МИНИСТЕРСТВО ВНУТРЕННИХ ДЕЛ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Главное управление Государственной противопожарной службы

Всероссийский ордена "Знак Почета" научно-исследовательский институт противопожарной обороны

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТОВ ХРАНЕНИЯ И ПЕРЕРАБОТКИ СУГ

РЕКОМЕНДАЦИИ

МОСКВА 1999

gost.e-ecolog.ru

МИНИСТЕРСТВО ВНУТРЕННИХ ДЕЛ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Главное управление Государственной противопожарной службы

Всероссийский ордена "Знак Почета" научно-исследовательский институт противопожарной обороны

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТОВ ХРАНЕНИЯ И ПЕРЕРАБОТКИ СУГ

Рекомендации

МОСКВА - 1999

УДК 614.842.61:66.076

Обеспечение пожарной безопасности объектов хранения и переработки СУГ: Рекомендации. – М.: ВНИИПО, 1999. - 78 с.

Разработаны ВНИИПО МВД России, отделом пожарной охраны объектов ГУГПС МВД России и Центром стратегических исследований гражданской защиты МЧС России.

Внесены и подготовлены к утверждению отделом пожарной охраны объектов ГУГПС МВД России.

Утверждены главным государственным инспектором Российской Федерации по пожарному надзору письмом от 29.12.97 г. N 20/3.2/2802.

С утверждением настоящих рекомендаций "Временные рекомендации по тушению пожаров на объектах переработки и хранения сжиженных газов с помощью передвижной пожарной техники", утвержденные ГУПО МВД СССР 21.11.75 г., теряют силу.

Авторский коллектив:
В.П. Молчанов, А.Н. Гилетич, Ю.Н. Шебеко, И.Ф. Кимстач, И.Ф. Безродный, А.Н. Бородкин, Л.В. Гуринович, А.Н. Егоров, В.Г. Кузьмин, И.М. Смолин, В.А. Колосов, В.Л. Малкин, Е.В. Смирнов.

© ГУГПС МВД России, 1999
© ВНИИПО МВД России, 1999

ВВЕДЕНИЕ

Рекомендации по обеспечению пожарной безопасности объектов хранения и переработки сжиженных углеводородных газов (СУГ) подготовлены на основе результатов научно-исследовательских работ, выполненных во Всероссийском научно-исследовательском институте противопожарной обороны (ВНИИПО) МВД России, изучения опыта ликвидации аварий с пожарами на указанных объектах, а также с учетом зарубежного опыта.

Рекомендации предназначены для использования в практической работе сотрудниками подразделений Государственной противопожарной службы (ГПС) МВД России.

Представленный материал может быть использован также персоналом, осуществляющим эксплуатацию предприятий, и организациями, разрабатывающими проектную документацию для вновь строящихся и реконструируемых объектов по хранению и переработке СУГ.

В рекомендациях изложены методы оценки пожаровзрывоопасности указанных объектов, мероприятия по обеспечению их пожарной безопасности, тактические приемы ликвидации аварий, сопровождающихся пожарами и взрывами.

1. ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ ПОЖАРОВ НА ОБЪЕКТАХ ХРАНЕНИЯ И ПЕРЕРАБОТКИ СЖИЖЕННЫХ УГЛЕВОДОРОДНЫХ ГАЗОВ

Особенности развития пожаров на объектах с наличием сжиженных углеводородных газов определяются свойствами этих газов.

При разгерметизации оборудования и выходе СУГ в атмосферу вследствие высокой скорости испарения могут образовываться паровоздушные облака больших размеров, зависящих от количества мгновенно вышедшего газа или скорости истечения, а также климатических условий (скорости ветра, температуры воздуха).

Наиболее вероятной причиной аварийного истечения продукта является нарушение герметичности оборудования в результате несоблюдения технологического процесса и неисправности противоаварийных систем и устройств. Воспламенение происходит, как правило, от постороннего источника, так как максимальная температура продукта ниже температуры самовоспламенения.

Пожары на объектах хранения и переработки сжиженных углеводородных газов характеризуются возможностью проявления в различном сочетании следующих опасных сценариев:

теплового воздействия "пожара-вспышки";

воздействия волны сжатия взрыва;

теплового воздействия струйного факела горящего газа;

теплового воздействия пламени при горении пролива;

теплового воздействия огневого шара.

Поскольку плотность паров большинства СУГ больше плотности воздуха, паровоздушные облака могут дрейфовать в приземном слое атмосферы на значительные расстояния. При загорании таких облаков может происходить их быстрое сгорание без взрыва в виде вспышки либо сгорание со взрывом с образованием волны сжатия.

Сгорание со взрывом с образованием волны сжатия может произойти, когда паровоздушным облаком охвачены загроможденные участки территории (полузамкнутые объемы, технологическое оборудование с высокой плот-

ностью размещения, лесные массивы), а также при попадании в облако открытых длинных труб, полостей, каверн.

При разгерметизации оборудования, в котором сжиженный газ находится под давлением, образуются паровоздушные струи, загорание которых приводит к образованию веерных струйных факелов, а также струйных факелов, близких к осесимметричным. Воздействие таких факелов, имеющих зачастую большую длину, на оборудование приводит к его повреждению и вовлечению в горение все большего и большего количества газа.

При тепловом воздействии струйного факела или горящего пролива на резервуары со сжиженным газом возможно их разрушение с образованием огневых шаров с большими радиусами смертельного поражения людей тепловым излучением.

При хранении сжиженных газов в изотермических наземных хранилищах большую опасность представляет возможное разрушение таких хранилищ. Образующаяся в этом случае гидродинамическая волна может разрушить обвалование или перехлестнуть через него с образованием проливов больших площадей. При испарении сжиженного газа из такого пролива образуются паровоздушные облака больших размеров. Горение таких проливов может приводить к возникновению пожаров на близлежащих объектах.

Одной из особенностей пожаров на объектах хранения и переработки сжиженных углеводородных газов является возможное цепное развитие пожара по принципу "домино".

Поскольку при пожарах на объектах хранения и переработки сжиженных углеводородных газов могут появляться различные опасные факторы, то для РТП очень важно правильно прогнозировать развитие пожара с учетом принимаемых мер по его локализации и ликвидации.

В целях предупреждения развития пожара и его ликвидации необходимо исходить из следующего:

при невозможности прекращения поступления СУГ в открытое пространство требуется обеспечить его контролируемое выгорание;

Таблица 1.1

Физико-химические и пожаровзрывоопасные характеристики некоторых СУГ

СУГ	Химическая брутто-формула	Плотность жидкой фазы при 0 °С и 101,3 кПа, кг · м$^{-3}$ (10^{-3})	Плотность газовой фазы при 20 °С и 101,3 кПа, кг м$^{-3}$	Плотность газовой фазы по воздуху	Температура кипения при давлении 101,3 кПа, °С	Теплоемкость жидкой фазы при 0 °С и давлении 101,3 кПа, кДж кг$^{-1}$ К$^{-1}$	Удельная теплота испарения при температуре кипения, кДж кг$^{-1}$	Минимальная энергия зажигания, мДж	Удельная низшая теплота сгорания, МДж кг$^{-1}$	Нормальная скорость горения, м с$^{-1}$	Нижний концентрационный предел, % (об)	Максимальное давление взрыва, кПа	Температура самовоспламенения, °С
Этилен	C_2H_4	0,566	1,17	0,97	-103,7	2,415	483,0	0,12	47.54	0.74	2,7	830	435
Пропилен	C_3H_6	0,609	1,78	1,45	-47,7	2,43	437,5	0,24	46,0	0.51	2,4	650	455
Пропан	C_3H_8	0,528	1,87	1,45	-42,1	2,23	425,7	0,25	46,3	0.39	2,3	840	470
1,3-Бутадиен	C_4H_6	0,65	2,2	1,88	-4,5	2,15	448,6	0,19	60,0	0.55	2,0	<900	430
н-Бутилен	C_4H_8	0,646	2,33	1,94	-6,9	2,23	390,6	0,27	45,5	0.43	1,8	<900	324
Изобутилен	C_4H_8	0,646	2,33	1,93	-7,0	2,17	394,2	0,47	45,5	0.38	1,8	<900	465
н-Бутан	C_4H_{10}	0,601	2,5	2,07	-0,5	2,24	385,3	0,25	47,3	0.45	1,8	840	405
Изобутан	C_4H_{10}	0,582	2,5	2,07	-11,7	2,24	366,4	0,38	47,2	0.35	1,8	<900	462
н-Пентан	C_5H_{12}	0,646	3,2	2,47	36,1	2,67	357,2	0,22	45,4	0.39	1,47	850	286

все действия по локализации пожара должны быть направлены на предупреждение его развития и воздействия опасных факторов пожара на личный состав;

РТП должен своевременно оценить возможность появления опасных факторов, которые могут угрожать здоровью или жизни личного состава, и обеспечить своевременную эвакуацию в безопасную зону.

С этой целью для разработки оперативных планов тушения пожаров на объектах с наличием СУГ следует использовать методы количественной оценки параметров поражающих факторов аварий с пожарами и взрывами.

Методики по определению указанных факторов приведены в приложении к настоящим рекомендациям.

При рассмотрении физико-химических свойств и показателей взрывоопасности СУГ следует учитывать, что на практике, как правило, приходится иметь дело с двухфазной системой жидкость - газ (пар). Основные физико-химические свойства и пожаровзрывоопасные характеристики некоторых СУГ приведены в табл. 1.1. Возможно использование справочных данных [1].

Вместе с тем для оперативной оценки параметров опасных факторов пожара могут быть использованы приведенные в соответствующих разделах настоящих рекомендаций упрощенные зависимости и табличные данные.

2. ОПЕРАТИВНО-ТАКТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ОБЪЕКТОВ ХРАНЕНИЯ И ПЕРЕРАБОТКИ СУГ. ПЛАНИРОВОЧНЫЕ И КОНСТРУКТИВНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИЕ СОЗДАНИЕ УСЛОВИЙ ДЛЯ ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ

Объекты хранения и переработки СУГ, как правило, могут быть разделены на следующие основные части:

наружная технологическая установка;

компрессорные станции и насосные отделения;

продуктопроводы;

железнодорожные сливоналивные эстакады;

склады готовой продукции.

Основными системами, обеспечивающими условия для борьбы с пожарами, являются:

водяного орошения;

ограничения распространения паров СУГ;

порошкового пожаротушения;

пенного пожаротушения в обваловании;

аварийные факелы и свечи.

Имеется ряд нормативных документов, регламентирующих требования к объектам хранения и переработки СУГ [2 - 4]. Однако они относятся в основном к небольшим объектам с общим объемом хранения СУГ до 8000 м^3 и вместимостью единичного резервуара до 600 м^3 [2]. В то же время эксплуатируются крупномасштабные изотермические хранилища СУГ с вместимостью единичного резервуара до 50000 м^3 и общим объемом хранения до 90000 м^3. Нормативная база по противопожарному нормированию таких объектов разработана недостаточно. В настоящем разделе рассматриваются мероприятия, способствующие успешному тушению пожаров на изотермических резервуарах и касающиеся, в частности, устройства обвалования, конструкции резервуара и его технологической обвязки, факельной системы, размещения относительно других объектов, систем противопожарной защиты.

Материалы настоящего раздела могут быть использованы для разработки мероприятий по обеспечению пожарной безопасности наземных изотермических хранилищ до разработки соответствующих норм.

2.1. Устройство изотермического резервуара и его технологическая обвязка

Типичная схема наземного изотермического резервуара с соответствующей технологической обвязкой приведена на рис. 2.1.

Конструкция, применяемые материалы и качество изготовления резервуара должны исключать возникновение мест с опасной концентрацией напряжений как в ис-

ходном состоянии, так и после вывода резервуара на расчетный (по температуре и давлению) режим работы.

В качестве заполнителя межстенного пространства резервуара целесообразно применять песок перлитовый мелкий вспученный марок 75 или 100 с влажностью, коэффициентом уплотнения и коэффициентом теплопроводности, отвечающими требованиям технических условий. Допускается применение и других негорючих заполнителей, удовлетворяющих требованиям по указанным параметрам.

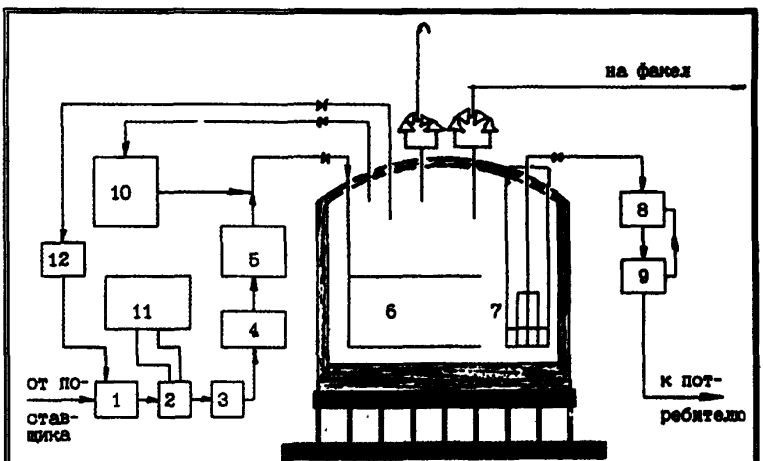


Рис.2.1. Типичная принципиальная схема наземного изотермического резервуара СУГ:

1 - компрессорная на линии приема газа от поставщика; 2, 11 - блок охлаждения газа с системой холодоснабжения; 3 - блок осушки газа; 4 - блок сжижения; 5 - блок дросселирования и сепарации; 6 - изометрический резервуар; 7 - шахта с погружными насосами; 8 - блок испарителя; 9 - сепаратор; 10 - блок термостатирования; 12 - компрессорный блок

С целью исключить проникновение атмосферной влаги, а также контролировать герметичность внутренней емкости конструкция резервуара должна обеспечивать возможность продувки всего объема межстенного пространства осушенным азотом с подачей его в клапаны выпуска с контролем наличия паров СУГ. Кроме того, на случай пожара на оборудовании крыши резервуара следует предусмотреть возможность подачи азота в паровое пространство внутреннего корпуса резервуара.

Для двухстенного наземного металлического изотермического резервуара внешний корпус должен быть оборудован автоматическими разгрузочными клапанами или другими устройствами для регулирования в межстенном пространстве избыточного давления инертного газа (при колебаниях атмосферного давления и тепловом радиационном воздействии от внешнего пожара).

Для поддержания в межстенном пространстве избыточного давления инертного газа на одном уровне (как правило, 50 мм вод. ст.), при изменениях барометрического давления, температуры окружающей среды и других факторов следует предусматривать систему подачи азота с азотной станции со сбросом инертного газа в атмосферу через клапаны.

На выходе инертного газа из межстенного пространства устанавливаются газоанализаторы на наличие углеводородов в инертном газе.

Система текущей диагностики герметичности внутренней емкости хранилища должна быть спроектирована таким образом, чтобы обеспечивать не только оперативную регистрацию наличия углеводородов в среде азота, отбираемого на анализ из межстенного пространства, но и идентификацию места утечки.

Резервуар СУГ должен быть оборудован патрубками для прокачки через него азота (смены атмосферы) при вводе резервуара в эксплуатацию, а также при его остановках для профилактического осмотра и ремонта. Подача азота должна осуществляется по трубопроводу на днище внутренней емкости и через кольцевой раздаточный кол-

лектор распределяться таким образом, чтобы в максимальной степени обеспечить равномерное вытеснение газа по всему сечению емкости. Отбор замещаемого газа (воздуха) должен производиться в верхней точке (части) покрытия.

Резервуар должен оборудоваться лестницами для доступа обслуживающего персонала на покрытие. Для соблюдения требований техники безопасности следует устанавливать ограждающие конструкции по всему периметру покрытия.

Защита резервуара от повышения давления относительно номинального (рабочего) значения должна осуществляться автоматически двумя независимыми разгрузочными системами: через закрытую систему газосброса на факел и через "свечу" непосредственно в атмосферу.

В значительной степени опасные факторы последствий аварии, взрыва и пожара будут снижены с вводом всех трубопроводов и устройством люков-лазов только через перекрытие резервуара (это уменьшает вероятность выхода из строя запорной арматуры, а также вероятность дополнительного выхода СУГ в случае пожара).

Технологические штуцеры и штуцеры для систем КИП и А рекомендуется, в целях удобства обслуживания, размещать в едином секторе на наружном перекрытии.

При расчете производительности средств поддержания и регулирования давления во внутренней емкости резервуара необходимо учитывать экстремальные внешние тепловые воздействия на конструкцию хранилища при пожарах разлитого СУГ, рассчитываемые по методикам приложения.

Предохранительные клапаны (рабочие и резервные) должны иметь соответствующие обозначения и устанавливаться в верхней части крыши.

