства, подаваемое в единицу времени на единицу объема зоны горения или горящего помещения:

$$I_v = \frac{m_{\text{ОТВ}}}{\tau_{\text{туш}} V_{\text{п}}}, \frac{\text{л}}{\text{с}} \cdot \text{м}^3, \quad (7.7)$$

где $V_{\text{п}}$ – объем зоны горения или горящего помещения, м^3 .

Наиболее часто в расчетах сил и средств, необходимых для успешного тушения пожара, используется поверхностная интенсивность подачи. Для примера некоторые значения требуемой интенсивности подачи воды приводятся в табл. 34 [19].

Таблица 34

Требуемая интенсивность подачи воды

Защищаемый объект	Необходимая интенсивность подачи (л/с · м ²)
Административные здания	0,08–0,1
Гостиницы, здания II и III степени огнестойкости	0,08–0,1
Жилые здания	0,1–0,2
Производственные цеха и помещения категорий А, Б, В	0,06–0,2

В табл. 34 приведены обобщенные цифры, демонстрирующие интервал разброса значений интенсивности подачи воды и не учитывающие конкретной обстановки на объекте. На практике же в справочной литературе имеются конкретные данные для того или иного объекта.

Часто на практике приходится определять интенсивность подачи огнетушащего вещества на защиту различных объектов, например, для их охлаждения. При этом интенсивность подачи ОТВ можно рассчитать по формуле

$$I_{\text{защ}} = 0,25I_{\text{туш}}, \quad (7.8)$$

где $I_{\text{туш}}$ – интенсивность подачи ОТВ на тушение.

Интенсивность подачи огнетушащего вещества всегда зависит от времени тушения пожара. Чем больше интенсивность подачи, тем меньшее расчетное время требуется для тушения (и наоборот). Область интенсивности подачи от нижнего до верхнего предела называется областью тушения. На выбор интенсивности оказывает влияние расположение пожарной нагрузки по высоте помещения. Поэтому на практике необходимо выбирать такую интенсивность подачи ОТВ, которая может быть реализована существующими средствами пожаротушения и обеспечить максимальную эффективность с минимальными расходами ОТВ за оптимальное время.

Требуемая интенсивность подачи ОТВ изменяется в довольно широких пределах даже для одного и того же вида пожарной нагрузки.

Она зависит от коэффициента поверхности горения, плотности и расположения самой пожарной нагрузки и от многих других факторов. В табл. 35 приведены данные о требуемой интенсивности подачи воды для тушения твердых горючих материалов в зависимости от интенсивности тепловыделения при их горении.

Таблица 35

**Зависимость интенсивности подачи воды
от интенсивности тепловыделения**

Интенсивность тепловыделения Q , Вт/м ²	Требуемая интенсивность подачи воды, л/с · м ²
0,14	0,05
0,29	0,1
0,58	0,2
1,06	0,4

В целом, интенсивность подачи I определяется либо опытным путем, либо с помощью расчетов при анализе уже потушенных пожаров по формуле

$$I = Q_{oc} / 60T_T\Pi \text{ (л/м}^2 \cdot \text{с, кг/м}^2 \cdot \text{с, кг/м}^3 \cdot \text{с, м}^3/\text{м}^3 \cdot \text{с, л/м} \cdot \text{с)}, \quad (7.9)$$

где Q_{oc} – расход ОТВ во время тушения пожара, л, кг, м³;

T_T – время тушения пожара, мин;

Π – величина расчетного параметра пожара, м³, м², м.

Кроме того, интенсивность подачи можно определить и через фактический удельный расход ОТВ:

$$I = Q_y / 60T_T\Pi, \quad (7.10)$$

где Q_y – фактический удельный расход ОТВ за время прекращения горения, л, кг, м³.

Для зданий и помещений интенсивность подачи определяют по тактическим расходам ОТВ на имевших место пожарах:

$$I = Q_\phi / \Pi, \quad (7.11)$$

где Q_ϕ – фактический расход ОТВ, л/с, кг/с, м³/с.

Но в основном интенсивность подачи ОТВ выбирается из таблиц, где приведены средние значения интенсивности подачи, определенные

опытным путем и практикой тушения пожара. Например, в табл. 36 приведены значения интенсивности подачи воды при тушении жилых зданий.

Т а б л и ц а 36

Значения интенсивности подачи воды при тушении жилых зданий

Жилые дома и подсобные постройки	Интенсивность подачи воды, л/м ² ·с
I – III степени огнестойкости	0,03
IV степени огнестойкости	0,1
V степени огнестойкости	0,15
Подвальные помещения	0,15
Чердачные помещения	0,15

Зная интенсивность подачи ОТВ, можно определить его расход при тушении того или иного пожара.

7.3. Определение удельного расхода ОТВ

Удельным расходом ОТВ $q_{уд}$ называется его расход на расчетный параметр пожара за все время тушения. Рассчитывается удельный расход ОТВ по формуле:

$$q_{уд} = Q^{ОТВ} / П, \text{ л/м}^2 \quad (7.12)$$

или

$$q_{уд} = I \tau_{туш}, \quad (7.13)$$

где $Q^{ОТВ}$ – объем ОТВ, необходимый для тушения пожара;

$П$ – величина расчетного параметра пожара, например площадь, м²;

I – интенсивность подачи ОТВ, л/м²·с;

$\tau_{туш}$ – время тушения, мин.

Удельный расход ОТВ является одним из основных параметров тушения пожара. В первую очередь он зависит от физико-химических свойств пожарной нагрузки и огнетушащих веществ. Кроме того, он зависит от коэффициента поверхности веществ пожарной нагрузки и удельных потерь ОТВ, возникающих в процессе подачи его в зону горения и нахождения в ней.

