

ВАРИАНТЫ СНИЖЕНИЯ ПОЖАРОВЗРЫВООПАСНОСТИ НЕФТЕХИМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Исследовано влияние вида нефтепродукта, площади его разлива, времени испарения, температуры, скорости ветра на количество образующейся взрывоопасной парогазовой фазы и величину полного энергипотенциала типичного технологического блока – резервуара типа РВС-1000. Рекомендовано ограничить площадь возможного разлива нефтепродуктов до размеров не более 1500 м².

Нефтебазы, сливноналивные эстакады, бензозаправочные станции, склады легковоспламеняющихся и горючих жидкостей относятся к взрывопожароопасным производствам и должны отвечать требованиям соответствующих нормативов [1-3]. К сожалению, многие подобные объекты располагаются в заселенной зоне, вблизи жилых домов и административно-бытовых зданий, что создает угрозу пребывания в них людей [4-7].

В связи с этим для решения вопросов размещения предприятий, обоснования эффективности и надежности мер и технических средств защиты, их способности обеспечивать взрывобезопасность данного объекта необходимы определение общей массы горючих паров (газов), образующихся в случае аварийной ситуации, расчет радиусов зон по уровням опасности возможных разрушений, оценка энергетического уровня каждого технологического блока и всей схемы, предложения по снижению взрывоопасности отдельных производств.

Наиболее значимыми параметрами, от которых зависит масса образующейся взрывоопасной парогазовой фазы, являются: фракционный состав пролитой жидкости, время испарения, площадь разлива, температура воздуха и пролитой жидкости, скорость ветра и т. д. [7-9]. Отметим, что эти параметры строго не регламентированы, часто переменны и зависят от местных условий. Поэтому необходимо было определить влияние этих параметров на изменения энергетических потенциалов блоков, выбрать исходные (или контрольные) их значения для использования в расчетах.

В качестве примера приводим расчеты для объектов одной из нефтебаз Оренбургской области. Основными технологическими документами для проведения расчетов являлись технологические регламенты и топосъемка нефтебазы. Для количественной оценки пожаровзрывоопасности технологических блоков и расчета энергетических зон использованы нормативные документы [1-3], вычисления проведены с

помощью компьютерной программы «ПВ-Безопасность» (Версия 3.0) фирмы «ТехноСофт».

Прогнозируемые аварийные ситуации

Технологический процесс по сливу, перекачке, хранению и наливу нефтепродуктов относится к взрывопожароопасному и вредному производству на всех его этапах. В качестве прогнозируемых аварийных ситуаций на нефтебазе, сопровождающихся разливом нефтепродуктов и образованием взрывоопасного парогазового облака, нами рассмотрены (в порядке понижения степени взрывопожароопасности):

- аварийная разгерметизация, полное разрушение (раскрытие) вертикальных наземных резервуаров;
- повреждение трубопроводов с нефтепродуктами, проложенных надземно, в том числе сливно-наливных устройств;
- повреждение технологических насосов и трубопроводов в помещениях;
- перелив емкостных технологических аппаратов (наземных резервуаров);
- перелив емкостей транспортных средств (железнодорожных или автомобильных цистерн).

При локальном повреждении наземных резервуаров, в том числе при их переливе, максимальная площадь разлива нефтепродуктов определяется границами обвалования этих технологических аппаратов. Теоретически, при мгновенном полном разрушении резервуара и малой вязкости жидкости возможно возникновение волны и переброс части нефтепродукта за пределы обвалования, но из-за малой вероятности такого события и невозможности учета площади разлива эти варианты не рассчитывали.

Для предотвращения разлива значительных количеств нефтепродуктов при небольших повреждениях должны быть предусмотрены методы и средства, а также специально оборудованные или подготовленные места (емкости) для выполнения операций по аварийному освобождению неисправных резервуаров и цистерн.

Общие принципы расчета энергетических потенциалов

При проведении расчетов каждый резервуар, эстакаду, насос или трубопровод считали отдельным блоком. Энергетический потенциал взрывоопасности (E , кДж) блока определяется полной энергией сгорания парогазовой фазы, находящейся в блоке, с учетом величины работы ее адиабатического расширения, а также величины энергии полного сгорания испарившейся жидкости с максимально возможной площади ее пролива. При этом учитывается более двух десятков различных параметров (масса и фракционный состав пролитой жидкости, температура воздуха и пролитой жидкости, атмосферное давление, теплопроводность, плотность и теплоемкость грунта или поддона, скорость ветра, время испарения до взрыва, площадь зеркала испарения и т. д.).