Узлы управления предохранительными клапанами должны исключать возможность отключения одновременно рабочего и резервного клапанов.

Конструкция и размещение всех установленных на резервуарах предохранительных клапанов должны обес-

печивать полное сохранение их работоспособности в условиях воздействия теплового излучения. В качестве возможного средства тепловой защиты предохранительных клапанов рекомендуется применять водяное орошение.

В целях предотвращения истечения СУГ при авариях, связанных с разрушением трубопроводов закачки-выдачи, а также возможности отключения резервуара от общих технологических коммуникаций и оперативного управления технологическими процессами на трубопроводах закачки-выдачи СУГ и паров следует устанавливать запорную арматуру - отсекающую и оперативного управления (сокращенно "оперативная арматура") - с приводом (пневмопривод, электропривод во взрывозащищенном исполнении), управляемую:

дистанционно из операторной (диспетчерской) - при нормальных режимах работы хранилища и при аварийных ситуациях;

автоматически - при авариях, связанных с разрывом трубопроводов (резкое падение давление или скоростного напора в трубопроводе), при неисправностях в сетях управления (пневматических, электрических), при пожаре в производственной зоне комплекса СУГ и на территории хранилища.

Оперативная арматура, кроме того, должна иметь дублирующее ручное управление.

Отсекающую арматуру следует устанавливать в непосредственной близости от резервуара. Оперативную арматуру следует располагать на специальной площадке, за пределами защитного ограждения, на расстоянии не менее 10 м от него.

Под площадками запорной арматуры следует устраивать поддон для сбора возможных утечек СУГ из фланцевых соединений арматуры и при аварийных проливах в узлах запорной арматуры. Размеры поддона должны приниматься на 1 м больше размера рабочей площадки в каждую сторону и высотой борта не менее 0,3 м. Следует предусматривать естественный сток СУГ из поддона в приямок-ловушку, с последующей откачкой стационарным

или передвижным насосным оборудованием на регазификацию или на площадку налива.

Прокладка технологических трубопроводов к резервуару должна предусматриваться только по эстакаде с проницаемым настилом, выполненной из негорючих материалов с пределом огнестойкости несущих конструкций не менее 2 ч и стойких к криогенному воздействию СУГ.

Прокладка трубопроводов подачи воды, порошков, растворов пенообразователей по этим эстакадам не допускается.

На эстакаде должны быть предусмотрены огражденные проходы для доступа обслуживающего персонала к трубопроводам, арматуре и приборам.

2.2. Здания, сооружения и территория склада

Территорию склада СУГ следует разделять на зоны. Наименование зон и примерный состав зданий и сооружений, размещаемых в зонах, приведены в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Наименование зоны	Здания и сооружения, размещаемые в пределах зоны
Производственная	Блоки очистки и осушки газа, блок сжижения углеводородного газа, блок ректификации, блок регазификации СУГ, компрессорный цех, насосная СУГ, расходные емкости хладоагента, газоанализаторная, операторная и другие производственные здания и сооружения, связанные с основным технологическим процессом
Изотермического хранения СУГ	Изотермические резервуары СУГ и вспомогательное оборудование, обеспечивающее безопасную эксплуатацию резервуаров
Хранения СУГ под давлением	Резервуары хранения СУГ под давлением
Приема и выдачи СУГ	Железнодорожные и автомобильные сливоналивные эстакады
Факельное хозяйство	Ствол факела, устройство для зажигания факела, сепараторы, дренажные емкости, насосы и т.д.

Окончание табл. 2.1

Наименование зоны	Здания и сооружения, размещаемые в пределах зоны
Подсобно-производственная	Здания и сооружения подсобно-производственного назначения (азотно-воздушная станция, котельная, лаборатория, насосная станция оборотного водоснабжения, насосная противопожарного водоснабжения, очистительные сооружения, ремонтно-механические мастерские)
Административно-хозяйственная	Здание административно-бытовое, столовая, пожарное депо, узел связи и т.д.
Зона ввода ЛЭП	Вводная понижающая трансформаторная подстанция (на отдельной площадке)

В зоне изотермического хранения, кроме резервуара СУГ, допускается размещать технологическое оборудование, непосредственно связанное с резервуаром сжиженного газа и обеспечивающее его безопасную эксплуатацию:

емкости для хранения сжиженного азота;

системы, устройства и средства противопожарной защиты;

насосы для откачки СУГ и атмосферных осадков и т. п.

В проекте на склад хранения СУГ должна быть определена категория взрывопожарной и пожарной опасности помещений и зданий. Категорию следует определять в технологической части проекта, руководствуясь положениями НПБ 105-95.

В зоне изотермического хранения и производственной зоне комплекса хранения СУГ производственные здания и сооружения, наружные установки, а также здание операторной (диспетчерской) следует проектировать не ниже II степени огнестойкости. Надземный резервуар должен размещаться на территории внутри защитного сплошного по периметру обвалования, непроницаемого для СУГ. Конструкция и материалы защитного обвалования должны быть рассчитаны на криогенное, гидростатическое воздействие СУГ, а также на гидравлический удар при быстротечном разливе; на тепловое воздействие при

горении разлитого СУГ в пределах обвалования и сохранение конструктивной устойчивости обвалования (функциональной устойчивости) в течение полного выгорания расчетного объема пролива сжиженного газа, но не менее 8 ч (необходимого времени для наращивания сил и средств).

Кольцевая дорога вокруг хранилища должна выполняться приподнятой по отношению к прилегающей территории и играть роль вспомогательного защитного ограждения.

Для исключения растекания СУГ за пределы обвалования при разгерметизации оборудования, включая полное опорожнение резервуара при его разрушении с образованием гидродинамической волны, рекомендуется размещать резервуар в обваловании, высота, форма и расположение которого исключают выход СУГ за его пределы.

Во всех случаях при устройстве обвалования следует предусматривать удобство технологического обслуживания оборудования, а также обязательный контроль воздушной среды на содержание паров СУГ в пространстве между резервуаром и обвалованием.

Территория склада СУГ должна иметь несгораемое проветриваемое ограждение решетчатого типа. Расстояние от ограждения до резервуаров, зданий и сооружений склада с наличием СУГ должно обеспечивать свободный проезд пожарных автомобилей и создавать противопожарную зону шириной не менее 10 м.

Безопасные расстояния от резервуара для изотермического хранения СУГ до технологических установок хранилища принимаются исходя из значений поражающих факторов пожара и взрыва, рассчитываемых по методикам приложения, но не менее величин, приведенных в табл. 2.2.

Автомобильные дороги для противопожарных проездов по территории склада должны проектироваться кольцевыми на две полосы движения шириной не менее 7 м каждая.

Таблица 2.2

№ п/п	Наименование технологических зданий, наружных блоков, сооружений склада СУГ	Расстояние от изотермического резервуара сжиженного газа, м
1	Технологические здания производственной зоны: компрессорный цех, насосные СУГ, газоанализаторная, операторная со щитовой	100
2	Открытые технологические блоки: очистки, осушки, сжижения, насосные СУГ, регазификаторы (без огневого подогрева)	100
3	Резервуары хранения СУГ под давлением	500
4	Здания и сооружения подсобно-производственной и складской зон (азотно-воздушная станция, котельная, лаборатория, насосная станция оборотного водоснабжения, насосная противопожарного водоснабжения, очистительные сооружения, ремонтно-механические мастерские)	200
5	Здания и сооружения административно-хозяйственного назначения	300
6	Отдельно стоящая трансформаторная подстанция (ТП), распределительные устройства (РУ) и пункты (РП) и другие электропомещения	По ПУЭ
7	Котельные	200

Для обеспечения возможности выполнения работ по тушению пожара, с учетом техники безопасности, внутренние автомобильные дороги и проезды должны располагаться от зданий, сооружений и ограждения склада СУГ на расстоянии не менее 5 м.

В пределах обочины автомобильных дорог склада СУГ допускается прокладывать сети противопожарного водопровода, связи, сигнализации, наружного освещения и силовых электрокабелей.

Общее освещение резервуарного парка изотермического хранилища СУГ должно обеспечиваться прожекторами (не менее двух), установленными вне защитного ограждения резервуара на расстоянии не менее 10 м от внешней подошвы ограждения. При устройстве промышленного телевидения установку мониторов телевизионного контроля состояния резервуара следует предусмотреть дополнительно в пожарной части.

2.3. Размещение резервуара относительно соседних объектов

Минимальные расстояния от изотермического хранилища склада СУГ до других промышленных объектов, жилых и общественных зданий, объектов транспорта принимаются исходя из значений поражающих факторов пожара и взрыва, рассчитываемых по методикам приложения, но не менее величин, приведенных в табл. 2.3

Таблица 2.3

Наименование объектов, находящихся вне территории склада СУГ	Расстояние до объектов, м, при емкости резервуара, м^3	
	≤10000	>10000
1. Граница застройки селитебной территории городов и других населенных мест (с перспективой на 15 лет)	1200	3000
2. Отдельно стоящие жилые и общественные здания	1000	2000
3. Границы промышленных предприятий (до ограждений)	700	1500
4. Железнодорожные пути общей сети, автомобильные дороги общего назначения, трамвайные линии	500	1000
5. Воздушные линии электропередач высокого напряжения	Не менее 1,5 высоты опоры от ограды склада	
6. Магистральные газо- и нефтепродуктопроводы (от границы территории склада)	В соответствии со СНиП 2.05.06-85 в зависимости от их диаметра и класса	
7. Гидротехнические сооружения, мосты	500	1000

Окончание табл. 2.3

Наименование объектов, находящихся вне территории склада СУГ	Расстояние до объектов, м, при емкости резервуара, м³	
	≤10000	>10000
8. Склады нефти и нефтепродуктов второй группы, компрессорные и насосные станции магистральных газо- и нефтепродуктопроводов, ГРС, автозаправочные станции	500	1000
9. Отдельно стоящие (вне территории склада СУГ) открытые распределительные устройства 35, 119, 220 кВ электроподстанций, питающих склад и других потребителей	500	500
10. Водопроводные, канализационные и очистные сооружения, не относящиеся к комплексу СУГ	300	500
11. Отдельно стоящие нежилые и подсобные здания; гаражи и открытые стоянки автомобилей, не относящихся к складу СУГ	500	700
12. Лесные массивы пород (от ограды склада):		
хвойных	100	100
лиственных	50	50

2.4. Системы противопожарной защиты изотермического резервуара

Для зданий и сооружений комплекса хранилища, требования к которым не изложены в настоящих рекомендациях, целесообразность оборудования установками автоматического пожаротушения определяется в соответствии с требованиями действующих нормативных документов.

2.4.1. Водяное орошение

Для защиты от теплового воздействия при пожарах наружных сооружений комплекса хранения СУГ следует предусматривать применение стационарных установок водяного орошения и стационарных лафетных стволов в соответствии с требованиями "Ведомственных указаний по

проектированию предприятий, зданий и сооружений нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности" (ВУПП-88), "Указаний по проектированию систем пожаротушения на нефтеперерабатывающих и нефтехимических предприятиях" (У-ТБ-07-82) и настоящего раздела.

Источником водоснабжения стационарных установок водяного орошения и лафетных стволов должен быть противопожарный кольцевой водопровод высокого давления.

Для предотвращения увеличения масштабов аварии, сопровождающейся пожаром, резервуары изотермического хранения СУГ следует оборудовать автоматическими установками водяного орошения, обеспечивающими защиту:

крыши и боковых поверхностей резервуара;

штуцеров, трубопроводов, клапанов, арматуры и оборудования, установленного на резервуаре;

оборудования и конструкций рабочих площадок резервуара;

отсекающей, запорной и оперативной арматуры на трубопроводах подачи и отбора СУГ и газа, а также трубопроводов и металлических конструкций эстакад для их прокладки;

насосов и оборудования насосной откачки СУГ.

Интенсивность подачи воды на охлаждение изотермического резервуара следует принимать равной:

0,1 л $\cdot$ $с^{-1}$ $\cdot$ $м^{-2}$ - для поверхности крыши и боковых стен резервуара;

0,5 л $\cdot$ $с^{-1}$ $\cdot$ $м^{-2}$ - для мест расположения функционального оборудования, включая штуцеры и предохранительные клапаны, для узлов отключающей арматуры, расположенных непосредственно на перекрытии резервуара и на площадках обслуживания в пределах защитного ограждения (и вне его на расстоянии 30 м), трубопроводов и оборудования.

Систему орошения изотермического резервуара целесообразно выполнять секциями, по направлениям. Орошение боковых поверхностей резервуаров следует выполнять отдельными секциями (по вертикали).

Секционные установки орошения должны подключаться к кольцевому водопроводу склада с установкой запорной (пусковой) арматуры непосредственно у этой кольцевой сети, за пределами ограждения.

Установки орошения крыши резервуара, установленной на резервуаре арматуры и оборудования, отсекающей, запорной и оперативной арматуры, следует выполнять с автоматическим, дистанционным и местным пуском. Устройства пуска должны позволять открывать их вручную. Учитывая район строительства хранилища СУГ, необходимо предусматривать мероприятия по защите систем орошения от замораживания.

Стационарная автоматическая установка водяного орошения изотермического резервуара должна включать:

подводящий водопроводный коллектор;

запорно-пусковые устройства;

питающий трубопровод, идущий от запорного устройства до колец орошения;

расположенные на перекрытии кольца орошения с оросителями;

кольцевые трубопроводы со специальными оросителями, расположенными на определенном расстоянии от боковой поверхности, с заданным интервалом;

кольцевые или тупиковые трубопроводы с оросителями для защиты арматуры, трубопроводов, клапанов и другого оборудования.

Тип, количество и особенности расстановки оросителей, а также режим их работы (давление перед оросителями, расход воды) должны быть определены проектом исходя из условия равномерного орошения всех защищаемых поверхностей и надежной тепловой защиты конструкций резервуара и оборудования как в случае пролива и горения СУГ в пределах собственной буферной зоны, так и при радиационном тепловом воздействии горящих утечек СУГ.

Для систем орошения следует предусматривать опорожнение от воды при прекращении напорной подачи. Прокладка трубопроводов должна быть выполнена с необходимым уклоном в сторону питающего трубопровода, а

питающего трубопровода - в сторону узла опорожнения. Дополнительно рекомендуется предусмотреть возможность продувки оросителей и трубопроводов сухим воздухом из питающей системы КИП или иных источников.

Управление штурвалом задвижек на подводящем трубопроводе к стоякам системы и задвижек узлов управления должно быть выведено наружу над покрытием колодцев.

Для автоматического пуска стационарных установок водяного орошения должна применяться заполненная воздухом или инертным газом побудительная сеть с оросителями спринклерного типа или установка пожарной сигнализации. В побудительной системе должно постоянно поддерживаться давление не менее 0,25 МПа (2,5 ати).

Расстояние от пожарных извещателей (спринклеров) до защищаемых поверхностей, а также расстояние между извещателями следует принимать исходя из технических условий. Извещатели должны быть установлены, в первую очередь, вблизи систем, обеспечивающих функциональную надежность хранилища (места установки арматуры, контрольно-измерительных приборов).

В дополнение к стационарным автоматическим системам водяного орошения должна быть предусмотрена возможность орошения поверхности крыши и установленного на резервуаре оборудования из лафетных стволов при условии орошения каждой точки резервуара одной струей.

Лафетные стволы для орошения надземных резервуаров следует выполнять автоматизированными либо с дистанционным управлением.

Противопожарный водопровод склада должен быть рассчитан на наибольший расход, определяемый для условия эффективной работы водяных завес либо одновременной работы всех автоматических и стационарных установок орошения хранилища, лафетных стволов (по фактическому расходу) и подачи воды от пожарных гидрантов с расходом не менее 25 % от расчетного.

2.4.2. Ограничение распространения паров СУГ

Для ограничения распространения паров СУГ при его проливах и утечках по периметру обвалования рекомендует-

ся предусматривать паровые или водяные завесы. Ограничение распространения паров СУГ достигается путем их увлечения распыленными струями воды или водяного пара вверх и разбавления воздухом до концентраций ниже НКПР.

Указанные завесы должны включаться сразу после возникновения аварии. Для этого система подачи воды (пара) должна включаться автоматически от сигнализаторов довзрывоопасных концентраций газа.

2.4.3. Порошковое пожаротушение

Для тушения пламени СУГ на изотермических резервуарах следует применять установки порошкового пожаротушения. Рекомендуется применение сухих порошков на базе бикарбоната натрия или бикарбоната калия.

Автоматическими установками порошкового пожаротушения должны оснащаться места возможных утечек СУГ (зоны размещения штуцеров, клапанов, оборудования рабочих площадок, мест установки отсекающей и другой арматуры, насосная станция).