Причинами удельного расхода потерь являются:

- конвективные потоки и ветер при пожаре, влияющие на отклонение и распыление струй подаваемого огнетушащего вещества;
- неблагоприятные условия для работы ствольщиков, не позволяющие близко приблизиться к месту горения;
- наличие в зоне горения скрытых поверхностей горючего материала от воздействия огнетушащего вещества;
- разрушение огнетушащих средств под влиянием высокой температуры.

Анализ тушения пожаров показывает, что фактический удельный расход, например воды при тушении пожара в зданиях, колеблется в пределах 400–600 л/м², а удельный расход воды на охлаждение пожарной нагрузки может изменяться от 80 до 160 л/м².

Именно из-за наличия потерь различают два вида удельного расхода ОТВ – требуемый и фактический.

Требуемый удельный расход $q_{уд}^{тр}$ определяется из выражения

$$q_{уд}^{тр} = I_{тр} \tau_p, \quad (7.14)$$

где $I_{тр}$ – требуемая интенсивность подачи огнетушащего вещества, л/с;

τ_p – время тушения пожара на расчетной площади, мин (табл. 37) [19].

Таблица 37

Средние значения расчетного времени тушения в зависимости от расчетной площади тушения

Расчетная площадь тушения, м ²	Расчетное время тушения, мин	Расчетный удельный расход воды, л/м ²
<200	5...10	300...600
От 200 до 600	10...15	600...900
>600	15...30	900...15 000

Фактический удельный расход ОТВ $q_{уд}^{\phi}$, подаваемого к поверхности горящего вещества, представляет собой сумму необходимого удельного расхода q_n и удельного расхода потерь $q_{пот}$.

$$q_{уд}^{\phi} = q_n + q_{пот}. \quad (7.15)$$

Величина необходимого удельного расхода q_H зависит от многих факторов. Например, от физико-химических свойств и интенсивности тепловыделения горящего материала, от пожарной нагрузки и времени свободного горения, вида пожара, типа ОТВ и др. При любом пожаре на ранней стадии его развития от 40 до 80 % выделяющейся тепловой энергии расходуется на нагрев ограждающих конструкций и оборудования. Поэтому при тушении пожара необходимо не только непосредственно бороться с огнем, но и охлаждать оборудование, находящееся в помещении до безопасных, порядка 50...60 °С, температур. Опыт пожаротушения показывает, что за время свободного развития и тушения пожара выгорает около 50 % пожарной нагрузки, а подаваемая при тушении вода полностью уходит на ее охлаждение. Поэтому по тепловому балансу необходимый удельный расход можно рассчитать по формуле

$$q_H = \frac{(0,5P(0,4...0,8)Q_H^p)}{Q_B}, \frac{\text{л}}{\text{м}^2}, \quad (7.16)$$

где P – пожарная нагрузка в помещении, кг/м²;

Q_H^p – низшая теплота сгорания горючего материала, кДж/кг;

Q_B – количество тепла, поглощенное 1 кг воды при полном ее испарении, кДж/кг.

Кроме удельного расхода ОТВ, одним из основных показателей в организации тушения пожара, а также при расчете сил и средств для тушения является понятие *расхода огнетушащего вещества*.

7.4. Определение расхода ОТВ

Различают три вида расхода ОТВ: требуемый и фактический.

Требуемый расход – весовое или объемное количество ОТВ, подаваемое в единицу времени на величину соответствующего параметра тушения пожара или защиты объекта. По требуемому расходу оценивают необходимую скорость сосредоточения ОТВ на пожаре, условия локализации пожара, а также определяют необходимое количество технических устройств для подачи ОТВ.

С учетом того, что требуемый расход необходимо учитывать не только для непосредственного тушения пожара, но и для защиты

объектов от дальнейшего распространения пламени, формула общего требуемого расхода имеет вид

$$Q_{\text{тр. общ}} = Q_{\text{тр.т}} + Q_{\text{тр.з}}, \quad (7.17)$$

где $Q_{\text{тр.т}}$ – требуемый расход ОТВ на тушение;

$Q_{\text{тр.з}}$ – требуемый расход ОТВ на защиту.

Требуемый расход на тушение рассчитывается по формуле

$$Q_{\text{тр. т}} = \Pi I_{\text{тр. т}}, \quad (7.18)$$

где $Q_{\text{тр. т}}$ – требуемый расход ОТВ на тушение пожара, л/с, кг/с, м³/с;

Π – величина расчетного параметра тушения пожара: площадь – м², объем – м³, периметр или фронт – м;

$I_{\text{тр. т}}$ – интенсивность подачи ОТВ для тушения пожара: поверхностная I_s – л/(м²·с), кг/(м²·с), объемная I_v – л/(м³·с), кг/(м³·с), линейная I_l – л/(м·с).

Требуемый расход воды на защиту объекта определяют по формуле

$$Q_{\text{тр.з}} = \Pi_3 I_{\text{тр.з}}, \quad (7.19)$$

где $Q_{\text{тр.з}}$ – требуемый расход воды на защиту объекта, л/с;

Π_3 – величина расчетного параметра защиты: площадь, м², периметр или часть длины защищаемого участка, м;

$I_{\text{тр.з}}$ – поверхностная (или соответственно линейная) интенсивность подачи воды для защиты в зависимости от принятого расчетного параметра, л/(м²·с), л/(м·с).

При объемном тушении пожара, например пеной средней или высокой кратности, требуемый расход пены для заполнения помещения определяют по формуле

$$Q_{\text{тр. п}} = V_{\text{п}} K_3 / \tau_{\text{р}}, \quad (7.20)$$

где $Q_{\text{тр. п}}$ – требуемый расход пены, м³/мин;

$V_{\text{п}}$ – объем, заполняемый пеной, м³;

τ_p – расчетное время тушения, мин;

K_3 – коэффициент, учитывающий разрушение пены, принимаемый в пределах 1,5–3.