По значениям общих энергетических потенциалов взрывоопасности E определяются величины приведенной массы m (массы парогазовой фазы, приведенной к единой удельной энергии сгорания, равной 46000 кДж/кг), а также относительного энергетического потенциала Q_v , характеризующие взрывоопасность блоков. По значениям относительных энергетических потенциалов и приведенной массы парогазовой фазы осуществляется категорирование технологических объектов (таблица 1). Отметим, что если в блоках используются вещества, относящиеся к I или II классу опасности по [3] (бензины, керосин), то по результатам расчетов категория взрывоопасности повышается на единицу.

Общие приведенные массы парогазовых сред и соответствующие им энергетические потенциалы используются для расчета массы веществ, участвующих во взрыве, и радиусов зон разрушений. В общем случае для неорганизованных парогазовых облаков в незамкнутом пространстве с большой массой горючих веществ доля участия их во взрыве принята равной 0,1. Для оценки уровня воздействия взрыва применяется тротиловый эквивалент. Зоной разрушения считается площадь с границами, определяемая радиусами R , центром которой является рассматриваемый технологический блок или наиболее вероятное место разгерметизации технологической системы. Границы каждой зоны характеризуются значениями избыточных давлений по фронту ударной волны ΔP . Классификация зон разрушения приведена в таблице 2.

Жилые дома, административно-бытовые и другие здания, в которых предусмотрено постоянное пребывание людей, должны находиться вне зоны разрушения №5. В этой зоне избыточное давление не превышает величину 2 кПа (0,02 кг/см²), однако этого недостаточно для обеспечения травмобезопасности людей, так как возможно частичное разрушение остекления, повреждение слухового аппарата, психологические стрессы. Объекты общего назначения (электро-, паро-, водоснабжения и др.) должны располагаться вне зон разрушения или быть устойчивыми к воздействию ударной волны. Общие принципы расчетов и применяемые формулы приведены в [3].

Выбор параметров

Характеристики светлых нефтепродуктов, использованные для расчетов энергетических потенциалов, приведены в таблице 3. В связи с тем, что темные нефтепродукты имеют высокую температуру возгонки (как правило, выше 300°С), при обычных температурах не образуют парогазового облака и не являются взры-

Таблица 1. Показатели категорий взрывоопасности блоков [3]

Q_v	m , кг	Категория
> 37	> 5000	I
27-37	2000-5000	II
< 27	< 2000	III

Таблица 2. Классификация зон разрушения [3]

Зоны	Давление ударной волны ΔP , кПа	Характер разрушений
1	> 100	Сильное повреждение всех зданий
2	70	Среднее повреждение зданий с массивными обвалами
3	28	Среднее повреждение промзданий
4	14	Легкие повреждения фабричных труб
5	= 2	Частичное разрушение остекления

Таблица 3. Характеристики взрывопожароопасных продуктов

№	Наименование продукта	Температура перегонки*					Плотность, кг/м ³	Класс опасности
		t_1 , °C	t_2 , °C	t_3 , °C	t_4 , °C	t_5 , °C		
Бензины автомобильные								
1	А-76эт	35	60	100	160	180	719	II
2	А-76н/эт	35	60	100	160	190	809	II
3	АИ-92н/эт	35	60	100	180	200	739	II
4	АИ-95н/эт	35	70	120	160	180	757	II
Дизельное топливо и керосин								
6	ДТ летнее	-	-	270	-	360	832	II
7	ДТ зимнее	-	-	280	-	340	860	II
8	Керосин освет.	-	-	-	200	220	779	II

*) t_1 – начала перегонки; t_2 – 10% продукта; t_3 – 50% продукта; t_4 – 90% продукта (83% для керосина); t_5 – конца перегонки.

воопасными веществами, расчет энергетических потенциалов для соответствующих резервуаров не приводится.