В комплект установки должны входить:

система автоматического обнаружения загорания, включающая комплекс первичных датчиков, средства защиты от ложного срабатывания, а также тревожную сигнализацию с передачей показаний на щитовую КИП хранилища, в систему управления установкой пожаротушения, на ЦДП комплекса с подачей дублирующего сигнала в пожарное депо;

герметичные сосуды для хранения огнетушащего порошка;

побудительная система постоянного давления для наддува газом сосудов с порошком, срабатывающая от датчиков обнаружения загорания;

система привода управляющей и регулирующей арматуры;

система распределительных трубопроводов и средств распыла порошка, щиты управления для местного и дистанционного включения;

запасные детали и др.

Необходимо определить места размещения установки (емкости для порошка, щиты управления, местные пусковые устройства) относительно резервуара и взрывобезопасное исполнение оборудования для среды (категория и группа взрывоопасной смеси IIB и T3 соответственно по ГОСТ 12.1.011-78 [5]).

Системы автоматического запуска и управления установкой должны быть продублированы ручными средствами включения и управления, установленными в местах, доступных для обслуживающего персонала в аварийных ситуациях.

Установки порошкового пожаротушения следует выполнять с запасом огнетушащего порошка из расчета подачи с наибольшим расходом (по расчету) и 100 %-м резервом. Конструкция установок порошкового пожаротушения должна обеспечивать подачу расчетного однократного запаса в автоматическом режиме и подачу резервного запаса порошка с пуском установки вручную.

Стационарные системы порошкового пожаротушения резервуара хранения СУГ должны обеспечивать подачу огнетушащего порошка через стволы с насадками на крышу резервуара в места установки штуцеров, арматуры и другого функционального оборудования, на обслуживающие площадки внутри защитного ограждения (и вне его), на тушение насосной, а также подачу порошка в расчетную зону образования факела пламени на клапанах прямого сброса газа в атмосферу.

2.4.4. Установки пенного пожаротушения в обваловании

Для противопожарной защиты обвалований резервуаров с СУГ (быстрой локализации пожара и снижения факела пламени за счет изолирующего слоя пены) рекомендуется применение автоматической стационарной установки пенотушения, использующей пеногенераторы высокократной пены с повышенной производительностью. Такой пеногенератор образует пену кратностью 700-800 без принудительного наддува воздуха от электровентилятора.

Стационарная установка пенотушения включает в себя:

систему и датчики обнаружения и оповещения о пожаре или разливе СУГ в обваловании;

устройство включения системы подачи воды;

устройство дозировки пенообразователя в линию сухотруба;

емкости с концентратом синтетического пенообразователя, пригодного для получения высокократной пены;

пеногенераторы высокократной пены, установленные на краю обвалования.

Для защиты открытого технологического оборудования в обваловании (запорная арматура, трубопроводы, люки в резервуары) пеногенераторы должны располагаться вдоль края обвалования, с тем чтобы площадь обвалования была заполнена высокократной пеной с высотой слоя, покрывающего все технологическое оборудование, но не менее 2 м, в течение 10 мин.

Необходимо учесть отличие эффективной поверхности тушения от геометрической. Для этой цели используют величину коэффициента поверхности, который рассчитывается по соотношению суммарной поверхности тушения обвалования и технологического оборудования к геометрической площади поверхности защищаемого объекта.

Количественная оценка этого коэффициента для обвалования (с погрешностью 20 %) составляет 1,3. Поэтому при расчете секундного расхода пенообразующего раствора, определенного по существующим нормативам, эту величину следует увеличить на 30 %.

Необходимо предусмотреть водяную защиту генераторов высокократной пены с помощью автоматической спринклерной установки пожаротушения.

Одной автоматической стационарной установкой может обслуживаться несколько защищаемых объектов, включая открытые технологические установки. Максимальное время с момента обнаружения пожара до достижения пеной места горения не должно, как правило, превышать 3 мин.

2.4.5. Аварийные факелы и свечи

Факельное хозяйство склада сжиженных углеводородных газов должно обеспечивать централизованный

сбор и сжигание углеводородных газов и паров, сбрасываемых с технологических блоков и изотермического резервуара при повышении давления сверх регламентного уровня через предохранительные клапаны, при продувках технологического оборудования и трубопроводов, а также в аварийных ситуациях.

Высота факела, расстояния от ствола факела до ограждения факельного устройства и различных производственных объектов склада СУГ должны рассчитываться (для любого вероятного сочетания факторов повышения давления, включая тепловое воздействие пожара на оборудование) и быть не менее следующих величин (определяемых в соответствии с ПУ БЭФ-91):

высота факела - 30 м;

расстояние от ствола факела до ограждения - 50 м;

расстояние от ствола факела до сепараторов и прочего оборудования факельного хозяйства - 55 м;

расстояние от ствола факела до производственных объектов склада и изотермического хранилища - 150 м.

Система сброса избытка паров должна определяться расчетом на любое вероятное сочетание факторов повышения давления, включая тепловое воздействие от пожара.

3. ПЛАНИРОВАНИЕ БОЕВЫХ ДЕЙСТВИЙ И ОСНОВНЫЕ ТАКТИЧЕСКИЕ ПРИЕМЫ ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ НА ОБЪЕКТАХ ХРАНЕНИЯ И ПЕРЕРАБОТКИ СУГ

Для объектов хранения и переработки СУГ в обязательном порядке разрабатываются план ликвидации аварии и оперативный план пожаротушения. При возникновении аварии руководство ее ликвидацией осуществляет комиссия по чрезвычайным ситуациям (КЧС) предприятия (или созданный на месте аварии штаб ликвидации аварии), возглавляемая руководителем предприятия или главным инженером. Работы ведутся газоаварийной службой, а также техническим персоналом объекта. Для противопожарного обеспечения привлекаются подразделения

ГПС. Старшее должностное лицо подразделения ГПС входит в состав штаба по ликвидации аварии и отвечает за возложенные на него обязанности.

При возникновении пожара старшее должностное лицо ГПС берет руководство по ликвидации пожара на себя и действует в соответствии со складывающейся обстановкой, решениями и рекомендациями КЧС (штаба) по ликвидации аварии, планом пожаротушения, БУПО и настоящими рекомендациями.

Во всех случаях по прибытии подразделений ГПС к месту вызова (аварии или возникшего пожара) при проведении разведки необходимо установить:

наличие на месте аварии КЧС (штаба по ликвидации аварии) и принятые меры по локализации аварии и защите людей;

количество и местонахождение людей в зоне аварии, пути их эвакуации;

характер повреждения аварийного и соседних резервуаров, технологических коммуникаций и опасность дальнейшего развития аварии;

объем аварийного аппарата или резервуара, вид и форму истекающего продукта, наличие угрозы взрывов и отравлений, способы защиты личного состава;

примерное время возможного разрыва (взрыва) горящего и соседних резервуаров в результате воздействия пламени и теплового излучения;

пути и скорость распространения выходящего из аварийных резервуаров и коммуникаций негорящего газа для определения зоны загазованности и степени опасности;

состояние противопожарного водоснабжения, возможность его использования для "питания" лафетных стволов с насадками типа НРТ, РВ;

наличие и состояние обвалования, вероятность угрозы смежным сооружениям в случае разрушения аварийной емкости и полного выхода продукта, пути возможного растекания.

Первоочередной задачей РТП и подразделений ГПС является локализация горения СУГ и создание безопасных условий для выгорания продукта. Для этого необходимо:

принять неотложные меры по прекращению подачи продукта в аварийный участок, перекрытию подводящих к нему трубопроводов, а также по сливу или перекачке продукта из аварийной емкости в резервные. Решение о необходимости последнего мероприятия РТП принимает только после консультации с техническим персоналом объекта;

ограничить площадь пролива, создавая заградительные валы из песка, земли, гравия. При этом одновременно обеспечивается подача стволов для охлаждения оборудования, не защищенного стационарными системами;

обеспечить бесперебойную подачу огнетушащих веществ в зону горения для снижения теплового излучения, а также работу стационарных систем тепловой защиты соседних резервуаров и сооружений, уделяя особое внимание защите запорной арматуры и фланцевых соединений;

перекрыть на месте аварии проезд всех видов транспорта, прекратить все работы с применением открытого огня для предотвращения взрыва газовоздушных смесей;

обесточить электрооборудование или перевести его в аварийный режим;

организовать постоянное наблюдение за обстановкой в местах возможной разгерметизации технологического оборудования с выбросом СУГ, а также на путях возможного перемещения газовоздушного облака.

После обеспечения мер безопасности, исключающих образование зон взрывоопасных концентраций паров продукта с воздухом и повторное воспламенение, при создании критической обстановки, способной привести к катастрофе или стихийному развитию пожара, а также после выяснения вида и количества имеющихся на объекте огнетушащих средств (возможность их доставки с других объектов) РТП, консультируясь со службами и специалистами объекта, принимает решение о целесообразности и возможности полной ликвидации горения.

Для тушения пожаров СУГ могут быть использованы следующие огнетушащие вещества: порошки, газообразный и жидкий азот, газообразная и жидкая двуокись угле-

рода, инертные газы (He, Ar, Kr), хладоны, распыленная вода, водяной пар, воздушно-механическая пена средней кратности на основе специальных синтетических пленкообразующих пенообразователей. Также не исключено применение комбинированных составов из этих веществ.

Перечень эффективных огнетушащих веществ для ликвидации различных видов горения СУГ представлен в табл. 3.1.

Выбор способа тушения определяется, в первую очередь, характером и условиями процесса горения. При этом следует учитывать, что:

вода, подаваемая в очаг горения сплошной струей или в распыленном состоянии, обеспечивает преимущественно охлаждающий эффект и механическое "сбивание" пламени;

пены различной кратности обладают в основном изолирующим действием;

инертные газы и водяной пар оказывают разбавляющее действие;

хладоны имеют свойства химических ингибиторов горения;

порошковые составы обладают универсальными огнетушащими свойствами (изолирующими, ингибирующими, разбавителя горючей среды).

Тушение пожаров открытых проливов СУГ осуществляется порошковыми составами.

Для тушения горящего пролива под слоем щебня следует применять распыленную воду или воздушно-механическую пену низкой или средней кратности. Распыленные струи применяются для тепловой защиты аварийного резервуара и соседних аппаратов, а компактные струи воды – для охлаждения оборудования вне зоны разлива. Рациональные схемы подачи воды от пожарных автомобилей приведены в табл. 3.2. Давление, создаваемое в системе насосами, определяется в соответствии с этими схемами. Воздушно-механическая пена средней кратности применяется в помещениях компрессорных станций и насосных отделений, пена низкой кратности - для защиты открытых технологических установок.

Таблица 3.1

Эффективные вещества для тушения пожаров СУГ

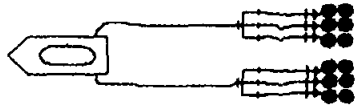
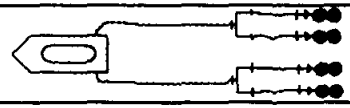
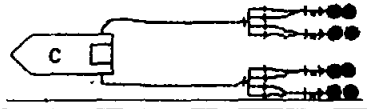
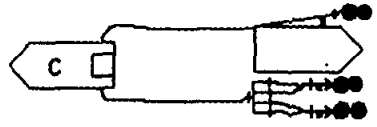
Тип пожара	Огнетушащие вещества	Приемы подачи	Рекомендуемые технические средства для подачи огнетушащих веществ					Предельный расход и площадь пролива, которые могут быть потушены техническим средством	
			Огнетушители	Ручные стволы	Лафетные стволы	Насадки, распылители, генераторы	Автомобили	Расход газа, $кг \cdot с^{-1}$	Площадь пролива, $м^2$
Факельное горение осесимметричных струй	Распыленные струи воды	Орошение факела пламени эффективной частью струи (0,5-0,75 длины струи) для локализации горения		РСП-50 РСП-70 РСК-50 РСКЗ-70		Распылители: НРТ-5 НРТ-10 НРТ-20		2	
	Водяной пар	В основание факела компактной струи. Струи пара должны охватывать всю окружность факела	Стационарные установки						
	Хладоны	Подача на основание пламени и перемещение по оси истечения	Стационарные установки, передвижная установка СЖБ-50						
	Порошковые составы	Подается на отверстие и перемещается по направлению факела до полного его отрыва	ОП-10 ОП-100				См. табл. 5.3	0,4 0,8-1,2	
Факельное горение веерообразных струй	Распыленные струи воды	Орошение факела пламени эффективной частью струи (0,5-0,75 длины струи) для локализации горения		РСП-50 РСП-70 РСК-50 РСКЗ-70		Распылители: НРТ-5 НРТ-10 НРТ-20		2	
	Водяной пар	В место истечения веерной струи	Стационарные установки						
	Хладоны	В место истечения веерной струи	Стационарные установки, передвижная установка СЖБ-50						

Окончание табл 3.1

Тип пожара	Огнетушащие вещества	Приемы подачи	Рекомендуемые технические средства для подачи огнетушащих веществ					Предельный расход и площадь пролива, которые могут быть потушены техническим средством	
			Огнетушители	Ручные стволы	Лафетные стволы	Насадки, распылители, генераторы	Автомобили	Расход газа, $кг \cdot с^{-1}$	Площадь пролива, $м^2$
Факельное горение веерообразных струй	Порошковые составы	Подаются в основание истечения и перемещаются по направлению факела до его полного отрыва. Оптимальный угол в плане между порошковыми струями 50-60°	ОП-10 ОП-100				См. табл. 5.3	0,4 0,8-1,2	
Горение пролива	Распыленные струи воды*	Факелами распыленных струй воды должна перекрываться вся поверхность горения				Распылители: НРТ-5 НРТ-10 НРТ-20			
	Воздушно-механическая пена кратностью 70-300	Изоляция всей поверхности пролива		РСП-50 РСП-70 РСК-50 РСКЗ-70	ПЛС-П20Б СПЛК-С60				
	Порошковые составы*	Направление струи к поверхности должно составлять 15-20°	ОП-10 ОП-100				См. табл. 5.3		2,5; 6* 7,5; 18*

* Для тушения под слоем щебня.

Таблица 3.2

№ п/п	Рациональные схемы подачи воды к стволам от пожарных машин с насосом ПН-40У и насосных станций	Количество, тип насадка и ствола	Давление, кгс · см$^{-2}$		Длина рукавной линии, м, при диаметре условного прохода, мм			Предельная длина рукавной линии, м
			на насосе	на стволе	66	77	150	
1		6хРТ-5	9	6	40/6	100/2	-	140
2		2хРТ-5 и 2хРТ-10	9	6	40/4	100/2	-	140
3		1хРТ-20	9	6	140/2	320/2	-	140 320
4		4хРТ-20	9	6	-	40/8	300/2	340
5		3хРТ-20	9	6	-	40/4	500/1 300/1	500 340
6		1хРТ-20	9	6	-	160/2	-	160

В целях снижения теплового воздействия факела пламени рекомендуется подавать в него распыленные струи воды, получаемые с помощью распылителей турбинного типа, технические характеристики которых представлены в табл. 3.3.

Для экранирования теплового излучения могут быть использованы водяные завесы, создаваемые с помощью щелевых распылителей.

Распылители турбинного типа создают завесы высотой 10 - 15 м, глубиной 1,2 - 2,0 м, площадью 50 - 200 м^2, в зависимости от угла наклона лопаток, при расходе воды 5 - 20 л · с$^{-1}$. При использовании щелевых распылителей РВ-12 расход воды должен составлять 12 л · с$^{-1}$ для получения завес высотой 8 м, толщиной 1,2 м и площадью 100 м^2.

Таблица 3.3

Технические характеристики распылителей

Параметр	НРТ-5	НРТ-10	НРТ-15	НРТ-20	РВ-12
Давление, МПа	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Расход воды, л · с$^{-1}$	5	10	15	20	12
Длина струи, м	20	25	30	35	8 Вертикальная завеса
Диаметр выходного отверстия, мм	7,5	9,9	12	14	-
Масса, кг	1,3	1,4	1,4	1,4	1,3

Водяные завесы устанавливаются перед защищаемым объектом на расстоянии не ближе 1,5 м от фронта пламени, с эффективным углом подачи струи 50° к горизонту, при рабочем давлении 0,6 МПа.

Сжиженный газ может истекать в паровой, жидкой и парожидкостной фазах, каждая из которых имеет свою температуру горения. Поэтому характер истечения газа можно определить по цвету и виду пламени:

в паровой фазе газ сгорает светло-желтым пламенем, с большой скоростью истечения с характерным свистящим шумом;

в жидкой фазе пламя ярко-оранжевое с выделением сажи;

в парожидкостной фазе горение происходит с периодически меняющейся высотой пламени.

Размеры и форма факела определяются характером повреждения: из отверстий круговой формы - компактные струи, из щелевых отверстий - распыленные струи. Длина пламени в зависимости от расхода продукта на аварийном участке может быть рассчитана по методике, приведенной в приложении. Для оперативной оценки расхода СУГ по длине пламени РТП может использовать данные, приведенные в таблице 3.4 [6].