Фактический расход – это весовое или объемное количество ОТВ, фактически подаваемого в единицу времени на величину соответствующего параметра тушения пожара или защиты объекта, которому угрожает опасность. По фактическому расходу оценивают действительную скорость сосредоточения ОТВ и условия локализации пожара по сравнению с требуемым расходом, определяют необходимое число пожарных машин основного назначения с учетом использования насосов на полную тактическую возможность, обеспеченность объекта водой при наличии противопожарного водопровода и другие показатели. По величине фактический расход не может быть меньше требуемого, что является необходимым фактором в создании условия локализации пожара.

В общем виде фактический расход определяют по формуле и измеряют теми же единицами, что и требуемый расход:

$$Q_{\text{ф. общ}} = Q_{\text{ф. т}} + Q_{\text{ф. з}}, \quad (7.21)$$

где $Q_{\text{ф. т}}$ и $Q_{\text{ф. з}}$ – соответственно фактические расходы ОТВ на тушение пожара и защиту, л/с, кг/с, м³/с.

Фактический расход ОТВ зависит от числа и тактико-технической характеристики приборов подачи данных веществ, например, водяных стволов, СВП, ГПС и других.

$$Q_{\text{ф. т}} = N_{\text{приб}}^{\text{туш}} q_{\text{приб}}, \text{ л/с}, \quad (7.22)$$

где $N_{\text{приб}}^{\text{туш}}$ – количество технических приборов, обеспечивающих подачу ОТВ на тушение;

$q_{\text{приб}}$ – расход технических приборов, обеспечивающих подачу ОТВ на тушение, л/с.

$$Q_{\text{ф. з}} = N_{\text{приб}}^{\text{защ}} q_{\text{приб}}, \text{ л/с}, \quad (7.23)$$

где $N_{\text{приб}}^{\text{заш}} -$ количество технических приборов, обеспечивающих подачу огнетушащего вещества на защиту.

К сожалению, в справочной литературе далеко не всегда есть данные по интенсивности подачи ОТВ. Например, практически полностью отсутствуют данные по интенсивности подачи воздушно-механической пены или раствора пенообразователя при тушении пожаров по объему. В этом случае величину требуемого расхода пены при объемном тушении можно определить по формуле

$$Q_{\text{тр}}^{\text{п}} = \frac{V_{\text{п}} K_3}{\tau_{\text{р}}}, \quad (7.24)$$

где $V_{\text{п}} -$ объем помещения, который необходимо заполнить пеной, м^3 ;

$K_3 -$ коэффициент запаса пены, учитывающий ее разрушение и потери;

$\tau_{\text{р}} -$ расчетное время тушения пожара, мин.

Расчетные значения времени тушения пожара в зависимости от объекта и применяемого ОТВ приведены в табл. 38 [18].

Т а б л и ц а 38

Расчетное время тушения пожаров

Объект	Действие по применению ОТВ	Время тушения $\tau_{\text{р}}$, мин
Газовые и нефтяные фонтаны	1-й этап – подготовка к тушению: охлаждение скважины и прилегающей территории, орошение фонтана, тушение очагов горения вокруг скважин	60
	2-й этап – непосредственное тушение выбранным способом:	
	– закачкой воды в скважину	5
	– водяными струями	60
	– газоводяными струями	15
	3-й этап – охлаждение устья скважины и орошение фонтана	60

Объект	Действие по применению ОТВ	Время тушения τ_p , мин
Жилые, административные и другие здания	Тушение водой	10–20
Кабельные туннели электростанций и подстанций, подвалы и другие заглубленные помещения	Объемное тушение водой	10–15
Нефтеналивные танки, машинные отделения, трюмы и надстройки судов	Тушение водой	15
Объекты с наличием каучука, резины и изделий из них	Тушение водой	50–60
Объекты с наличием пластмасс и изделий из них	Тушение водой	20–30
Подвалы, насосные станции, помещения повышенной герметичности и пожарной опасности	Объемное тушение инертными газами, водяным паром, огнетушащими составами	2–3
Резервуарные парки с ЛВЖ и ГЖ	Тушение воздушно-механической пеной	15
	Тушение огнетушащим порошковым составом	0,5
	Тушение распыленной водой	1
Технологические установки по переработке нефти и нефтепродуктов	Тушение воздушно-механической пеной	30

Коэффициент запаса пены K_3 также является переменной величиной и зависит от ряда факторов. Например, он зависит от планировки помещения, от температуры в данном помещении, от наличия в нем предметов, нагретых до высокой температуры, и т. д. Наиболее в общем плане коэффициент K_3 , а также расчетное время запаса тушения пожара τ_3 можно принимать согласно данным табл. 39 [18].

**Значения коэффициентов запаса, учитываемых при расчете сил
и средств для тушения пожаров**

Объект	Применяемое ОТВ	Коэффициент запаса пены K_3	Расчетное время запаса τ_3 , ч
Большинство пожаров	Вода на период тушения	5	–
	Вода на период дотушивания	–	3
Пожары, для объемного тушения которых применяют газовые ОТВ	Диоксид углерода	1,25	–
	Галоидоуглеводороды	1,3	–
	Пенообразователь для тушения в машинных отделениях, трюмах и надстройках	3	–
Пожары на судах			
Пожары нефти и нефтепродуктов в резервуарах	Пенообразователь	3	–
	Вода для тушения пеной	5	–
	Вода для охлаждения наземных резервуаров: – передвижными средствами – стационарными	– –	6 3
	Вода для охлаждения подземных резервуаров	–	3
Пожары на технологических установках по переработке нефти и нефтепродуктов	Пенообразователь	3	–
Пожары в подвалах и других заглубленных помещениях при объемном тушении пеной средней и высокой кратности	Пенообразователь	2–3	–

7.5. Определение необходимого запаса ОТВ на тушение и защиту

Необходимый запас ОТВ $G_{\text{общ}}^{\text{ОТВ}}$, л, – это весовое или объемное количество ОТВ, которое должно быть сосредоточено на месте пожара для обеспечения его тушения и защиты негорящих объектов с учетом запаса (резерва).