Для предварительных исследований и выбора контрольных значений параметров как наиболее характерный условно выбран резервуар типа РВС-1000 объемом 1000 м³, содержащий бензин А-76 неэтилированный, стоящий на горизонтальной поверхности с площадью обваловки 3375 м². Графическая обработка результатов расчетов представлена на рис. 1-4.

Время испарения пролитой жидкости в соответствии с [1, 3, 7-9] рекомендуется в расчетах принимать не более 1 часа. Как видно из рис. 1, при аварийной разгерметизации в течение 1 часа при 20° С испаряется масса жидкости, эквивалентная по энергии 4136 кг тринитротолуола (приведенная масса). Это недопустимо большая величина, при взрыве радиус разрушений может достигать 550 м. Снижение времени испарения (и площади разлива) приводит к пропорциональному уменьшению приведенной массы. На основании расчетов мы приняли нормативное время испарения пролитой жидкости 5 минут (300 сек). Это время соответствует времени ручного отключения насосов по технологическому регламенту, а также времени прибытия пожарной команды. В течение 5 минут необходимо привести в действие пеногенераторы для подавления испарения горючей жидкости.

Площадь разлива (площадь обвалования) на участке расположения резервуара составляет 3375 м². При разливе 1000 м³ бензина средняя высота слоя пролитой жидкости составит не более 30 см. Это позволяет рекомендовать уменьшение площади разлива. Расчеты показывают существенное снижение приведенной массы пролитой жидкости и переход в более низкую категорию опасности при уменьшении площади разлива до 1000-1500 м² (рис. 2). На основании этих расчетов рекомендуется произвести дополнительное разделение больших по площади участков внутренними земляными валами. Высота обваловки при этом должна быть такой, чтобы обеспечивалось вмещение всего объема пролитой жидкости (оптимально 1-1,5 м). В дальнейших расчетах учтены как имеющаяся, так и рекомендуемая схема обваловки и соответствующие им площади разливов.

Температура пролитой жидкости и окружающего воздуха нелинейно влияет на приведенную массу (рис. 3). При температуре более 20° С

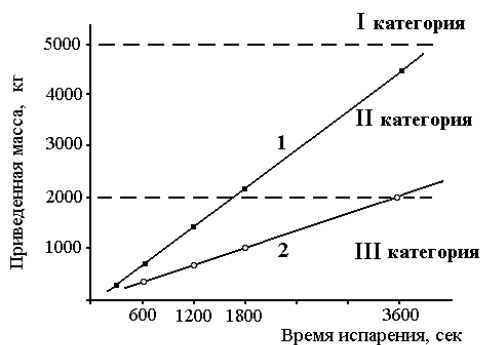


Рисунок 1. Зависимость массы горючих паров от времени испарения пролитой жидкости. Площадь зеркала разлива 3375 (1) и 1590 м² (2).

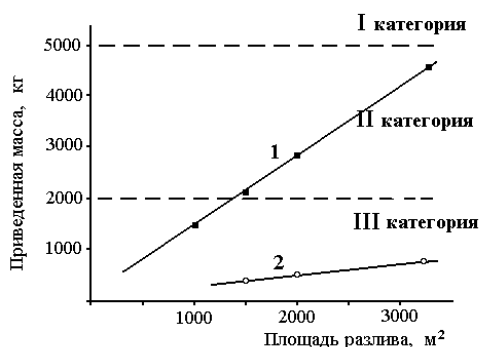


Рисунок 2. Зависимость массы горючих паров от площади разлива пролитой жидкости. Время испарения 3600 (1) и 600 сек (2).

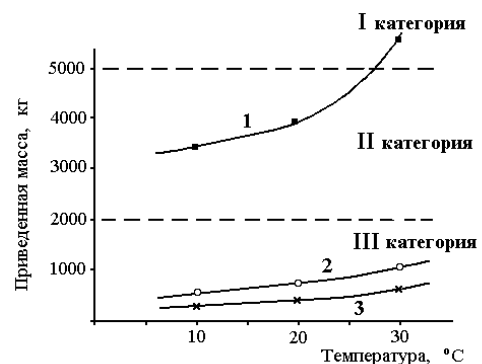


Рисунок 3. Зависимость массы горючих паров от температуры воздуха и пролитой жидкости. Время испарения 3600 (1), 600 сек (2, 3), площадь разлива 3375 (1, 2), 1590 м² (3).