Таблица 3.4

Зависимость длины пламени от расхода газа

Вид струи	Расход СУГ, кг · с$^{-1}$, при длине факела пламени, м											
	2	3	5	10	15	20	25	30	35	40	50	55
Компактная	-	-	0,1	0,4	1,0	2,0	3,0	5,0	7,0	10	15	20
Распыленная	0,5	1,0	2,0	7,5	14	20	30	40	55	-	-	-

Высота пламени при горении разлившегося сжиженного газа в 2 - 2,5 раза больше среднего диаметра площади горения. При горении продукта под слоем щебня высота пламени не зависит от площади горения и не превышает 0,5 - 0,7 м.

Зная расход истекающего негорящего газа, РТП может также ориентировочно оценить размеры зоны загазованности по данным, представленным в табл. 3.5 [7].

Объекты хранения и переработки СУГ в обязательном порядке комплектуются первичными средствами тушения. В основном это порошковые огнетушители ОП-10 и ОП-100. Порошковые огнетушители могут обеспечить ликвидацию горения при истечении СУГ с расходами и площадями пролива, указанными в табл. 3.6.

Таблица 3.5

Ориентировочные размеры зоны загазованности по направлению ветра

Расход газа, кг · с$^{-1}$	Длина зоны, м, при скорости ветра, м · с$^{-1}$			
	0,5	1,0	5,0	10,0
0,5	40	30	10	10
1	55	40	20	15
2	75	55	25	17
3	100	75	30	20
4	120	80	35	25
5	130	90	40	28
6	140	100	45	30
7	150	110	48	34
8	160	120	50	37
9	170	125	53	39
10	180	130	55	40
11	190	140	60	42
12	200	150	65	46
13	205	155	67	48
14	210	160	69	49
15	220	165	70	50
16	230	170	72	51
17	240	175	74	52
18	250	180	76	53
19	255	180	78	54
20	260	180	80	55

Примечание. Поперечный размер зоны загазованности (перпендикулярно направлению ветра) может быть принят равным 30 % от длины зоны загазованности.

Таблица 3.6

Параметры области применения порошковых огнетушителей при тушении СУГ

Марка огнетушителя	Расход струи газа, кг · с$^{-1}$	Площадь пролива, м^2	
		чистого	под щебнем
ОП-10	до 0,4	до 2,5	до 6
ОП-100	до 1,2	до 7,5	до 18

При более высоком расходе газа (до 10 кг · $с^{-1}$) необходимо подавать струю порошка с расходом не менее 40 кг · $с^{-1}$. Такой расход могут обеспечить только автомобили порошкового или комбинированного тушения, с применением следующей тактики тушения.

Тушение факела проводится наиболее эффективной частью струи (для ручного ствола 4 - 5 м, лафетного - 13 - 16 м), с наветренной стороны, т.к. боковой ветер сокращает длину струи, снося ее в сторону. Полный охват факела порошковым облаком необязателен. Струя порошка подается на отверстие, откуда истекает газ, и постепенно перемещается по направлению факела до его полного отрыва. Тушение обеспечивается, если сечение струи порошка превышает сечение средней части факела. Факел, направленный вверх, характеризуется более сложным условием тушения по сравнению с факелом, направленным вниз или по горизонтали. Подача порошка на тушение наклонных струй газа может производиться с противоположной стороны истечения, но при этом необходимо учитывать направление и силу ветра. Наибольший эффект тушения пламени достигается при одновременной работе двух ручных или лафетных стволов с оптимальным углом в плане 50 - 60°. Тушение на высоте до 12 м производится ручными стволами, до 30 м - лафетными, на еще большую высоту стволы подаются с помощью лестниц или подъемников. На практике себя хорошо зарекомендовало тушение с использованием АП и АЛ. На АЛ вместо стационарного лафетного ствола крепится щелевой распылитель. Данный способ значительно безопаснее и эффективнее, чем подача через лафетный ствол.

Если горящий факел перед тушением орошается распыленными струями воды, то при подаче порошка орошение прекращается, а струи направляются в сторону, чтобы не допустить соприкосновения воды с порошком. После окончания тушения одновременно с отъездом автомобиля порошкового тушения орошение аварийного участка возобновляется для охлаждения оборудования, конструкций, а также для ликвидации остаточных очагов горения и тления твердых материалов.

Тушение пролива СУГ производят огнетушащим порошком с наветренной стороны, начиная подачу порошка на ближний край пролива с расстояния для ручных стволов 4 - 5 м, лафетных 13 - 16 м и под углом к зеркалу жидкости 15 - 20°.

При тушении пожаров СУГ требуемый расход воды может достигать 300 л · $с^{-1}$. Поэтому наряду с противопожарным водопроводом необходимо предусматривать использование всех ближайших искусственных и природных водоемов, водопровода ближайших объектов и жилых кварталов. Для подачи воды задействуются пожарные автонасосные станции и рукавные автомобили. Одновременно решается вопрос отвода воды, которая может скапливаться в зоне пожара.

4. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ

При пожарах, связанных с горением СУГ, особенно при их хранении под давлением, практически всегда существует опасность разрыва емкостей, коммуникаций и вспомогательного технологического оборудования, сопровождающегося выбросом больших объемов горящего газа, взрывами ("хлопками" и "вспышками").

Это происходит из-за быстрого нарастания давления внутри указанных емкостей и коммуникаций в результате их нагрева (предохранительная арматура не всегда позволяет "стравить" его в атмосферу и на факел), а также потери прочности (по этой же причине) металлических поверхностей, ограничивающих парожидкостное пространство. Нередко в результате воздействия пламени и водяного орошения теряют прочность опорные конструкции, на которых монтируются резервуары и коммуникации, что также может привести к деформации и разгерметизации последних, с вытекающими отсюда последствиями.

Все это требует уделять особое внимание обеспечению безопасности людей, участвующих в ликвидации пожара и аварии.

РТП, штаб пожаротушения и лицо, назначенное ответственным за технику безопасности, должны совместно

с техническим персоналом объекта принять все возможные меры к сбросу ("стравливанию") давления в емкостях и технологическом оборудовании, оказавшихся в зоне теплового воздействия, обеспечению безопасного освобождения их от продукта, выполнению других мер, предусмотренных планом ликвидации аварии и оперативным планам пожаротушения.

При угрозе взрыва емкостей люди своевременно выводятся на безопасное расстояние (не менее 100 м). На таких пожарах целесообразнее использовать лафетные стволы, стационарные системы орошения.

Важное значение должно придаваться защите личного состава подразделений ГПС:

от теплового излучения пламени;

от отравления токсичными газами и продуктами горения органов дыхания и кожного покрова при внезапном выбросе газа;

от шума при горении выходящего под давлением газа.

Тепловой поток зависит от температуры пламени, вида струи фонтана, состава горящего вещества, расстояния до факела пламени, расположения пламени над уровнем земли, направления и скорости ветра. Он может быть рассчитан по методикам, приведенным в приложении. Для оперативной оценки допускается использование *данных табл. 4.1 - 4.2.*

Независимо от площади горения СУГ под слоем щебня, на расстоянии 5 м от края разлива интенсивность теплового потока не превышает 4,2 кВт $\cdot$ м$^{-2}$.

Целесообразно постоянно замерять плотность теплового потока, учитывая характер его воздействия на личный состав (табл. 4.3).

Плотность теплового потока уменьшается в 2 раза при подаче распыленных водяных струй в факел пламени и в 3 раза с помощью водяных завес, устанавливаемых со стороны защищаемого объекта на расстоянии 1,5 м от фронта пламени.

Таблица 4.1

Плотность теплового потока, кВт · м$^{-2}$, при струйном истечении СУГ

Расход СУГ, кг · с$^{-1}$	Расстояние от факела пламени, м										
	5	10	15	20	25	30	40	50	60	70	80
1	8,4	4,2	-								
2	12,6	6,3	5,6	2,8	-						
3	14,0	7,8	7,0	4,2	-						
5	-	9,2	8,4	7,0	4,2	-					
7	-	11,1	10,5	8,4	7,8	4,5	1,7	-			
10	-	-	12,6	10,1	9,2	7,0	5,5	2,4	-		
15	-	-	-	13,1	11,9	9,8	7,0	5,9	4,2	-	
20	-	-	-	-	-	11,9	8,8	7,3	6,3	5,7	4,2

Таблица 4.2

Плотность теплового потока, кВт · м$^{-2}$, при горении пролива СУГ

Площадь горения, м^2	*Расстояние от фронта пламени, м*				
	2	5	10	15	20
1	3,8	-			
2	7,0	4,2	-		
3	11,1	7,0	4,2	-	
5	14,0	8,1	4,9	2,1	-
7	16,5	9,2	5,5	2,3	-
10	18,0	10,5	6,3	3,1	-
15	20,5	12,6	8,1	3,9	-
20	30,0	24,0	11,1	5,6	2,4
100	75,0	40,0	11,0	6,0	2,8
150	82,0	45,0	14,0	8,0	4,2

Таблица 4.3

Требуемая защита и допустимое время пребывания людей в зоне тепловой радиации

Плотность теплового потока, кВт · м$^{-2}$	Допустимое время пребывания, мин	Требуемая защита людей	Степень теплового воздействия на незащищенную кожу человека
3,0	Не ограничивается	Без защиты	Болевые ощущения отсутствуют
4,2	Не ограничивается	В боевой одежде и касках с защитным стеклом	Непереносимые болевые ощущения через 20 с
7,0	5	В боевой одежде и касках с защитным стеклом	Непереносимые болевые ощущения, возникающие мгновенно
8,5	5	В боевой одежде, смоченной водой, и касках с защитным стеклом	Ожоги через 20 с
10,5	5	То же, но под защитой распыленных струй воды или водяных завес	Мгновенные ожоги
14,0	5	В теплоотражательных костюмах под защитой водяных струй или завес	Мгновенные ожоги
85,0	1	То же, но со средствами индивидуальной защиты	Летальный исход

Комплексная защита может быть обеспечена только с использованием набора различных видов спецодежды, а также средств защиты рук, ног, головы, органов дыхания, используемых в комплекте со спецодеждой. Наиболее приемлемыми защитными средствами из разработанных в настоящее время являются:

боевая одежда для начальствующего и рядового состава пожарной охраны (ТУ17-08-249-86);

боевая одежда пожарных для северных регионов (ТУ17-08-328-91);

комплект теплоотражательный (ТОК) для пожарных (ТУ17-08-289-89);

комплект теплозащитной (ТК-800) одежды для пожарных (ТУ17-08-232-85);

перчатки трехпалые специальные для пожарных (ТУ17-08-283-89);

сапоги резиновые формовые термостойкие (ТУ38-106426-85).

Таблица 4.4

Допустимая продолжительность работы в ТОК

Интенсивность теплового потока, кВт · м$^{-2}$	Продолжительность работы, мин
7	16
10,5	12
14	8
18	6

Комплект теплоотражательный для пожарных (ТОК) обеспечивает защиту от воздействия ИК-излучения поверхностной плотностью до 18 кВт · м$^{-2}$ и температуры окружающей среды до 200 °С в течение 8 мин. В комплект входят куртка с центральной бортовой застежкой на карабинах-застежках и с отсеком для изолирующих дыхательных аппаратов (КИП-8, АИР-317, АСВ-2 и др.), отстегивающийся капюшон с иллюминатором из органического стекла, закрытого полиамидной пленкой желтого цвета для защиты глаз от световой радиации; полукомбинезон на бретелях, бахилы для защиты ног и трехпалые перчатки с крагами. Подошвы бахил и ладонная часть перчаток изготавливается из спилка.

Комплект ТК-800 предназначен для защиты работающего при температуре окружающей среды 200 °С - в течение 16 мин, при температуре 800 °С - 40 с. Допускается кратковременный контакт с открытым пламенем. В комплект ТК-800 входят комбинезон, рукавицы, капюшон с иллюминатором (состав иллюминатора - термо-

стойкое стекло ЛК-5, органическое стекло, полиамидная пленка), бахилы. Все составные части костюма имеют съемные чехлы, позволяющие использовать их многократно. В качестве теплоизолятора используются либо шерстяной ватин, либо шерстяной войлок АТИМ-9. Масса комплекта ТК-800 составляет 18 кг.

Вся экипировка личного состава должна строго соответствовать требованиям Боевого устава пожарной охраны и Правилам по охране труда в подразделениях ГПС МВД России.

Для кратковременных работ в зоне с интенсивностью теплового излучения, указанной в табл. 4.4, следует применять теплоотражательные комплекты (ТОК), пока не будет достигнута возможность пребывания людей в зоне высоких температур в течение 1 - 1,5 ч. Для бесперебойной работы целесообразно разбить личный состав на несколько групп с поочередной заменой их в зоне высоких температур.

Вводить людей в такую зону сначала следует на 10 - 15 мин.

После отдыха время пребывания в ней увеличивается по графику, представленному в табл. 4.5.

Таблица 4.5

Рекомендуемое время отдыха в зависимости от продолжительности работы

Продолжительность работы, мин	Продолжительность отдыха, мин
15	10
30	15
45	20
60	30
75	40
90	60

Людей, работающих в непосредственной близости от открытого огня, охлаждает группа ствольщиков, которая находится дальше от очага пожара на длину струи, их в свою очередь, при необходимости, орошает другая группа ствольщиков, т. е. осуществляется эшелонированная защита.

При затяжном пожаре необходимо организовать пункты с питьевой водой, обогревом, а зимой – с заменой мокрой одежды.

Помимо средств индивидуальной защиты широко используются средства коллективной защиты - экраны, ширмы и т. п.

Средства коллективной защиты представляют собой металлический каркас с укрепленными на нем алюминиевыми листами, с вырезанными в них смотровыми отверстиями. Как правило, изготавливаются они без какой-либо технической документации и отличаются только размерами.

Они обеспечивают защиту людей и техники от воздействия тепловых потоков, позволяют проводить работы вблизи очага пожара. Однако все они имеют ряд существенных недостатков:

используемые защитные экраны и ширмы являются либо неразборными, либо сборка и демонтаж их сопряжены со значительными трудовыми затратами и использованием специального инструмента;

большая масса и габаритные размеры затрудняют транспортировку их к месту пожара и перемещение на пожаре.

ВНИИПО МВД России разработан легкий разборный защитный экран с изменяющимися габаритными размерами и геометрической формой. Он представляет собой каркас из алюминиевого профиля с натянутой на него металлизированной кремнеземной тканью с высокой степенью отражения теплового потока излучения (до 90%). Предусмотрены смотровые отверстия, закрытые органическим стеклом с полиамидной пленкой. Имеются специальные отсеки с внутренней стороны для размещения необходимых инструментов и аппаратуры.

Собирается и разбирается экран в течение не более 5 мин без использования какого-либо инструмента. В собранном состоянии он хранится в специальном чехле. Масса экрана не более 15 кг, защищаемая площадь 6 м^2.

Для защиты органов дыхания личного состава при работе в зоне пожара, а также в местах возможного скоп-

ления газообразных веществ и продуктов их горения применяются изолирующие противогазы.

Контроль за соблюдением правил охраны труда осуществляет специально назначенное РТП лицо.

5. РАСЧЕТ СИЛ И СРЕДСТВ

Расчет сил и средств сводится к определению расходов средств тушения на тепловую защиту аппаратов, строительных конструкций и тушение пожара, количества оперативных подразделений для подачи средств тушения, количества основной и специальной техники.

Требуемые расходы воды и пены на тепловую защиту технологического оборудования, строительных конструкций определяются по формуле

$$Q_З = \sum_{i=1}^{n} I_i^З \cdot S_i^З , \qquad (5.1)$$

где $Q_З$ -требуемый расход огнетушащего вещества на тепловую защиту оборудования, л · с$^{-1}$; $I_i^З$ - интенсивность подачи огнетушащего вещества на тепловую защиту каждого аппарата (объекта), л · с$^{-1}$· м$^{-2}$, принимается в соответствии с табл. 5.1; $S_i^З$ - площадь защищаемой поверхности аппарата (объекта), м^2.

Таблица 5.1

Интенсивность подачи огнетушащего вещества на тепловую защиту аппарата (объекта) с помощью передвижных средств

Огнетушащие вещества	Интенсивность подачи воды и пены, л · с$^{-1}$· м$^{-2}$
Компактные водяные струи из ручных и лафетных стволов	0,5
Распыленные водяные струи из ручных стволов типа РСП-70, РСП-50	0,3
Распыленные водяные струи из распылителей турбинного типа и воздушно-механическая пена (по раствору)	0,2

Примечание. Интенсивность подачи огнетушащих веществ для тепловой защиты соседнего оборудования уменьшается в 2 раза.