Расчет необходимого запаса ОТВ проводится по каждому виду ОТВ. Так, необходимый запас воды при ликвидации пожаров и защите негорящих объектов $G_{\text{общ}}^{\text{ОТВ}}$ рассчитывают по формуле

$$G_{\text{общ}}^{\text{ОТВ}} = 60Q_{\text{фт}}\tau_{\text{р}}K_3 + 3600Q_{\text{фз}}\tau_{\text{защ}}, \text{ л}, \quad (7.25)$$

где $Q_{\text{фт}}$ – фактический расход воды на тушение, л/с;

$Q_{\text{фз}}$ – фактический расход воды на защиту, л/с;

$\tau_{\text{р}}$ – расчетное время тушения пожара, мин;

K_3 – коэффициент запаса воды для тушения пожара (табл. 39);

$\tau_{\text{защ}}$ – время, на которое рассчитан запас воды на защиту, ч (табл. 39).

Необходимый запас воды при тушении пеной и защите объекта водой определяется по той же формуле, но расход приборов подачи пены определяется по воде.

При тушении пеной, галоидоуглеводородами, негорючими газами, порошками и другими ОТВ их необходимый запас определяется по формуле

$$G_{\text{общ}}^{\text{ОТВ}} = 60N_{\text{приб}}^{\text{туш}}q_{\text{приб}}^{\text{ОТВ}}\tau_{\text{р}}K_3, \quad (7.26)$$

где $N_{\text{приб}}^{\text{туш}}$ – количество технических приборов, обеспечивающих подачу огнетушащего вещества на тушение;

$q_{\text{приб}}^{\text{ОТВ}}$ – расход прибора подачи по ОТВ, л/с, кг/с, м³/с;

$\tau_{\text{р}}$ – расчетное время тушения пожара, мин;

K_3 – коэффициент запаса данного ОТВ для тушения пожара (табл. 39).

Запас воды на защиту в случае тушения порошками или газами определяется по формуле

$$G_{\text{общ}}^{\text{ОТВ}} = 3600 N_{\text{приб}}^{\text{защ}} q_{\text{приб}}^{\text{защ}} \tau_{\text{защ}} K_3, \quad (7.27)$$

где $N_{\text{приб}}^{\text{защ}}$ – количество технических приборов, обеспечивающих подачу воды на защиту;

$q_{\text{приб}}^{\text{защ}}$ – расход прибора подачи воды на защиту, л/с, кг/с, м³/с;

$\tau_{\text{защ}}$ – время, на которое рассчитан запас воды на защиту, ч [18].

7.6. Расчет количества сил и средств, необходимых для тушения пожара

Расчет сил и средств заключается в определении количества приборов, необходимых для подачи ОТВ, объема помещения, в котором можно потушить пожар одним прибором, а также в определении количества автомобилей, необходимых для доставки ОТВ.

Методики расчета сил и средств пожаротушения для различных классов пожара могут быть различными. Поэтому данные методики также классифицируются по видам пожара и по способу подачи ОТВ. В самом общем виде расчет сил и средств сводится к определению требуемого расхода ОТВ $Q_{\text{тр}}$, определить который можно по формуле

$$Q_{\text{тр}} = S_{\text{п}} I_{\text{тр}}, \quad (7.28)$$

где $S_{\text{п}}$ – площадь пожара;

$I_{\text{тр}}$ – требуемая интенсивность подачи огнетушащего вещества [20].

Если интенсивность подачи ОТВ зависит от типа защищаемого объекта и является по справочным данным (табл. 33) величиной практически постоянной, то площадь пожара зависит как минимум от двух величин: линейной скорости распространения пожара и времени пожара. А так как линейная скорость $v_{\text{л}}$, в свою очередь, зависит от параметров пожарной нагрузки, а также от вида пожара можно сделать вывод, что расчет площади пожара является в расчете необходимых сил и средств одним из важнейших этапов.

Например, линейная скорость распространения пожара зависит от стадии развития пожара. Так на I начальной стадии, т. е. при времени, прошедшем после возникновения пожара, $\tau < 10$ мин, линейная скорость принимается равной половине ее максимального табличного значения (см. приложение 2). На II стадии или на стадии свободного развития пожара, когда $\tau > 10$ мин, линейная скорость принимается равной максимальной. В промежутке времени от момента введения первых стволов на тушение до момента локализации, т. е. во время III стадии развития пожара, линейная скорость вновь принимается равной половине максимальной. А после выполнения условий локализации пожара линейная скорость считается равной нулю.

Форма площади пожара бывает различной и зависит от места возникновения пожара, например в углу помещения или в центре, а также от времени развития пожара. И хотя в зависимости от времени его форма может изменяться, на практике расчет площади пожара сводится к простейшим геометрическим фигурам (рис. 10) [19].