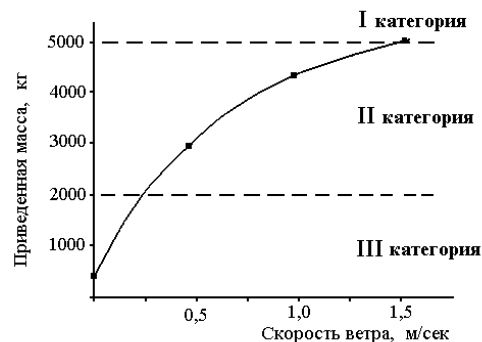


Рисунок 4. Зависимость массы горючих паров от скорости ветра. Время испарения 3600 сек.

быстро увеличивается количество испаряющегося нефтепродукта и, соответственно, резко возрастает взрывопожароопасность. Необходимо в летнее время за счет хорошей теплоизоляции, принудительного орошения водой и других мероприятий не допускать нагревания нефтепродуктов выше 20° С. Указанная температура использована в дальнейших расчетах.

Скорость ветра существенно влияет на испарение легколетучих нефтепродуктов (рис. 4). Минимальное испарение наблюдается при отсутствии движения воздуха. Такая обстановка возможна внутри бетонного и земляного обвалования, под защитой высокорослых деревьев. При слабом ветре (0-5 м/сек) испарение усиливается, приведенная масса возрастает; кроме того, взрывоопасное облако может двигаться в сторону производственных помещений и жилых массивов, что увеличивает опасность аварии. При сильном ветре (более 10 м/сек), наоборот, происходит сильное разбавление паровоздушной смеси, возможно даже снижение концентрации паров ниже предела распространения пламени и устранение взрывоопасности. Поскольку этот фактор не является регулируемым, в дальнейших расчетах принята скорость ветра 1 м/сек, при которой взрывоопасность приближается к максимальной.

Расчеты резервуаров хранения светлых нефтепродуктов

Резервуарный парк нефтебазы огражден блочно-бетонным обвалованием высотой 1,5 м и разделен земляными валами на три участка. Площади возможного разлива нефтепродуктов (с учетом обваловки и площади фундаментов под резервуарами) и характеристики расположенных на участках резервуаров приведены в таблице 4. Здесь же представлены рассчитанные нами энергопотенциалы отдельных блоков. На основании предварительных исследований время испарения пролитой жидкости во всех случаях принято 300 сек, температура жидкости и окружающего воздуха 20° С, давление 1 атм.

Полученные данные показывают, что наиболее взрывоопасными являются резервуары № 4, 9-12. Площадь разлива, а соответственно и количество испаряющегося нефтепродукта у них наибольшие (приведенная масса более 300 кг), полный энергопотенциал этих блоков превышает 10 млн. кДж, а радиус разрушений превышает 100 м, что представляет серьезную опасность для производственных помещений и жилых зданий.

Некоторые менее опасны резервуары №5 и 6, полный энергопотенциал которых 7-9 млн. кДж, а радиус разрушений достигает 63-76 м. Это связано с меньшей площадью разлива и более высококипящим бензином АИ-95. Наименее опасными, несмотря на большие размеры (до 2000 м³), являются резервуары с дизельным топливом, имеющим высокую температуру испарения, и в связи с этим относящиеся к III категории опасности.

Одним из вариантов снижения взрывоопасности этих блоков является уменьшение площади разлива. В соответствии с проведенными теоретическими расчетами, чтобы радиус поражения не превышал 50-100 м, площадь разлива самого легколетучего нефтепродукта – бензина А-92 должна быть не более 1500 м². Поэтому предлагается разделить дополнительными земляными валами участок площадью 3600 м² на три сектора, а участок площадью 3375 м² – на два сектора. Площади возможного разлива наиболее опасных нефтепродуктов (бензинов) в этих секторах приведены в таблице 5.