Расход раствора пенообразователя для тушения продукта, разлившегося на территории объекта и находящегося в аппаратах, определяется по формуле

$$Q_{ПТ} = I_T \cdot S_T, \qquad (5.2)$$

где $Q_{ПТ}$ - требуемый расход раствора пенообразователя, л · с$^{-1}$; I_T – требуемая интенсивность подачи пены (по раствору), л · с$^{-1}$· м$^{-2}$, принимается по табл. 5.2; S_T - расчетная площадь тушения, м^2. Принимается за вычетом участков, защищаемых стационарными системами пенного тушения.

Расход порошка на тушение горящей струи СУГ определяется по формуле

$$Q_П = I_П \cdot W, \qquad (5.3)$$

где $Q_П$ - требуемый расход порошка, кг · с$^{-1}$; $I_П$- интенсивность подачи порошка, кг · кг$^{-1}$(продукта), принимается по табл. 5.2; W - расход продукта, кг · с$^{-1}$.

Расход порошка на тушение горения СУГ на свободной поверхности определяется по формуле (5.2), в которой в качестве величины I_T следует брать интенсивность подачи порошка из табл. 5.2.

Общий расход воды на тепловую защиту оборудования, строительных конструкций и на тушение пожара определяется по формуле

$$Q_В^{общ} = Q_{ЗВ} + Q_{ТВ}. \qquad (5.4)$$

Общий расход раствора пенообразователя на тепловую защиту и тушение вычисляется по формуле

$$Q_П^{общ} = Q_{ЗП} + Q_{ТП}. \qquad (5.5)$$

Исходя из общего расхода веществ пожаротушения, определяется количество оперативных отделений для подачи воды или пены с помощью соотношения

$$N_{ОТД}^{В(П)} = \frac{Q_{В(П)}^{общ}}{Q_0}, \qquad (5.6)$$

где $Q_{В(П)}^{общ}$ - общий расход воды или пены на тушение и защиту объекта, л · с$^{-1}$; Q_0 - расход воды или пены, который может подать одно оперативное отделение, л · с$^{-1}$.

Определяем запас пенообразующих веществ:

$$W_{ПО} = K \cdot C \cdot (Q_{ЗП} \cdot \tau_З + Q_{ТП} \cdot \tau_Т), \quad (5.7)$$

где $W_{ПО}$ - количество пенообразователя на защиту и тушение объекта, л; K - коэффициент запаса, принимается равным 3; C - концентрация раствора пенообразователя, %; $Q_{ЗП}$, $Q_{ТП}$ - расход пены (по раствору) на защиту и тушение объекта, л · с$^{-1}$; $\tau_Т, \tau_З$ - расчетное время тушения и защиты оборудования, с, принимается в зависимости от конкретной обстановки на пожаре.

Количество автомобилей порошкового тушения определяется следующим образом:

для тушения струи газа

$$N_{АП} = \frac{G_Г}{G_{АП}}, \quad (5.8)$$

где $G_Г$ - расход газа при струйном истечении, кг · с$^{-1}$, принимается по табл. 3.4; $G_{АП}$- предельный расход газа, потушенный одним АП, кг · с$^{-1}$, принимается по табл. 5.3;

для тушения пролива сжиженного газа

$$N_{АП} = \frac{S_Г}{S_{АП}}, \quad (5.9)$$

где $S_Г$ - площадь пожара, м^2; $S_{АП}$ - предельная площадь горения пролива СУГ, потушенная одним АП, м^2. принимается по табл. 5.3.

Таблица 5.2

Интенсивность подачи огнетушащих веществ для тушения СУГ, пролившегося на объекте и истекающего из аппарата

Характер горения	Интенсивность подачи средств тушения			
	Воздушно-механическая пена средней кратности (по раствору)	Распыленная вода	Порошок	Хладоны
СУГ, под слоем гравия	1,0 л · $с^{-1}$· $м^{-2}$	5,0 л · $с^{-1}$· $м^{-2}$	-	-
СУГ, на свободной поверхности	1,0 л · $с^{-1}$· $м^{-2}$	-	1,0 кг · $с^{-1}$ ·$м^{-2}$	-
Компактная струя СУГ	-	3,5 л · $кг^{-1}$	4,0 кг · $кг^{-1}$	4,5 кг· $кг^{-1}$
Распыленная струя СУГ	-	3,5 л · $кг^{-1}$	4,0 кг· $кг^{-1}$	4,5 кг· $кг^{-1}$

Таблица 5.3

Предельный расход сжиженного газа и предельная площадь пролива, которые тушатся одним автомобилем

Марка автомобиля	Средства подачи порошка	Предельный расход жид. и газа, $кг \cdot с^{-1}$	Предельная площадь пролива, $м^2$
АП-3 (130) 148	Лафетный ствол с расходом 20 $кг \cdot с^{-1}$	5	20
	Два ручных ствола с суммарным расходом 2,4 $кг \cdot с^{-1}$	0,6	7
	Один ручной ствол с расходом 1,2 $кг \cdot с^{-1}$	0,3	3,5
АП-3 (130) 148 А	Лафетный ствол с расходом 40 $кг \cdot с^{-1}$	10,0	40
	Два ручных ствола с суммарным расходом 7,0 $кг \cdot с^{-1}$	1,8	20
	Один ручной ствол с расходом 3,5 $кг \cdot с^{-1}$	0,9	10
АП-4 (43105) 222	Лафетный ствол с расходом 80 $кг \cdot с^{-1}$	20,0	40
	Два ручных ствола с суммарным расходом 9,0 $кг \cdot с^{-1}$	2,2	25
	Один ручной ствол с расходом 4,5 $кг \cdot с^{-1}$	1,1	12,5
АП-5 (53213) 196	Лафетный ствол с расходом 40 $кг \cdot с^{-1}$	10,0	40
	Два ручных ствола с суммарным расходом 9,0 $кг \cdot с^{-1}$	2,2	25

Окончание табл. 5.3

Марка автомобиля	Средства подачи порошка	Предельный расход жид. и газа, кг · с$^{-1}$	Предельная площадь пролива, м^2
АП-5 (53213) 196	Один ручной ствол с расходом 4,5 кг · с$^{-1}$	1,1	12,5
АКТ-05/05 (66) 207	Лафетный ствол с расходом порошка 4 кг · с$^{-1}$	1,1	12
АКТ- 3/2,5 (133ГЯ) 197	Лафетный ствол с расходом порошка 30 кг · с$^{-1}$	10	25

Потребности в специальной и вспомогательной технике (рукавные автомобили, автомобили связи и освещения, автоподъемники и др.) устанавливаются с учетом конкретной обстановки пожара, наличия высотных технологических аппаратов, удаленности водоисточников и других условий.

Общее количество основных, специальных и вспомогательных автомобилей принимается с учетом необходимого резерва:

$$N_{общ} = K \cdot N_p, \qquad (5.10)$$

где N_p - расчетное количество основных, специальных и вспомогательных автомобилей, ед; K – коэффициент запаса, принимается равным в летнее время 1,2, в зимнее время - 1,5.

ПРИЛОЖЕНИЕ

1. Методика определения удельной массы СУГ, испарившегося из пролива

Настоящая методика приведена в работе [8]. В ней показано хорошее согласие получаемых результатов с экспериментальными данными.

Для сжиженных углеводородных газов (СУГ) при отсутствии данных допускается рассчитывать удельную массу паров испарившегося СУГ $m_{СУГ}$, кг · м$^{-2}$, по формуле*)

$$m_{СУГ} = \frac{M}{L_{ИСП}} \cdot (T_0 - T_ж) \cdot \left(2 \cdot \lambda_{ТВ} \cdot \sqrt{\frac{t}{\pi \cdot a}} + \frac{5{,}1 \cdot \sqrt{Re} \cdot \lambda_в \cdot t}{d} \right), \quad (1.1)$$

где M - молярная масса СУГ, кг · моль$^{-1}$; $L_{ИСП}$ - мольная теплота испарения СУГ при начальной температуре СУГ, $T_ж$, Дж · моль$^{-1}$; T_0 - начальная температура материала на поверхность которого проливается СУГ, соответствующая расчетной температуре $t_р$, К; $T_ж$ - начальная температура СУГ, К; $\lambda_{ТВ}$ - коэффициент теплопроводности материала, на поверхность которого проливается СУГ, Вт · м$^{-1}$ · К$^{-1}$; a - эффективный коэффициент температуропроводности материала, на поверхность которого проливается СУГ, равный 8,4·10^{-8} м^2 · с$^{-1}$; t - текущее время, с, принимаемое равным времени полного испарения СУГ; $Re = \frac{U \cdot d}{\nu_в}$ - число Рейнольдса; U - скорость воздушного потока, м · с$^{-1}$; d - характерный размер пролива СУГ, м; $\nu_в$ – кинематическая вязкость воздуха при расчетной температуре $t_р$, м^2 · с$^{-1}$; $\lambda_в$ - коэффициент теплопроводности воздуха при расчетной температуре $t_р$, Вт · м$^{-1}$ · К$^{-1}$; $t_р$ - расчетная температура, °С. В качестве расчетной температуры сле-

---

*) Формула применима при температуре подстилающей поверхности от минус 50 до плюс 40 °С.

дует принимать максимально возможную температуру воздуха в данной климатической зоне или максимально возможную температуру воздуха по технологическому регламенту с учетом возможного повышения температуры в аварийной ситуации.

Пример. Определить массу газообразного этилена, образующегося при испарении пролива сжиженного этилена в условиях аварийной разгерметизации резервуара.

Данные для расчета

Изотермический резервуар сжиженного этилена объемом $V_{ирэ} = 10000$ м^3 установлен в бетонном обваловании со свободной площадью $F_{об} = 5\ 184$ м^2 и высотой отбортовки $H_{об} = 2,2$ м. Степень заполнения резервуара $\alpha = 0,95$.

Ввод трубопровода подачи сжиженного этилена в резервуар выполнен сверху, а вывод отводящего трубопровода - снизу.

Диаметр отводящего трубопровода $d_{тр} = 0,25$ м. Длина участка трубопровода от резервуара до автоматической задвижки, вероятность отказа которой превышает 10^{-6} в год (и не обеспечено резервирование ее элементов), $L = 1$ м. Максимальный расход сжиженного этилена в режиме выдачи $G_{жэ} = 3,1944$ кг · с$^{-1}$. Плотность сжиженного этилена при температуре эксплуатации $T_{эк} = 169,5$ K $\rho_{эж} = 568$ кг · м$^{-3}$. Плотность газообразного этилена при $T_{эк}$ $\rho_{гэ} = 2,0204$ кг · м$^{-3}$. Молярная масса сжиженного этилена $M_{эж} = 28 \cdot 10^{-3}$ кг · моль$^{-1}$. Мольная теплота испарения сжиженного этилена при $T_{эк}$ $L_{исп} = 1,344 \times 10^4$ Дж · моль$^{-1}$. Температура бетона равна максимально возможной температуре воздуха в соответствующей климатической зоне $T_б = 309$ K. Коэффициент теплопроводности бетона $\lambda_б = 1,5$ Вт · м$^{-1}$ · К$^{-1}$. Коэффициент температуропроводности бетона $a = 8,4 \cdot 10^{-8}$ м^2 · с$^{-1}$. Минимальная скорость воздушного потока $v_{min} = 0$ м · с$^{-1}$, а максимальная для данной климатической зоны $v_{max} = 5$ м · с$^{-1}$. Кинематическая вязкость воздуха $\nu_в$ при расчетной температуре воздуха для данной климатической зоны $t_р = 36$ °С рав-

на $1,64 \cdot 10^{-5}$ м^2 · с$^{-1}$. Коэффициент теплопроводности воздуха $\lambda_в$ в при $t_р$ равен $2,74 \cdot 10^{-2}$ Вт · м$^{-1}$ · К$^{-1}$.

Расчет

При разрушении изотермического резервуара объем сжиженного этилена составит:

$$V_{сжэ} = \alpha \cdot V_{ирэ} + \frac{G_{жэ} \cdot t}{\rho_{эж}} + \frac{\pi \cdot d^2_{тр}}{4} \cdot L = 0,95 \cdot 10000 +$$

$$+ \frac{3,194 \cdot 120}{568} + \frac{3,14 \cdot 0,25^2}{4} \cdot 1 = 9500,7 \text{ м}^3.$$

Свободный объем обвалования $V_{об} = 5184 \cdot 2,2 = 11404,8$ м^3.

Ввиду того, что $V_{сжэ} < V_{об}$, примем за площадь испарения $F_{исп}$ свободную площадь обвалования $F_{об}$, равную 5184 м^2.

Тогда масса испарившегося этилена $m_{ижэ}$ с площади пролива при скорости воздушного потока v = 5 м · с$^{-1}$ рассчитывается по формуле (1.1) и составляет:

$$m_{ижэ} = F_{исп} \cdot M_{уд} = F_{исп} \cdot \frac{M}{L_{исп}} \cdot (T_б - T_{эк}) \times$$

$$\times \left(2 \cdot \lambda_{тв} \cdot \sqrt{\frac{t}{\pi \cdot a}} + \frac{5,1 \cdot \sqrt{Re \cdot \lambda_в \cdot t}}{d} \right) =$$

$$= 5128 \cdot \frac{28 \cdot 10^{-3}}{1,344 \cdot 10^4} \cdot (309 - 169,5) \cdot \left(2 \cdot 1,5 \cdot \sqrt{\frac{3600}{3,14 \cdot 8,4 \cdot 10^{-8}}} + \right.$$

$$\left. + \frac{5,1 \cdot \sqrt{\frac{5184}{1,64 \cdot 10^{-5}} \cdot 2,74 \cdot 10^{-2} \cdot 3600}}{\sqrt{5184}} \right) = 577358 \text{ кг}.$$

Масса $m_{ижэ}$ при $v = 0$ м · с$^{-1}$ составит 529039 кг.

2. Методика определения растекания СУГ за пределы обвалования при разрушении резервуара

Настоящая методика приведена в работе [9].

Относительное количество СУГ Q (%), перелившегося через обвалование вследствие быстрого (в пределе квазимгновенного) разрушения резервуара зависит от отношения высоты обвалования a к высоте столба СУГ в резервуаре h_0 и уклона подстилающей поверхности b.

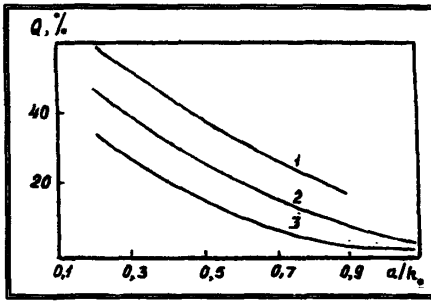


Рис. 2.1. Зависимость относительного количества жидкости Q, перелившейся через обвалование, от параметра a/h_0 при различных наклонах подстилающей поверхности: 1 - $b = -0{,}02$; 2 - $b = 0$; 3 - $b = 0{,}2$

Уклон подстилающей поверхности $в$ рассчитывают по формуле

$$b = \Delta a / L , \qquad (2.1)$$

где Δa - перепад высот подстилающей поверхности у резервуара и обвалования, м; L - расстояние от резервуара до обвалования, м.

Относительное количество СУГ Q (%), перелившегося через обвалование, определяют по рис. 2.1 и 2.2. Использование графиков для определения Q допустимо при соотношении величин расстояния от резервуара до обвалования к диаметру резервуара от 2 до 5.

Пример. Определить массу сжиженного этилена, перелившегося через обвалование при мгновенном разрушении наземного изотермического резервуара, расположенного на ровной площадке.

Данные для расчета

Изотермический резервуар имеет объем $V = 10000$ м^3, степень его заполнения жидкой фазой $\alpha = 0,95$. Высота резервуара $h_0 = 20$ м. Высота обвалования $a = 6$ м. Плотность сжиженного этилена при температуре эксплуатации $T_{эк} = 169,5$ K составляет $\rho_{эж} = 568$ кг · м$^{-3}$.

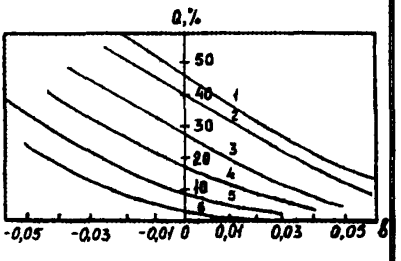


Рис. 2.2. Зависимость относительного количества жидкости Q, перелившейся через обвалование, от параметра b, характеризующего наклон подстилающей поверхности, при различных отношениях a/h_0:
1 - $a/h_0 = 0,2$; 2 - $a/h_0 = 0,3$; 3 - $a/h_0 = 0,5$; 4 - $a/h_0 = 0,7$; 5 - $a/h_0 = 0,9$; 6 - $a/h_0 = 1,1$.