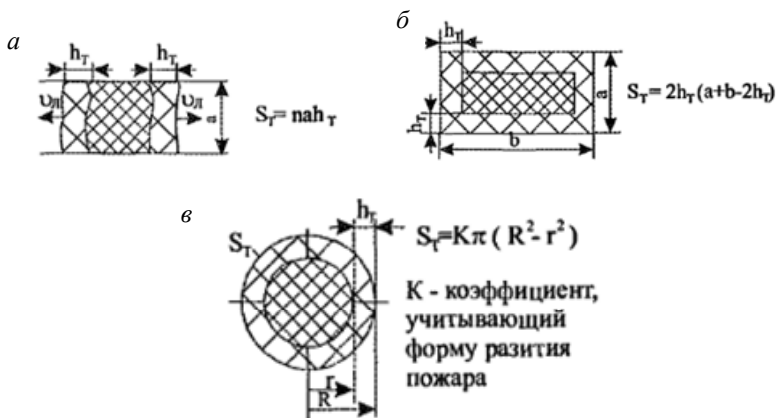


Рис. 10. Расчетные формы площади тушения:

- а – прямоугольное развитие, тушение по фронту пожара;
- б – прямоугольное развитие, тушение по периметру пожара;
- в – круговое развитие пожара

Тогда при круговом развитии пожара его площадь на первой стадии развития можно вычислить по формуле [19]

$$S_{II} = \pi(0,5v_{л1}\tau_1), \quad (7.29)$$

где $v_{\text{л}}$ – линейная скорость распространения пожара, равная $0,5v_{\text{max}}$ (см. приложение 2), м/мин;

τ_1 – время от момента возникновения пожара, для I стадии $\tau_1 \leq 10$ мин.

Выражение в скобках есть не что иное, как радиус пожара, т. е.

$$R_{\text{п}} = 0,5v_{\text{л}}\tau_1. \quad (7.30)$$

Во второй стадии пожара, т. е. при $\tau_2 > 10$ мин, площадь и радиус пожара находят по формулам [19]:

$$S_{\text{п}} = \pi(5v_{\text{л}} + v_{\text{л}}\tau_2); \quad (7.31)$$

$$R_{\text{п}} = 5v_{\text{л}} + v_{\text{л}}\tau_2, \quad (7.32)$$

где $\tau_2 = \tau - 10$.

Если пожар в своем распространении ограничивается стенами помещения, то при загорании в углу помещения или у стены площадь пожара принимает форму сектора или полукруга и расчетные формулы примут вид [19]:

$$S_{\text{п}} = \frac{\pi}{2}(0,5v_{\text{л}}\tau_1)^2 \text{ при } \tau_1 \leq 10 \text{ мин}; \quad (7.33)$$

$$S_{\text{п}} = \frac{\pi}{2}(0,5v_{\text{л}}\tau_2)^2 \text{ при } \tau_2 > 10 \text{ мин}. \quad (7.34)$$

Если длина помещения в несколько раз превышает его ширину, например в коридоре, то на стадии возникновения пожар может иметь круговую форму. Затем форма пожара становится прямоугольной и в зависимости от места возникновения пожар будет распространяться в одном или нескольких направлениях. Расчетные формулы при этом примут вид [19]:

$$S_{\text{п}} = an(0,5v_{\text{л}}\tau_1) \text{ при } \tau_1 \leq 10 \text{ мин}; \quad (7.35)$$

$$S_{\text{п}} = an(5v_{\text{л}}\tau_2) \text{ при } \tau_2 > 10 \text{ мин}, \quad (7.36)$$

где a – ширина помещения, м;

n – количество направлений распространения пожара.

Третья стадия пожара начинается с момента введения первых пожарных стволов в процесс тушения, скорость распространения пожара при этом снижается на 50 % от максимальной. На этой стадии площадь пожара рассчитывается по следующим формулам [19]:

– при круговом развитии

$$S_{\text{п}} = \pi(5v_{\text{л}} + v_{\text{л}}\tau_2 + 0,5v_{\text{л}}\tau_3)^2; \quad (7.37)$$

– при полукруговом развитии

$$S_{\text{п}} = \frac{\pi}{2}(5v_{\text{л}} + v_{\text{л}}\tau_2 + 0,5v_{\text{л}}\tau_3)^2; \quad (7.38)$$

– при угловом развитии

$$S_{\text{п}} = \frac{\pi}{4}(5v_{\text{л}} + v_{\text{л}}\tau_2 + 0,5v_{\text{л}}\tau_3)^2; \quad (7.39)$$

– при прямоугольном развитии

$$S_{\text{п}} = an(5v_{\text{л}} + v_{\text{л}}\tau_2 + 0,5v_{\text{л}}\tau_3)^2, \quad (7.40)$$

где $v_{\text{л}}$ – линейная скорость распространения пожара, м/мин;

a – ширина помещения, м;

n – количество направлений распространения пожара;

τ_2 – время от окончания первой стадии до момента введения первых стволов на тушение, мин;

$\tau_3 = \tau_{\text{т}} - \tau_{\text{вв}}$ – время, прошедшее с момента введения первых стволов на тушение, мин;

$\tau_{\text{т}}$ – текущий момент времени, мин;

$\tau_{\text{вв}}$ – время введения первых стволов, м/мин.

На практике не всегда удается подавать ОТВ одновременно на всю площадь пожара. Такая ситуация может возникнуть, например, при недостаточной дальнобойности струй пожарных стволов или при общем недостатке имеющихся сил и средств пожаротушения. В подобной ситуации приходится производить тушение сначала по фронту пожара, т. е. только на некоторой части от всей площади пожара для его локализации на решающем направлении, а уже затем осуществлять тушение на других направлениях. В этом случае площадь туше-

ния для указанных на рис. 10 форм пожара рассчитывается по формулам [19]:

– при круговой форме

$$S_T = \pi(R^2 - r^2) \text{ или } S_T = \pi h_T(2R - h_T); \quad (7.41)$$

– при полукруговой форме

$$S_T = 0,5\pi h_T(2R - h_T); \quad (7.42)$$

– при угловой форме

$$S_T = 0,25\pi h_T(2R - h_T); \quad (7.43)$$

– при прямоугольной форме при подаче стволов по всему периметру пожара

$$S_T = 2h_T(a + b - 2h_T); \quad (7.44)$$

– при прямоугольной форме пожара при подаче стволов по фронту распространения пожара

$$S_T = anh_T, \quad (7.45)$$

где h_T – глубина тушения стволов, обычно принимаемая для лафетных стволов 10 м, а для ручных – 5 м;

r – радиус пожара, м;

R – расстояние от центра пожара до расположения ствола;

a и b – соответственно ширина и длина фронта пожара;

n – количество направлений подачи стволов.

Рассчитав площадь пожара и площадь тушения, легко определить требуемый расход воды на тушение $Q_{т.тр}$ и на локализацию пожара $Q_{т.лок}$.

$$Q_{т.тр} = S_T I_{тр}, \quad (7.46)$$

$$Q_{т.лок} = S_T I_{лок}. \quad (7.47)$$

Количество приборов для подачи ОТВ $N_{приб}$ можно определить несколькими способами.

1. По расходу огнетушащего вещества:

$$N_{\text{приб}} = \frac{Q_{\text{тр}}}{q_{\text{приб}}} = \frac{I_{\text{тр}} \Pi_{\text{п}}}{q_{\text{приб}}}, \quad (7.48)$$

где $Q_{\text{тр}}$ – требуемый расход ОТВ, л/с;

$q_{\text{приб}}$ – расход прибора подачи ОТВ, л/с;

$I_{\text{тр}}$ – требуемая интенсивность подачи ОТВ в зависимости от параметра пожара, л/с · м², л/с · м;

$\Pi_{\text{п}}$ – параметр пожара, например, площадь тушения, периметр пожара, площадь защиты, площадь пожара.

2. По параметру тушения или защиты одним прибором:

$$N_{\text{приб}} = \frac{\Pi_{\text{т}}(\Pi_{\text{з}})}{\Pi_{\text{приб}}^{\text{т(з)}}}, \quad (7.49)$$

где $\Pi_{\text{т}}(\Pi_{\text{з}})$ – параметры тушения (защиты) пожара, м, м²;

$\Pi_{\text{приб}}^{\text{т(з)}}$ – параметр тушения (защиты) одним прибором, м, м², вычисляемый по формуле

$$\Pi_{\text{приб}}^{\text{т(з)}} = \frac{q_{\text{приб}}}{I_{\text{тр}}^{\text{т(з)}}}. \quad (7.50)$$

3. По объему защищаемого помещения при тушении пеной средней кратности:

$$N_{\text{гпс}} = \frac{V_{\text{п}} K_{\text{з}}}{q_{\text{гпс}}^{\text{п}} \tau_{\text{р}}}, \quad (7.51)$$

где $N_{\text{гпс}}$ – количество генераторов пены средней кратности;

$V_{\text{п}}$ – объем помещения, которое необходимо заполнить пеной, м³;

$K_{\text{з}}$ – коэффициент запаса пены, обычно равный 1,5–3;

$q_{\text{гпс}}^{\text{п}}$ – производительность одного генератора пены средней кратности, м³/мин;

$\tau_{\text{р}}$ – расчетное время тушения, мин.

Определение объема, в котором можно потушить пожар одним генератором пены средней кратности:

$$V_{\text{гпс}}^{\text{T}} = \frac{q_{\text{гпс}}^{\text{п}} \tau_{\text{р}}}{K_{\text{з}}}, \quad (7.52)$$

где $V_{\text{гпс}}^{\text{T}}$ – объем помещения, в котором можно потушить пожар одним генератором, м³;

$q_{\text{гпс}}^{\text{п}}$ – производительность одного генератора пены средней кратности, м³/мин;

$\tau_{\text{р}}$ – расчетное время тушения, мин;

$K_{\text{з}}$ – коэффициент запаса пены.

Определение количества автомобилей $N_{\text{а}}$, необходимых для доставки ОТВ:

$$N_{\text{а}} = \frac{G_{\text{общ}}^{\text{ОТВ}}}{P_{\text{ОТВ}}}, \quad (7.53)$$

где $G_{\text{общ}}^{\text{ОТВ}}$ – необходимый запас ОТВ для тушения пожара, л, кг, м³;

$P_{\text{ОТВ}}$ – запас ОТВ, перевозимый одним автомобилем, л, кг, м³ [18].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Правила пожарной безопасности при эксплуатации предприятий химической промышленности ВНЭ 5-79 ППБО-103–79.
2. Расход огнетушащего средства и время тушения пожара // Академия ГПС МЧС России: <http://www.agps-mipb.ru>.
3. Бабуров В.П., Бабуринов В.В., Фомин В.И., Смирнов В.И. Производственная и пожарная автоматика. Ч. 2. Автоматические установки пожаротушения: учебник: Академия ГПС МЧС России, 2007.
4. Агафонов В.В., Копылов Н.П. Установки аэрозольного пожаротушения. Элементы и характеристики, проектирование, монтаж и эксплуатация. – М.: ВНИИПО, 1999.
5. НПБ 88–2001 «Установки пожаротушения и сигнализации. Нормы и правила проектирования».
6. Иличкин В.С. Оценка токсической опасности фторсодержащих газов, применяемых для объемного пожаротушения // Пожаровзрывобезопасность. – 2003. – № 3.
7. ГОСТ 4.106–83 «Газовые огнетушащие составы. Номенклатура показателей».
8. ВСН 21-02–01 «Установки газового пожаротушения автоматические объектов вооруженных сил Российской Федерации».
9. СП 5.13130.2009 «Установки пожарной сигнализации и пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования».
10. НПБ 22–96 «Установки газового пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования и применения».
11. ГОСТ Р 53280.4–2009 «Установки пожаротушения автоматические. Огнетушащие вещества. Часть 4. Порошки огнетушащие общего назначения».
12. Средства пожарной автоматики. Область применения. Выбор типа // ФГУ ВНИИПО МЧС России. – М., 2004.
13. СП 9.13130.2009 «Техника пожарная. Огнетушители. Требования к эксплуатации».
14. СП 8.13130.2009 «Источники наружного противопожарного водоснабжения».
15. Установка пожаротушения с генерированием пены компрессионным способом // ООО «Сталт». – СПб., 2012 (e-mail: support@stalt.ru).