Расчет

Полная масса сжиженного этилена в резервуаре равна: $m_э = V \cdot \rho_{эж} \cdot \alpha = 5,4 \cdot 10^6$ кг.

Параметр $a/h_0 = 6/20 = 0,3$. Параметр $b = 0$. С помощью рис. 2.1 (кривая 2) находим относительное количество жидкости Q, перелившейся через обвалование: $Q = 39$ %.

Масса сжиженного этилена, перелившегося через обвалование при мгновенном разрушении резервуара, составит

$$m_п = (Q/100)\, m_э = 2,11 \cdot 10^6 \text{ кг}.$$

3. Методика определения максимальных размеров взрывоопасных зон при испарении СУГ из проливов

В настоящей методике использованы зависимости, приведенные в работе [10].

Метод расчета зон, ограниченных нижним концентрационным пределом распространения пламени (НКПР) паров СУГ, образующихся при испарении сжиженных уг-

леводородных газов из проливов, приведен для случая, когда размеры зон достигают максимальных значений, а именно при неподвижной воздушной среде.

3.1. Размеры взрывоопасной зоны по горизонтали $X_{нкпр}$, $У_{нкпр}$ и вертикали $Z_{нкпр}$ (м) для паров СУГ, ограничивающие область концентраций, превышающих НКПР, вычисляют по формулам

$$X_{нкпр} = У_{нкпр} = 3,2 \cdot \sqrt{K} \cdot \left(\frac{P_н}{C_{нкпр}}\right)^{0,8} \cdot \left(\frac{m_п}{\rho_п \cdot P_н}\right)^{0,33}; \quad (3.1)$$

$$Z_{нкпр} = 0,12 \cdot \sqrt{K} \cdot \left(\frac{P_н}{C_{нкпр}}\right)^{0,8} \cdot \left(\frac{m_п}{\rho_п \cdot P_н}\right)^{0,33}, \quad (3.2)$$

где $m_п$ - масса паров СУГ, поступивших в открытое пространство за время полного испарения, кг; $\rho_п$ - плотность паров СУГ при расчетной температуре и атмосферном давлении, кг · м$^{-3}$; $P_н$ - давление насыщенных паров СУГ при расчетной температуре $t_р$, кПа; K - коэффициент, принимаемый равным $K = \frac{T}{3600}$; T - продолжительность поступления паров СУГ в открытое пространство, с; $C_{нкпр}$ - нижний концентрационный предел распространения пламени СУГ, % (об.).

3.2. Радиус $R_б$ (м) и высоту $Z_б$ (м) зоны, ограниченной НКПР паров СУГ, вычисляют исходя из значений $X_{нкпр}$, $У_{нкпр}$ и $Z_{нкпр}$.

При этом $R_б > X_{нкпр}$, $R_б > У_{нкпр}$ и $Z_б > Z_{нкпр}$.

Геометрически зона, ограниченная НКПР паров СУГ, представляет собой цилиндр с радиусом $R_б$ основания и высотой $h_б = Z_{нкпр}$ при высоте источника выброса паров $h < Z_{нкпр}$ и $h_б = h + Z_{нкпр}$ при $h \geq Z_{нкпр}$, где h - высота источника поступления паров СУГ от уровня земли, м.

За начало отсчета зоны, ограниченной НКПР паров, принимают внешние габаритные размеры аппаратов, установок, трубопроводов и т. п.

3.3. Во всех случаях значения $X_{нкпр}$, $У_{нкпр}$ и $Z_{нкпр}$ должны быть приняты не менее 0,3 м.

Пример. Определить размеры зоны, ограниченной нижним концентрационным пределом распространения пламени НКПР паров сжиженного этилена при его испарении с поверхности пролива для условий, сформулированных в примере раздела 1.

Данные для расчета

Масса пролитого сжиженного этилена в соответствии с примером раздела 1 составляет 528039 кг. Величина НКПР $C_{НКПР} = 2,7$ % (об.). Давление насыщенных паров при температуре кипения $p_н = 101,3$ кПа. Значение K для времени испарения $T = 3600$ с равно 1,0. Плотность паров этилена $\rho_п$ при температуре кипения $T_к = 169,5$ K составляет:

$$\rho_п = \rho_в \cdot \frac{M_э}{M_в} \cdot \frac{T_0}{T_к} = 1,29 \cdot \frac{28,05}{29,5} \cdot \frac{273,15}{169,5} = 1,98 \ кг \cdot м^{-3},$$

где $\rho_в$ - плотность воздуха при температуре $T_0 = 273,15$ K ($\rho_в = 1,29$ кг · м$^{-3}$); $M_э$, $M_в$ - молярные массы этилена и воздуха ($M_э = 28,05$ г · моль$^{-1}$, $M_в = 29,5$ г · моль$^{-1}$).

Тогда по формулам (3.1) и (3.2) получим:

$$X_{НКПР} = У_{НКПР} = 3,2 \cdot \sqrt{1} \cdot \left(\frac{101,3}{2,7}\right)^{0,8} \cdot \left(\frac{528039}{1,98 \cdot 101,3}\right)^{0,33} = 782 \ м,$$

$$Z_{НКПР} = 0,12 \cdot \sqrt{1} \cdot \left(\frac{101,3}{2,7}\right)^{0,8} \cdot \left(\frac{528039}{1,98101,3}\right)^{0,33} = 29 \ м.$$

4. Методика определения массовой скорости истечения СУГ из резервуаров под давлением и трубопроводов

Настоящая методика приведена в работе [11].

4.1. При разгерметизации резервуаров (трубопроводов) для хранения СУГ под давлением возможно истечение паровой (при разгерметизации выше уровня жидкости) и жидкой (при разгерметизации ниже уровня жидкости) фаз. Соответственно следует различать массовые скорости истечения паровой и жидкой фаз СУГ.

4.2. Массовую скорость истечения паровой фазы СУГ G_v (кг · с$^{-1}$ · м$^{-2}$) вычисляют по формуле

$$G_v = \sqrt{\left(\frac{P_c \cdot M}{R \cdot T_c}\right) \cdot P_c \cdot \left(0{,}167 \cdot P_R^{5} + 0{,}534 \cdot P_R^{1{,}95}\right)}, \qquad (4.1)$$

где P_c - критическое давление, Па (определяется по справочным данным); M - молярная масса, кг · моль$^{-1}$; R - универсальная газовая постоянная, равная 8,31 Дж · моль$^{-1}$·К$^{-1}$; Tc - критическая температура, K (определяется по справочным данным);

$$P_R = P/Pc \; ; \qquad (4.2)$$

P - давление в резервуаре (трубопроводе), Па.

4.3. Массовую скорость истечения жидкой фазы СУГ G_l (кг · с$^{-1}$ · м$^{-2}$) вычисляют по формуле

$$G_l = G_v \cdot \frac{\sqrt{(\rho_l/\rho_v) \cdot P_R}}{1{,}22 \cdot T_R^{3/2}}, \qquad (4.3)$$

где ρ_l, ρ_v - плотности жидкой и паровой фаз СУГ, кг · м$^{-3}$ (определяют по справочным данным);

$$T_R = T/Tc; \qquad (4.4)$$

T - температура СУГ, находящегося в резервуаре (трубопроводе), K.

Пример. Рассчитать массовую скорость истечения паровой и жидкой фазы пропана.

Данные для расчета

Температура окружающей среды 20 °С. Истечение происходит из резервуара хранения пропана под давлением при температуре окружающей среды.

Критическое давление пропана $p_c = 4{,}19 \cdot 10^6$ Па, критическая температура $Tc = 369{,}8$ K. Давление пропана при температуре 20 °С равно $p = 0{,}833 \cdot 10^6$ Па, плотность жидкой фазы $\rho_l = 499$ кг · м$^{-3}$, плотность паровой фазы $\rho_v = 17{,}74$ кг · м$^{-3}$. Молярная масса $M = 44{,}096 \cdot 10^3$ кг · моль$^{-1}$. Универсальная газовая постоянная $R = 8{,}31$ Дж · моль$^{-1}$ · K^{-1}. Площадь отверстия истечения $F = 0{,}1$ м^2.

Расчет

Находим параметры P_R и T_R по формулам (4.2) и (4.4):

$P_R = 0,833 \cdot 10^6/4,19 \cdot 10^6 = 0,199$;

$T_R = 293,15/369,8 = 0,792$.

По формуле (4.1) находим G_V:

$$G_V = \sqrt{\left(\frac{4,19 \cdot 10^6 \cdot 44,096 \cdot 10^{-3}}{8,31 \cdot 369,8}\right) \cdot 4,19 \cdot 10^6 \cdot (0,67 \cdot 0,199^5 + 0,534 \cdot 0,199^{1,95}} =$$

$$= 2,4 \cdot 10^3 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}.$$

По формуле (4.3) находим G_l:

$$G_l = 2,4 \cdot 10^3 \frac{\sqrt{(499/17,74)\,0,199}}{1,22 \cdot 0,792^{3/2}} = 6,6 \cdot 10^3 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}.$$

Массовая скорость истечения жидкой фазы равна:

$W_l = G_l \cdot F = 6,6 \cdot 10^3 \; 0,1 = 660$ кг $\cdot$ с$^{-1}$.

Массовая скорость истечения паровой фазы равна:

$W_v = G_v \cdot F = 2,4 \cdot 10^3 \; 0,1 = 240$ кг $\cdot$ с$^{-1}$.

5. Методика определения размеров взрывоопасных зон при истечении СУГ из трубопровода

Настоящая методика получена на основании обработки экспериментальных данных по размерам взрывоопасных зон и приведена в работе [12].

Горизонтальный размер взрывоопасной зоны по направлению ветра $X_{НКПР}$, образующейся при истечении СУГ из трубопровода, вычисляют по формуле

$$X_{НКПР} = 40 \cdot (G/U)^{0,5}, \qquad (5.1)$$

где G - массовая скорость поступления горючего газа в окружающее пространство, кг $\cdot$ с$^{-1}$ (принимается постоянной и вычисляется в соответствии с разделом 4); U - скорость ветра, м $\cdot$ с$^{-1}$.

Формула получена по результатам экспериментов и применима при $U \geq 1$ м · с$^{-1}$.

Пример. Рассчитать максимальный размер взрывоопасной зоны при истечении жидкого пропана из трубопровода для условий примера раздела 4.

Данные для расчета

Основные данные для расчета указаны в примере раздела 4. Массовая скорость истечения жидкой фазы 660 кг · с$^{-1}$ при площади сечения трубопровода 0,1 м^2, скорость ветра U= 5 м · с$^{-1}$.

Расчет

По формуле (5.1) находим $X_{НКПР}$:

$$X_{НКПР} = 40\sqrt{600/5} = 460 \text{ м}.$$

6. Методика определения параметров ударной волны при сгорании газовоздушных облаков

Настоящая методика приведена в работе [10].

6.1. Величину избыточного давления ΔP, кПа, развиваемого при сгорании газовоздушных облаков, определяют по формуле

$$\Delta P = P_0 \cdot (0{,}8 \cdot m_{пр}^{0{,}33}/r + 3 \cdot m_{пр}^{0{,}66}/r^2 + 5 \cdot m_{пр}/r^3), \qquad (6.1)$$

где P_0 - атмосферное давление, кПа (допускается принимать равным 101 кПа); r - расстояние от геометрического центра газопаровоздушного облака, м; $m_{пр}$ - приведенная масса газа или пара, кг, вычисляется по формуле

$$m_{пр} = (Q_{сг}/Q_o) \cdot m \cdot Z, \qquad (6.2)$$

где $Q_{сг}$ - удельная теплота сгорания газа или пара, Дж· кг$^{-1}$ (определяется по справочным данным); Z - коэффициент участия горючего во взрыве, который допускается принимать равным 0,1; Q_o - константа, равная $4{,}52 \cdot 10^6$ Дж· кг$^{-1}$; m - масса горючих газов и (или) паров, поступивших в результате аварии в окружающее пространство, кг.

6.2 Величину импульса волны давления i, Па · с, вычисляют по формуле

$$i = 123 \cdot m_{пр}^{0{,}66}/r. \qquad (6.3)$$

Пример. Рассчитать избыточное давление и импульс волны давления при выходе в атмосферу пропана, хранящегося в сферической емкости объемом 600 м^3, на расстоянии 500 м от нее.

Данные для расчета

Объем емкости 600 м^3. Температура 20 °С. Плотность сжиженного пропана 530 кг · м$^{-3}$. Степень заполнения емкости 80 % (по объему). Удельная теплота сгорания пропана 4.6 · 10^7 Дж · кг$^{-1}$. Принимается, что в течение времени, необходимого для выхода сжиженного газа из емкости, весь пропан испаряется.

Расчет

Находим величину $m_{пр}$ по формуле (6.2):

$$m_{пр} = 4,6 \cdot 10^7/4,52 \cdot 10^6 \cdot (0,8 \cdot 530 \cdot 600) \cdot 0,1 = 2,59 \cdot 10^5 \text{ кг}.$$

Находим величину избыточного давления ΔP по формуле (6.1):

$$\Delta P = 101 \cdot [0,8 \cdot (2,59 \cdot 10^5)^{0,33} / 500 + 3 \cdot (2,59 \cdot 10^5)^{0,66} / 500^2 + 5 \cdot (2,59 \cdot 10^5) / 500^3] = 16,2 \text{ кПа}.$$

Находим импульс волны давления i по формуле (6.3):

$$i = 123 \cdot (2,59 \cdot 10^5)^{0,66} / 500 = 1\,000 \text{ Па·с}.$$

7. Методика определения интенсивности теплового излучения при пожарах проливов СУГ

Основные положения настоящей методики приведены в работах [10,13-15].

7.1. Величину интенсивности теплового излучения q, кВт · м$^{-2}$, рассчитывают по формуле

$$q = E_f \cdot F_q \cdot \tau, \qquad (7.1)$$

где E_f - среднеповерхностная плотность теплового излучения пламени, кВт · м$^{-2}$; F_q - угловой коэффициент облученности; τ - коэффициент пропускания атмосферы.

7.2. Значение E_f принимается на основе экспериментальных данных. При их отсутствии допускается принимать величину E_f равной 100 кВт · м$^{-2}$.

7.3. Рассчитывают эффективный диаметр d, м, пролива:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot F}{\pi}}, \qquad (7.2)$$

где F - площадь пролива, м^2.

Величину F определяют, исходя из топографии местности и наличия обвалования. Допускается определять F из условия, что 1 л жидкости разливается на 0,15 м^2.

7.4. Вычисляют высоту пламени H, м:

$$H = 42 \cdot d \cdot \left(\frac{m}{\rho_в \cdot \sqrt{g \cdot d}} \right)^{0,61}, \qquad (7.3)$$

где m - удельная массовая скорость выгорания СУГ, кг · м$^{-2}$ · с$^{-1}$ (допускается при отсутствии экспериментальных данных принимать равной 0,1 кг · м$^{-2}$ · с$^{-1}$;) $\rho_в$ - плотность окружающего воздуха, кг · м$^{-3}$; $g = 9,81$ м · с$^{-2}$ - ускорение свободного падения.

7.5. Определяют угловой коэффициент облученности F_q:

$$F_q = \sqrt{F_V^2 + F_H^2}, \qquad (7.4)$$

где

$$F_V = \frac{1}{\pi} \cdot \left[\frac{1}{S} \cdot arctg\left(\frac{h}{\sqrt{S^2 - 1}} \right) - \frac{h}{S} \times \right.$$

$$\left. \times \left\{ arctg\left(\sqrt{\frac{S-1}{S+1}} \right) - \frac{A}{(A^2-1)^{1/2}} \cdot arctg\left(\sqrt{\frac{(A+1)\cdot(S-1)}{(A-1)\cdot(S+1)}} \right) \right\} \right]; \qquad (7.5)$$

$$F_H = \frac{1}{\pi} \cdot \left[\frac{(B-1/S)}{\sqrt{B^2-1}} \cdot arctg\left(\sqrt{\frac{(B+1)\cdot(S-1)}{(B-1)\cdot(S+1)}} \right) - \frac{(A-1/S)}{\sqrt{A^2-1}} \times \right.$$

$$\left. \times arctg\left(\sqrt{\frac{(A+1)\cdot(S-1)}{(A-1)\cdot(S+1)}} \right) \right]; \qquad (7.6)$$

$$A = (h^2 + S^2 + 1)/(2 \cdot S); \qquad (7.7)$$

$$B = (1 + S^2)/(2 \cdot S); \qquad (7.8)$$

$S = 2 \cdot r/d$; (7.9)

$h = 2 \cdot H/d$, (7.10)

где r - расстояние от геометрического центра пролива до облучаемого объекта, м.