16. ГОСТ Р 50588–2012 «Пенообразователи для тушения пожаров. Общие технические требования и методы испытаний».

17. НПБ 304–2001 «Пенообразователи для тушения пожаров. Общие технические требования и методы испытаний».

18. Клименти Н.Ю. Пожарная тактика. Курс лекций. Часть 1 // ВолгГАСУ. – Волгоград, 2013.

19. Верзилин М.М., Повзик Я.С. Пожарная тактика // ЗАО «Спецтехника НПО». – М., 2007.

20. Химия огнетушащих веществ // Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы, 2009. – <http://refleader.ru/polqasnaaty.html>.

21. Демидов П.Г. Горение и свойства горючих веществ // Министерство коммунального хозяйства РСФСР. – М., 1962.

22. Инструкция по проектированию паровой защиты// Министерство нефтеперерабатывающей промышленности. – М., 1976.

23. Баратов А.Н., Вогман Л.П. Огнетушащие порошковые составы. – М.: Стройиздат, 1982.

24. Евтюшкин М.Н., Повзик Я.С. Справочное пособие по пожарной тактике. – М., 1975.

25. Дорофеев Е.М., Кущук В.А., Скориков В.И. Патент. Способ тушения пожара и многоструйный формироваель потока огнетушащего порошка для его осуществления, 2004.

26. Жуйков Д.А. Разработка метода пожаротушения с использованием стволовой установки контейнерной доставки огнетушащих веществ на удаленное расстояние. Специальность 05.26.03 – Пожарная и промышленная безопасность (технические науки) дис. ... канд. техн. наук. – Тольятти, 2007.

27. ГКД 34.03.303–99 «Правила пожарной безопасности в компаниях, на предприятиях и в организациях энергетической отрасли».

28. Баратов А.Н., Иванов Е.Н. Пожаротушение на предприятиях химической и нефтеперерабатывающей промышленности. – М.: Изд-во «Химия», 1979.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Огнетушащие вещества, применяемые при тушении пожаров различных веществ и материалов

Горючее вещество и материал	Огнетушащие вещества, допустимые к применению
Азотная кислота	Вода, известь, ингибиторы
Азотнокислый калий и натрий	Вода, ингибиторы
Алюминиевая пудра (порошок)	ОПС, инертные газы, ингибиторы, сухой песок, асбест
Аммиак	Водяной пар
Амиллацетат	Пены, ОПС, инертные газы, ингибиторы, песок
Аммоний азотнокислый и марганцевокислый	Вода, ингибиторы
Анилин	Пены, ОПС, ингибиторы, инертные газы, песок
Асфальт	Вода в любом агрегатном состоянии, пены
Ацетилен	Водяной пар
Ацетон	Химическая пена, воздушно-механическая пена на основе ПО-1С, ингибиторы, инертные газы, водяной пар
Бензол	Пены, ингибиторы, инертные газы
Бром	Раствор едкой щелочи
Бумага	Пригодны любые огнетушащие вещества
Вазелин	Пены, ОПС, распыленная вода, песок
Волокна (вискозное и лавсан)	Вода, водные растворы смачивателей, пены
Водород	Водяной пар, инертные газы
Водород перекись	Вода
Гудрон	Вода в любом агрегатном состоянии, пены, ОПС
Древесина	Пригодны любые огнетушащие средства
Калий металлический	ОПС, ингибиторы, сухой песок
Кальций	ОПС, ингибиторы, сухой песок, кальцинированная сода
Камфара	Вода, ОПС, песок

Продолжение табл.

Горючее вещество и материал	Огнетушащие вещества, допустимые к применению
Карбид кальция	ОПС, сухой песок, ингибиторы
Каучук	Вода, водные растворы смачивателей,
Клей резиновый	Распыленная вода, пены, ОПС, инертные газы, ингибиторы
Коллодий	Пены, ОПС, песок
Магний	ОПС, сухой графит, кальцинированная сода
Метан	Водяной пар, инертные газы
Аммиачная, кальциевая, натриевая селитры	Вода, ОПС
Натрий металлический	ОПС, ингибиторы, сухой песок, кальцинированная сода
Нафталин	Распыленная вода, пены, ОПС, инертные газы
Нефть и нефтепродукты	Пены, ОПС, тонкораспыленная вода
Парафин	Вода в любых агрегатных состояниях, ОПС, пены, песок, инертные газы
Пластмассы	Обильное количество воды, ОПС
Резина и резинотехнические изделия	Вода, водные растворы смачивателей, ОПС, пены
Сажа	Распыленная вода, водные растворы смачивателей, пены
Сено, солома	Вода в любом агрегатном состоянии, водные растворы смачивателей, пены
Сера	Вода, пены, ОПС, мокрый песок
Сероводород	Водяной пар, инертные газы, ингибиторы
Сероуглерод	Вода в любом агрегатном состоянии, пены, водяной пар, ОПС
Скипидар	Пены, ОПС, тонкораспыленная вода
Спирт этиловый	Химическая пена, воздушно-механическая пена средней кратности на основе ПО-1С с предварительным разбавлением спирта до 70 %, воздушно-механическая пена средней кратности на основе других пенообразователей с предварительным разбавлением спирта до 50 %, ОПС, ингибиторы, обычная вода с разбавлением спирта до негорючей концентрации 28 %

Окончание табл.