7.6. Определяют коэффициент пропускания атмосферы:

$$\tau = exp[-7{,}0 \cdot 10^{-4} \cdot (r - 0{,}5 \cdot d)]. \quad (7.11)$$

Пример. Рассчитать интенсивность теплового излучения от пожара пролива жидкого изопентана площадью 300 м^2 на расстоянии 40 м от центра пролива.

Данные для расчета

Массовая скорость выгорания $m = 0{,}06$ кг $\cdot$ м$^{-2}$ $\cdot$ с$^{-1}$, $g = 9{,}81$ м $\cdot$ с$^{-2}$, $\rho_в = 1{,}2$ кг $\cdot$ м$^{-3}$, $E_f = 100$ кВт $\cdot$ м$^{-2}$.

Расчет

По формуле (7.2) находим d:

$$d = \sqrt{4 \cdot 300 / 3{,}14} = 19{,}5 \text{ м}.$$

По формуле (7.3) находим H:

$$H = 42 \cdot 19{,}5 \cdot \left(\frac{0{,}06}{1{,}2 \cdot \sqrt{9{,}8 \cdot 19{,}5}} \right)^{0{,}61} = 26{,}5 \text{ м}.$$

Находим угловой коэффициент облученности F по формулам (7.4) - (7.10):

$h = 2 \cdot 26{,}5/19{,}5 = 2{,}72$,

$S = 2 \cdot 40/19{,}5 = 4{,}10$,

$A = (2{,}72^2 + 4{,}10^2 + 1)/(2 \cdot 4{,}1) = 3{,}08$,

$B = (1 + 4{,}1^2)/(2 \cdot 4{,}1) = 2{,}17$,

$$Fv = \frac{1}{3{,}14} \cdot \left[\frac{1}{4{,}1} arctg \left(\frac{2{,}72}{\sqrt{4{,}1^2 - 1}} - \frac{2{,}72}{4{,}1} \cdot \left\{ arctg \left(\sqrt{\frac{4{,}1-1}{4{,}1+1}} \right) - \right. \right. \right.$$

$$\left. \left. \left. - \frac{3{,}08}{\sqrt{3{,}08^2 - 1}} \cdot arctg \left(\sqrt{\frac{(3{,}08+1) \cdot (4{,}1-1)}{(3{,}08-1) \cdot (4{,}4+1)}} \right) \right\} \right] = 0{,}092;$$

$$F_н = \frac{1}{3,14}\cdot\left[\frac{2,17-1/4,1}{\sqrt{2,17^2-1}}\cdot arctg\left(\sqrt{\frac{(2,17+1)\cdot(4,1-1)}{(2,17-1)\cdot(4,1+1)}}\right)-\right.$$

$$\left.-\frac{(3,08-1/4,1)}{\sqrt{3,08^2-1}}\times arctg\left(\sqrt{\frac{(3,08+1)\cdot(4,1-1)}{(3,08-1)\cdot(4,1+1)}}\right)\right]=0,03236;$$

$$Fq=\sqrt{0,092^2+0,03236^2}=0,0975..$$

Определяем коэффициент пропускания атмосферы τ по формуле (7.11):

$$\tau = exp[-7,0\cdot 10^{-4}\cdot(40-0,5\cdot 19,5)] = 0,979.$$

По формуле (7.1) находим q:

$$q = 100\cdot 0,0975\cdot 0,979 = 9,5 \text{ кВт}\cdot\text{м}^{-2}.$$

8. Методика определения параметров ударной волны при взрыве резервуара в очаге пожара и теплового излучения при возникновении "огненного шара"

Основные зависимости настоящей методики приведены в работах [10, 16].

8.1. Расчет величин избыточного давления в положительной фазе волны и импульса положительной фазы волны.

Параметрами волны давления, образующейся при разрушении резервуара с СУГ в очаге пожара, являются избыточное давление в положительной фазе ΔP и импульс положительной фазы волны i.

Величины ΔP, кПа, и i, Па·с, вычисляют по формулам

$$\Delta P = P_0\cdot(0,8\cdot m_{пр}^{0,33}/r + 3\cdot m_{пр}^{0,66}/r^2 + 5\cdot m_{пр}/r^3); \quad (8.1)$$

$$i = 123\cdot m_{пр}^{0,66}/r, \quad (8.2)$$

где P_0 - атмосферное давление, кПа, допускается принимать равным 101 кПа; r - расстояние до разрушающегося технологического оборудования, м; $m_{пр}$ приведенная масса, кг, вычисляется по формуле

$$m_{пр} = E_{из}/Q_0,$$

где $E_{иэ}$ - энергия, выделяющаяся при изэнтропическом расширении среды, находящейся в резервуаре, Дж; Q_0 - константа, равная $4{,}52\ 10^6$ Дж · кг$^{-1}$.

Величина $E_{иэ}$ определяется по формуле

$$E_{иэ} = m \cdot (U_1 - U_2), \qquad (8.3)$$

где m - масса вещества в резервуаре, кг; U_1, U_2 - удельная внутренняя энергия вещества до и после BLEVE, Дж · кг$^{-1}$.

Удельная внутренняя энергия определяется по формуле

$$U = h - p \cdot v, \qquad (8.4)$$

где h - удельная энтальпия среды, Дж · кг$^{-1}$; p - давление среды, Па; v - удельный объем среды, м^3· кг$^{-1}$.

Для расчета энергетических параметров U и h будем использовать p-h диаграммы для пропана и н-бутана (рис. 8.1, 8.2). Точка на этой диаграмме, отвечающая начальному состоянию среды непосредственно перед возникновением BLEVE, определяется следующим образом.

Рассчитывается удельный объем среды, находящийся в резервуаре:

$$v = V/m, \qquad (8.5)$$

где V - объем резервуара, м^3.

Задается температура жидкой среды T_1, при которой происходит BLEVE, соответствующая давлению срабатывания предохранительного клапана p_1. С учетом параметров T_1 и p_1 по рис. 8.1 определяются соответствующие значения удельных объемов жидкой v_f и паровой v_g фаз соответственно.

Точка, отвечающая начальному состоянию среды, лежит внутри полуострова на диаграмме (рис. 8.1).

Степень сухости пара X определяется по формуле

$$x_1 = \frac{v_1 - v_f}{v_g - v_f}. \qquad (8.6)$$

С помощью диаграммы (рис. 8.1, 8.2) находится параметр h, и по формуле (8.4) вычисляется внутренняя энергия U_1.

Параметры конечного состояния парогазовой среды определяются в точке пересечения изэнтропы с изобарой

p = 0,1 МПа (атмосферное давление). Величина удельного объема v_2 с учетом полученных параметров v_f, v_g, h_2, X_2 определяется по формуле

$$v_2 = v_f + X_2 \cdot (v_g - v_f).$$

Внутренняя энергия конечного состояния U_2 определяется по формуле (8.4), энергия, выделяющаяся при изэнтропическом расширении, - по формуле (8.3).

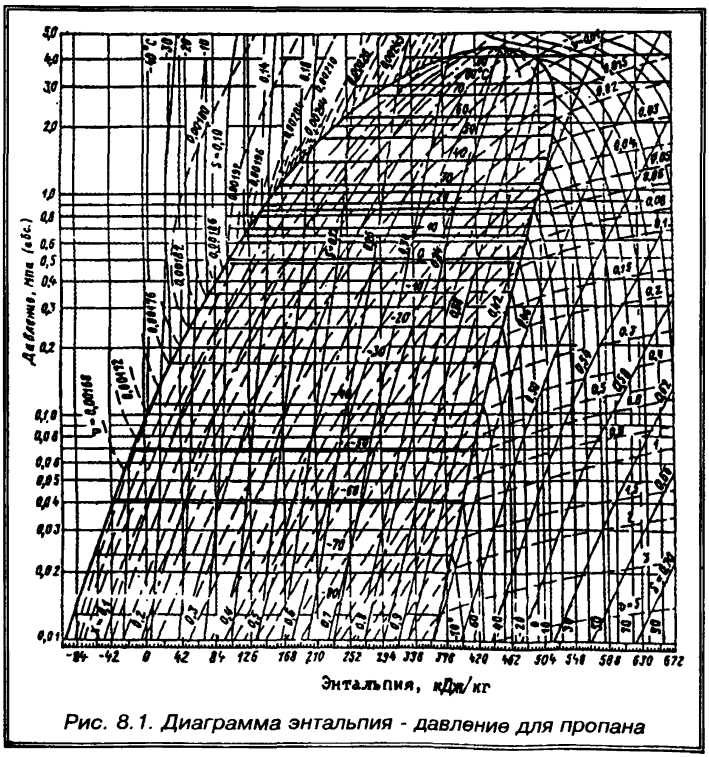


Рис. 8.1. Диаграмма энтальпия - давление для пропана

Допускается рассчитывать величины ΔP и i по формулам (6.1) и (6.3), вычисляя $m_{пр}$ с помощью выражения

$$m_{пр} = \dot{m} \cdot C_{эфф} (T_ж - T_{кип})/Q_0, \qquad (8.7)$$

где m - масса СУГ в резервуаре, кг; $C_{эфф}$ - эффективная теплоемкость, равная 500 Дж · кг$^{-1}$ · К$^{-1}$); $T_ж$ - температура жидкой фазы в момент разрыва резервуара, К; $T_{кип}$ - нормальная температура кипения СУГ, К; Q_0 - константа, определенная в разделе 6 и равная $4{,}52 \cdot 10^6$ Дж · кг$^{-1}$.

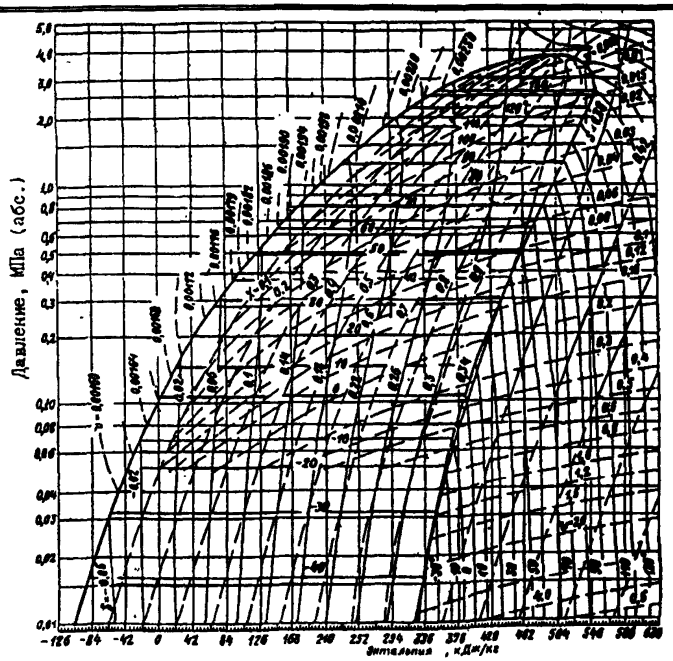


Рис. 8.2. Диаграмма энтальпия - давление для бутана

Величину $T_ж$ допускается вычислять, исходя из давления срабатывания предохранительного клапана резервуара $p_к$, полагая давление насыщенных паров СУГ равным $p_к$ и находя отсюда с использованием справочных данных величину $T_ж$.

8.2. Расчет интенсивности теплового излучения и времени существования "огненного шара".

Интенсивность теплового излучения "огненного шара" q, кВт · м$^{-2}$, рассчитывается по формуле

$$q = E_f \cdot F_q \cdot \tau \qquad (8.8)$$

где E_f - среднеповерхностная плотность теплового излучения пламени, кВт · м$^{-2}$; F_q - угловой коэффициент облученности; τ - коэффициент пропускания атмосферы.

Величину E_f определяют на основе имеющихся экспериментальных данных. Допускается принимать E_f равной 450 кВт· м$^{-2}$.

Значение F_q находят по формуле

$$F_q = \frac{H/D_s + 0{,}5}{4 \cdot \left[(H/D_s + 0{,}5)^2 + (r/D_s)^2\right]^{1{,}5}}, \qquad (8.9)$$

где H - высота центра "огненного шара", м; Ds - эффективный диаметр "огненного шара", м; r - расстояние от облучаемого объекта до точки на поверхности земли непосредственно под центром "огненного шара", м.

Эффективный диаметр "огненного шара" D_s определяют по формуле

$$D_s = 5{,}33 \cdot m^{0{,}327}, \qquad (8.10)$$

где m - масса горючего вещества, кг.

Величину H определяют в ходе специальных исследований. Допускается принимать величину H равной $D_s/2$.

Время существования "огненного шара" t_s, с, определяют по формуле

$$t_s = 0{,}92 \cdot m^{0{,}303}. \qquad (8.11)$$

Коэффициент пропускания атмосферы τ рассчитывают по формуле

$$\tau = exp[-7{,}0 \cdot 10^{-4} \cdot (\sqrt{r^2 + H^2} - D_s/2)]. \qquad (8.12)$$

Пример 1. Расчет параметров ударной волны при BLEVE.

Данные для расчета

Рассчитать параметры положительной фазы волны давления на расстоянии 750 м от эпицентра аварии, связанной с развитием BLEVE на железнодорожной цистерне вместимостью 50 м^3 с 10 т жидкого пропана.

Расчет

Энергия, выделившаяся при расширении среды в резервуаре, определяется по формуле (8.3):

$E = m \cdot (U_1 - U_2)$,

где $m = 4 \cdot 10^4$ кг - масса пропана в цистерне; U_1, U_2 - удельная внутренняя энергия вещества до и после BLEVE, Дж · кг$^{-1}$.

$U = h - P \cdot V$,

где h - удельная энтальпия среды, Дж· кг$^{-1}$; P - давление среды, Па; V - удельный объем среды, м^3 · кг$^{-1}$.

Для расчета параметров U и h воспользуемся P - h-диаграммами на рисунках 8.1 и 8.2.

Определим удельный объем среды:

$V_1 = V/m = 5 \cdot 10^{-3}$ м^3 · кг$^{-1}$.

Давление срабатывания клапана 2,0 МПа, что соответствует температуре жидкой фазы 50 °С, при этом удельный объем жидкой и паровой фаз равен:

$V_f = 2{,}2 \cdot 10^{-3}$ м^3 · кг$^{-1}$;

$V_g = 2{,}2 \cdot 10^{-2}$ м^3 · кг$^{-1}$.

По формуле (8.6) определим степень сухости пара X_1:

$$X_1 = \frac{V_1 - V_f}{V_g - V_f} = \frac{5 \cdot 10^{-3} - 2{,}2 \cdot 10^{-3}}{2{,}8 \cdot 10^{-2} - 2{,}2 \cdot 10^{-3}} = 0{,}11.$$

Удельная энтальпия среды до BLEVE равна h_1 = = 294 кДж$^{-1}$. Тогда

$U_1 = h_1 - P_1 . V_1 = 2{,}94 \cdot 10^5 - 2 \cdot 10^6 \cdot 5 \cdot 10^{-3} = 284$ кДж.

Параметры конечного состояния среды:

$h_2 = 84$ кДж;

$V_f = 1{,}72 \cdot 10^{-3}$ м$^3 \cdot$ кг$^{-1}$;

$V_g = 0{,}4$ м$^3 \cdot$ кг$^{-1}$;

$X_2 = 0{,}15$.

Величина удельного объема среды в момент аварии определяется по формуле

$V_2 = V_f + X_2(Vg - V_f) = 0{,}06$ м$^3 \cdot$ кг$^{-1}$.

Удельная внутренняя энергия вещества в момент BLEVE равна:

$U_2 = h_2 - P_2 \cdot V_2 = 84 \cdot 10^3 - 1 \cdot 10^5 \cdot 0{,}06 = 78$ кДж.

Получим величину E:

$E = 10 \cdot 10^3 \cdot (284\text{-}78) \cdot 10^3 = 2{,}06 \cdot 10^9$ Дж.

Находим приведенную массу $m_{пр}$:

$m_{пр} = E/Q_0 = 2{,}06 \cdot 10^9 / (4{,}52 \cdot 10^6) = 456$ кг.

Вычислим величины ΔP и i по формулам (8.1) и (8.2):

$\Delta P = 101 \cdot (0{,}8 \cdot 456^{0{,}33}/750 + 3 \cdot 456^{0{,}66}/750^2 + 5 \cdot 456/750^3) = 0{,}86$ кПа;

$i = 123 \cdot 456^{0{,}66} / 750 = 9{,}3$ Па $\cdot$ с.

Пример 2. Рассчитать параметры ударной волны при взрыве резервуара хранения СУГ под давлением на расстоянии 500 м от резервуара с определением $m_{пр}$ по формуле (8.7).

Данные для расчета

Сферический резервуар с пропаном объемом 600 м^3, оснащенный предохранительным клапаном с давлением срабатывания 2,16 МПа (абс.). Нормальная температура кипения минус 43 °С (230 К). Степень заполнения резервуара α = 0,8 при температуре 20 °С. Плотность пропана при 20 °С составляет 499 кг $\cdot$ м$^{-3}$.

Расчет

Определяем массу пропана в резервуаре:

$m = \rho V \alpha = 499 \cdot 600 \cdot 0{,}8 = 2{,}4 \cdot 10^5$ кг.

Температуру жидкости $T_ж$, соответствующую давлению срабатывания предохранительного клапана $p_к = 2,16$ МПа, находим по справочнику [1]:

$T_ж = 333$ К (60 °С).

По формуле (8.7) находим $m_{пр}$:

$$m_{пр} = 2,4 \cdot 10^5 \cdot 500 \cdot (333 - 230)/4,52 \cdot 10^6 = 2,73 \cdot 10^3 \text{ кг}.$$

По формулам (6.1) и (6.3) определяем параметры ударной волны Δp и i:

$$\Delta p = 101[0,8 \cdot (2,73 \cdot 10^3)^{0,33}/500 + 3 \cdot (2,73 \cdot 10^3)^{0,66}/500 + 5(2,73 \cdot 10^3)/500^3] = 2,51 \text{ кПа};$$

$$i = 123 \cdot (2,73 \cdot 10^3)^{0,66}/500 = 48,1 \text{ Па} \cdot \text{с}.$$

Пример 3. Определить время существования "огненного шара" и интенсивность теплового излучения от него на расстоянии 500 м при разрыве сферической емкости с пропаном объемом 600 м^3 в очаге пожара.

Данные для расчета

Объем сферической емкости 600 м^3. Плотность жидкой фазы 530 кг · м$^{-3}$. Степень заполнения резервуара жидкой фазы 80 %. Расстояние от облучаемого объекта до точки на поверхности земли непосредственно под центром "огненного шара" 500 м.

Расчет

Находим массу горючего m в "огненном шаре":

$$m = V \cdot \rho \cdot \alpha = 600 \cdot 530 \cdot 0,8 = 2,54 \cdot 10^5 \text{ кг},$$

где V - объем резервуара, м^3 ($V = 600$ м^3); ρ - плотность жидкой фазы, кг · м$^{-3}$ ($\rho = 530$ кг · м$^{-3}$); α - степень заполнения резервуара ($\alpha = 0,8$).

По формуле (8.10) определяем эффективный диаметр "огненного шара" D_s:

$$D_s = 5,33 \cdot (2,54 \cdot 10^5)^{0,327} = 312 \text{ м}.$$

По формуле (8.9), принимая $H = Ds/2 = 156$ м, находим угловой коэффициент облученности F_q:

$$F_q = \frac{(156/312+0,5)}{4\cdot\left[(156/312+0,5)^2+(500/312)^2\right]^{1,5}} = 0,037.$$

По формуле (8.12) находим коэффициент пропускания атмосферы τ:

$$\tau = exp[-7,0\cdot 10^{-4}\cdot\left(\sqrt{500^2+156^2}-312/2\right)] = 0,77.$$

По формуле (8.8) находим интенсивность излучения q:

$q = 450 \cdot 0,037 \cdot 0,77 = 12,9$ кВт$\cdot$ м$^{-2}$.

По формуле (9.11) определяем время существования "огненного шара" t_s:

$$t_s = 0,92\cdot(2,54\cdot 10^5)^{0,303} = 40 \text{ с}.$$

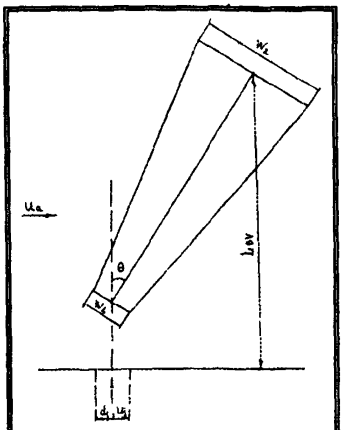


Рис. 9.1. Схема для расчета геометрических параметров факелов при истечении паровой фазы СУГ

9. Методика определения параметров факелов пламени СУГ

Основные положения настоящей методики приведены в работах [12, 17].

9.1. Расчет геометрических параметров факелов при истечении паровой фазы СУГ проводится на основе схемы, показанной на рис. 9.1.

Приведенный метод дает удовлетворительные результаты для угла отклонения факела от вертикали, когда скорость ветра больше 5 м $\cdot$ с$^{-1}$.

При меньших значениях скорости ветра этот угол следует считать равным нулю.

9.2. Геометрические параметры газовых факелов

в случае истечения паровой фазы СУГ вычисляются по формулам (для скорости ветра не менее 5 м · с$^{-1}$):

$$\theta = 94 - \frac{1{,}1}{R_v} - 30 \cdot R_v; \quad (9.1)$$

$$L_{BV}/D_S = 6 + \frac{2{,}35}{R_v} - 20 \cdot R_v; \quad (9.2)$$

$$W_1/D_S = 49 - \frac{0{,}22}{R_v} - 380 \cdot R_v + 950 \cdot R_v^2; \quad (9.3)$$

$$W_2/D_S = 80 - \frac{0{,}57}{R_v} - 570 \cdot R_v + 1470 \cdot R_v^2; \quad (9.4)$$

$$R_V = U_a/U_j; \quad (9.5)$$

$$D_S = d_o\sqrt{\frac{\rho_1}{\rho_a}}; \quad (9.6)$$

$$U_j = \sqrt{\gamma \cdot P_0 / \rho_1}, \quad (9.7)$$

где U_a - скорость ветра, м · с$^{-1}$; U_j - скорость истечения паровой фазы СУГ, принимаемая равной скорости звука, м · с$^{-1}$; d_0 - диаметр отверстия истечения, м; ρ_j - плотность истекающей паровой фазы за срезом сопла (при атмосферном давлении), кг · м$^{-3}$, определяемая по формуле

$$\rho_j = \rho_a \cdot M_j/M_a, \quad (9.8)$$

ρ_a - плотность воздуха, кг · м$^{-3}$; γ - показатель адиабаты истекающей паровой фазы (допускается принимать равным 1,2); P_0 - атмосферное давление, Па; θ - угол наклона оси факела к вертикали, град; M_j - молярная масса истекающей паровой фазы, кг · кмоль$^{-1}$; M_a - молярная масса воздуха, кг · кмоль$^{-1}$; L_{BV} - высота центра верхнего основания факела над горизонтом, м; W_1, W_2 - диаметры нижнего и верхнего оснований факела, м.

9.3. Высота и диаметр факела, образующегося при истечении жидкой фазы СУГ, описываются формулами

$$L_\Phi/D_1 = 29 \cdot [u^2/(g \cdot D_1)]^{0,2}, \quad (9.9)$$

где D_1 - эффективный диаметр отверстия истечения, м;

$$b/D_1 = 3{,}3[u^2/(g\,D_1)]^{0{,}3}; \qquad (9.10)$$

$$D_1 = d_0 \cdot \sqrt{\frac{\rho_ж}{\rho_\alpha}}; \qquad (9.11)$$

$$u = G_1/(\rho_ж \cdot F), \qquad (9.12)$$

где $\rho_ж$ - плотность жидкой фазы, кг · м$^{-3}$; G_1 - расход жидкой фазы через отверстие истечения, кг · с$^{-1}$; F - площадь отверстия истечения жидкой фазы, м^2; $L_Ф$ - высота факела, м; g - ускорение свободного падения, м · с$^{-2}$; $в$ - диаметр факела, м.

9.4. Тепловое излучение факелов на различных расстояниях от места истечения рассчитывают в соответствии с разделом 7. При этом эффективные высота $L_{эфф}$ (м) и диаметр $d_{эфф}$ (м) факела при истечении паровой фазы вычисляются по формулам

$$L_{эфф} = L_B/\sin(90^0 - \theta); \qquad (9.13)$$

$$d_{эфф} = \left\{\frac{1}{3}(W_1^2 + W_2^2 + W_1 \cdot W_2)\right\}^{1/2}. \qquad (9.14)$$

Пример. Рассчитать геометрические параметры факела при истечении паровой и жидкой фазы пропана из резервуара хранения СУГ под давлением.

Данные для расчета

Температура 20 °С. Давление в резервуаре 0,83 · 10^6 Па, при этом скорость истечения равна скорости звука в газообразном пропане. Диаметр отверстия истечения d_0 = = 0,01 м. Скорость ветра $U_в$ = 10 м · с$^{-1}$.

Расчет

Находим скорость звука в пропане по формуле (9.7):

$$V_{зв} = \sqrt{\gamma P_0/\rho_j},$$

где γ - показатель адиабаты (γ = 1,2); P_0- давление (P_0 = = 10^5 Па); ρ_j - плотность газообразного пропана при температуре T = 293,15 K и атмосферном давлении;

$$\rho_j = \rho_в \frac{M}{M_B} \cdot \frac{T_0}{T};$$

$\rho_в$ - плотность воздуха при температуре $T_0 = 273,15$ К ($\rho_в = 1,29$ кг · м$^{-3}$); M, $M_в$ - молярные массы пропана и воздуха ($M = 44,096$ г · моль$^{-1}$, $M_в = 29,5$ г · моль$^{-1}$);

$$\rho_j = 1,29 \cdot \frac{44,096}{29,5} \cdot \frac{273,15}{293,15} = 1,8 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3};$$

$$V_{зв} = \sqrt{1,2 \cdot 10^5 / 1,8} = 258 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}.$$

Отсюда $u_j = V_{зв} = 258$ м · с$^{-1}$.

Находим параметр R_V по формуле (9.5):

$$R_V = 10/258 = 3,88 \cdot 10^{-2}.$$

Находим параметр D_S по формуле (9.6):

$$D_S = 0,01 \cdot \sqrt{\frac{1,8}{1,2}} = 1,22 \cdot 10^{-2} \text{ м}.$$

Находим малый W_1 и большой W_2 диаметры факела по формулам (9.2) и (9.3):

$$W_1 = 1,22 \cdot 10^{-2} \cdot (49 - \frac{0,22}{3,88 \cdot 10^{-2}} - 380 \cdot 3,88 \cdot 10^{-2} + 950 \cdot (3,88 \cdot 10^{-2})^2) = 0,37 \text{ м};$$

$$W_2 = 1,22 \cdot 10^{-2} \cdot (80 - \frac{0,57}{3,88 \cdot 10^{-2}} - 570 \cdot 3,88 \cdot 10^{-2} + 1470 \cdot (3,88 \cdot 10^{-2})^2) = 0,55 \text{ м}.$$

По формуле (9.2) находим высоту факела над срезом отверстия истечения:

$$L_{BV} = 1,22 \cdot 10^{-2} \cdot (6 + \frac{2,35}{3,88 \cdot 10^{-2}} - 20 \cdot 3,88 \cdot 10^{-2}) = 0,8 \text{ м}.$$

По формуле (9.1) находим угол наклона факела к вертикали:

$$\theta = 94 - \frac{1,1}{3,88 \cdot 10^{-2}} - 30 \cdot 3,88 \cdot 10^{-2} = 64°.$$

Для определения размеров жидкостного факела воспользуемся величиной G_l из примера раздела 4. При этом $G_1/F = 6,6 \cdot 10^3$ кг · м$^{-2}$ · с$^{-1}$, $\rho_ж = 499$ кг · м$^{-3}$.

По формуле (9.12) находим величину u:

$u = 6,6 \cdot 10^3/499 = 13,2$ м $\cdot$ с$^{-1}$.

По формуле (9.11) находим D_1:

$D_1 = 0,01 \cdot \sqrt{499/1,2} = 0,2$ м.

Высоту факела $L_ф$ находим по формуле (9.9):

$$L_ф = 0,2 \cdot \left[29 \cdot \left(\frac{13,2^2}{9,8 \cdot 0,2} \right)^{0,2} \right] = 14,2 \text{ м}.$$

Диаметр факела b находим по формуле (9.10):

$$b = 0,2 \cdot \left[3,3 \cdot \left(\frac{13,2^2}{9,8 \cdot 0,2} \right) 0,3 \right] = 2,5 \text{ м}.$$

Литература

1. Справочник по сжиженным углеводородным газам Л.: Недра, 1986.- 543 с.

2. СНиП 2.04.08-87 Газоснабжение.

3. ВУПП-88 Ведомственные указания по противопожарному проектированию предприятий, зданий и сооружений нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности.

4. СНиП 2.09.03-85 Сооружения промышленных предприятий.

5. ГОСТ 12.1.011-87 ССБТ Смеси взрывоопасные. Классификация и методы испытаний.

6. Указания по тушению пожаров на открытых технологических установках по переработке горючих жидкостей и газов. – М.: ГУПО МВД СССР, 1981.

7. Временные рекомендации по тушению пожаров на объектах переработки и хранения сжиженных углеводородных газов с помощью передвижной пожарной техники. – М.: ВНИИПО, 1975.

8. Математическая модель испарения сжиженных углеводородных газов со свободной поверхности / *Шебеко Ю.Н., Шевчук А.П., Смолин И.М.* и др. // Химическая промышленность. – 1992. – N 7. - С. 404–408.

9. *Шебеко Ю.Н., Шевчук А.П., Смолин И.М.* Расчет влияния обвалования на растекание горящей жидкости при разрушении резервуара // Химическая промышленность. – 1994. – N 4.

10. НПБ 107-97 Определение категорий наружных установок по пожарной опасности.

11. *Sallet D.W.* Critical two-phase flow rates of liquefied gases // J. Loss Prevention in the process industries, 1990. – Vol. 3. – N 1. - P. 38-42.

12. Взрывоопасные зоны и горение компактных струй сжиженного газа при аварийном истечении: Экспресс-информ. Сер. 3. Пожарная профилактика в технологических процессах и строительстве. -М.: ВНИИПО, 1975. – Вып. 36.

13. *Paul A. Croce and Krishna S. Mudan*. Calculating Impacts for Large Open Hydrocarbon Fires // Fire Safety Journal, 11 (1986), 99-112.

14. *Krishna S. Mudan.* Thermal radiation hazards from hydrocarbon pool fires // Prog. Energy. Combast. Sci. 1984. - Vol.10. – P. 59-80.

15. Теплообмен излучением: Справочник. - М.: Энергоатомиздат, 1991. -432 с.

16. *Шебеко Ю.Н., Шевчук А.П., Смолин И.М.* О возможности предотвращения взрыва резервуара с перегретой жидкостью в очаге пожара путем использования предохранительных устройств//Химическая промышленность. – 1994. – N 12.

17. *Chamberlain G.A.* Developments in design methods for predicting thermal radiation from fiares. // Chem. eng. Des.- Vol. 65, July1987.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение 3
1. Особенности развития пожаров на объектах хранения и переработки сжиженных углеводородных газов 4
2. Оперативно-тактические особенности объектов хранения и переработки СУГ. Планировочные и конструктивные мероприятия, обеспечивающие создание условий для тушения пожаров 7
2.1. Устройство изотермического резервуара и его технологическая обвязка 8
2.2. Здания, сооружения и территория склада ... 13
2.3. Размещение резервуара относительно соседних объектов 17
2.4. Системы противопожарной защиты изотермического резервуара 18
2.4.1. Водяное орошение 18
2.4.2. Ограничение распространения паров СУГ 21
2.4.3. Порошковое пожаротушение 22
2.4.4. Установки пенного пожаротушения в обваловании 23
2.4.5. Аварийные факелы и свечи 24
3. Планирование боевых действий и основные тактические приемы тушения пожаров на объектах хранения и переработки СУГ 25
4. Техника безопасности 36
5. Расчет сил и средств 43
Приложение 49
1. Методика определения удельной массы СУГ, испарившегося из пролива 49
2. Методика определения растекания СУГ за пределы обвалования при разрушении резервуара 52
3. Методика определения максимальных размеров взрывоопасных зон при испарении СУГ из проливов 53
4. Методика определения массовой скорости истечения СУГ из резервуаров под давлением и трубопроводов 55

5. Методика определения размеров взрывоопасных зон при истечении СУГ из трубопровода 57
6. Методика определения параметров ударной волны при сгорании газовоздушных облаков..... 58
7. Методика определения интенсивности теплового излучения при пожарах проливов СУГ 59
8. Методика определения параметров ударной волны при взрыве резервуара в очаге пожара и теплового излучения при возникновении «огненного шара»..... 62
9. Методика определения параметров факелов пламени СУГ 70
Литература..... 75

Редактор ***Г.В. Прокопенко***
Технический редактор ***Л.А. Буланова***

Ответственный за выпуск ***Л.В. Гуринович***

Подписано в печать 29.06.98 г. Формат 60x84/16.
Печать офсетная. Усл. печ. л. 4,88. Уч.-изд. л. 4,68.
Т. - 700 экз. Заказ № 38.

Типография ВНИИПО МВД России.
143900, Московская обл., Балашихинский р-н,
пос. ВНИИПО, д. 12

gost.e-ecolog.ru