Горючее вещество и материал	Огнетушащие вещества, допустимые к применению
Табак	Вода в любом агрегатном состоянии
Термит	Вода, ОПС, песок
Толь	Пригодны любые огнетушащие средства
Уголь каменный	Вода в любом агрегатном состоянии, водные растворы смачивателей, пены
Уголь в порошке	Распыленная вода, водные растворы смачивателей, пены
Уксусная кислота	Распыленная вода, ОПС, пены, инертные газы
Фосфор красный и желтый, формальдегид	Вода, ОПС, мокрый песок, пены, инертный газ, ингибиторы
Фтор	Инертные газы
Хлор	Водяной пар, инертные газы
Целлулоид	Обильное количество воды, ОПС
Целлофан	Вода
Цинковая пыль	ОПС, песок, ингибиторы, негорючие газы
Хлопок	Вода, водные растворы смачивателей, пены
Этилен	Инертные газы, ингибиторы
Эфир этиловый	Пены, ОПС, ингибиторы
Гексохлоран 16 %-й	Тонкораспыленная вода
Дихлорэтан (технический)	Тонкораспыленная вода, пены
Карбофос 30 %-й	Тонкораспыленная вода, водные растворы смачивателей, пены
Метафос 30 %-й	Вода, пены
Севин 85 %-й	Пены
Фозалон 35 %-й	ОПС, пены, инертные газы
Хлорпикрин	Пены, водные растворы смачивателей
Хлорофос технический 80 %-й	Вода, пены,
Линурон 50 %-й	Пены
Суркопур 36 %-й	ОПС, тонкораспыленная вода, пены
Симазин 50 %-й	Тонкораспыленная вода, пены
Дианамид кальция	ОПС, песок, инертные газы

Приложение 2

Линейная скорость распространения пожара [19]

Наименование объекта	Линейная скорость, м/мин
Административные здания	1,0–1,5
Жилые дома	0,5–0,8
Библиотеки, книгохранилища, архивы	0,5–1,0
Музеи и выставки	1,0–1,5
Театры и Дворцы культуры (сцены)	1,0–3,0
Торговые предприятия, склады и базы	0,5–1,2
Типографии	0,5–0,8
Коридоры и галереи	4,0–5,0
Кабельные сооружения	0,8–1,1
Холодильники	0,5–0,8
<i>Деревообрабатывающие предприятия</i>	
Лесопильные цехи (здания I, II и III степени огнестойкости)	1,0–3,0
Лесопильные цехи (здания IV и V степени огнестойкости)	2,0–5,0
Сушилки	2,0–2,5
Заготовительные цеха	1,0–1,5
Цеха по производству фанеры	0,8–1,5
Помещения других цехов	0,8–1,0
<i>Растительность, лесная подстилка, древостой при верхних пожарах и скорости ветра, м/с</i>	
8–9	до 42
10–12	до 83
Лесные массивы при скорости ветра 7–10 м/с, влажность 40 %	1,4–18
<i>То же, по кромке на флангах и в тылу при скорости ветра, м/с</i>	
8–9	4–7
10–12	8–14
<i>Объекты транспорта</i>	
Гаражи, трамвайные и троллейбусные депо	0,5–1,0
Ремонтные залы ангаров	1,0–1,5
<i>Предприятия текстильной промышленности</i>	
Помещения текстильного производства	0,5–1,0
То же, при наличии на конструкциях слоя пыли	1,0–2,0
Волокнистые материалы во взрыхленном состоянии	7,0–8,0
Сгораемые покрытия цехов большой площади	1,7–3,2
Сгораемые конструкции крыш и чердаков	1,5–2,0

Окончание табл.

Наименование объекта	Линейная скорость, м/мин
<i>Склады</i>	
Торфа в штабелях	0,8–1,0
Льноволокна	3,0–5,6
Текстильных изделий	0,3–0,4
Бумаги в рулонах	0,2–0,3
Резинотехнических изделий в зданиях	0,4–1,0
То же, но в штабелях на открытой площадке	1,0–1,2
Каучука	0,6–1,0
Круглого леса в штабелях	0,4–1,0
<i>Склады пиломатериалов в штабелях при влажности, %</i>	
До 16	4,0
16–18	2,3
18–20	1,6
20–30	1,2
Более 30	1,0
<i>Фрезерный торф на полях добычи при скорости ветра, м/с</i>	
10–14	8,0–10
18–20	18–20
<i>Школы, лечебные учреждения</i>	
Здания I и II степени огнестойкости	0,6–1,0
Здания III и IV степени огнестойкости	2,0–3,0
<i>Сельские населенные пункты</i>	
Жилая застройка при плотной застройке зданиями V степени	20–25
Соломенные крыши зданий	2,0–4,0
Подстилка в животноводческих помещениях	1,5–4,0

Илюшов Николай Яковлевич

ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТЬ

ОГНЕТУШАЩИЕ ВЕЩЕСТВА

Учебное пособие

Редактор *Мокшанова М.О.*
Выпускающий редактор *И.П. Брованова*
Корректор *И.Е. Семенова*
Дизайн обложки *А.В. Ладыжская*
Компьютерная верстка *Н.В. Гаврилова*

Налоговая льгота – Общероссийский классификатор продукции
Издание соответствует коду 95 3000 ОК 005-93 (ОКП)

Подписано в печать 11.07.2016. Формат 60 × 84 1/16. Бумага офсетная
Тираж 100 экз. Уч.-изд. л. 7,2. Печ. л. 7,75. Изд. 357/15. Заказ № 1139
Цена договорная

Отпечатано в типографии
Новосибирского государственного технического университета
630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20