Как видно из полученных данных, предлагаемое разделение позволит значительно умень-

Таблица 4. Характеристика резервуарного парка светлых нефтепродуктов

№ блока	Объем, м ³	Площадь, м ²	Нефтепродукт	Полный потенциал, кДж	Приведенная масса, кг	Категория	Радиус * разрушений, м	
1	1007	3600	ДТ	3604	0,08	III	0,4	
2	763		ДТ	3604	0,08	III	0,4	
3	281		Керосин осв.	2,375·10 ⁵	5,16	II	6,7	
4	667		А-76 лет н/э	1,691·10 ⁷	367,7	II	115,1	
5	1000	1525	АИ-95 н/э	9,041·10 ⁶	196,5	II	75,8	
6	2120		А-76 лет.	6,842·10 ⁶	148,7	II	63,0	
7	2149		3375	ДТ	3379	0,07	III	0,4
8	1099			ДТ	3379	0,07	III	0,4
9	1000			А-76 лет н/э	1,586·10 ⁷	344,7	II	110,3
10	944			А-76 лет н/э	1,586·10 ⁷	344,7	II	110,3
11	944		998	А-92 этил.	1,807·10 ⁷	392,9	II	120,3
12	998			А-92 этил.	1,807·10 ⁷	392,9	II	120,3

* – Приведен радиус зоны 5, безопасной для нахождения людей

Таблица 5. Энергопотенциалы отдельных блоков, их категории и радиусы возможных разрушений при условии дополнительного разделения участков

№ блока	Объем, м ³	Площадь, м ²	Нефтепродукт	Полный потенциал, кДж	Приведенная масса, кг	Категория	Радиус * разрушений, м
4	667	1180	А-76 лет н/э	5,544·10 ⁶	120,5	II	54,7
5	1000	950	АИ-95 н/э	2,386·10 ⁶	51,86	II	31,2
9	1000	1590	А-76 лет н/э	7,47·10 ⁶	162,4	II	66,8
12	998	1560	А-92 этил.	8,515·10 ⁶	185,1	II	72,9
10	944		А-76 лет н/э	7,329·10 ⁶	159,3	II	65,9
11	944		А-92 этил.	8,354·10 ⁶	181,6	II	71,9

* – Приведен радиус зоны 5, безопасной для нахождения людей

шить возможные радиусы разрушений в случае аварии. При этом высота пролитой жидкости из резервуаров объемом до 1000 м³ на горизонтальном участке составит не более 60 см, что вполне допустимо.

Таким образом, нами проведены расчетные исследования по оценке влияния различных факторов (площади разлива, времени испарения и вида нефтепродукта, температуры, скорости ветра и т. д.) на величину полного энергopotенциала типичного технологического блока – резервуара типа РВС-1000. Из полученных данных следует, что для уменьшения опасности производства необходимо:

– за счет дополнительной обваловки ограничить площадь возможного разлива нефтепродуктов до размеров не более 1500 м²;

– начать ликвидацию аварийной ситуации (привести в действие пеногенераторы с одновременным отсосом пролитого нефтепродукта) не позднее 5 минут с момента разгерметизации блока, что соответствует нормативному времени ручного отключения насосов и прибытия пожарной команды.

Рассчитаны полные энергopotенциалы, приведенные массы для всех блоков резервуарного парка, радиусы разрушений различной степени и зоны безопасного нахождения людей в случае возникновения аварийной ситуации на территории нефтебазы. Определена категория взрывоопасности всех блоков. Для уменьшения взрывоопасности объектов и снижения категории предприятия предложено провести дополнительное разделение участков резервуарного парка.

Список использованной литературы:

1. ГОСТ 12.1.044-89. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения.
2. ГОСТ 12.1.007-76. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности.
3. Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств. ПБ 09-170-97. – М.: ПИО ОБТ, 1999. – 140 с.
4. Маршалл В. Основные опасности химических производств / Пер. с англ. – М.: Мир, 1989.
5. Бесчастнов М.В. Взрывобезопасность и противоаварийная защита химико-технологических процессов. – М.: Мир, 1989.
6. Бейкер У., Кокс П., Уэстайн П. и др. Взрывные явления. Оценка и последствия. В 2-х книгах. Пер. с англ. – М.: Мир, 1986.
7. Адушкин В.В., Когарко С.М., Лямин Л.Д. Расчеты безопасных расстояний при газовом взрыве в атмосфере // Взрывное дело, 1975, №32, с. 82-94.
8. Пожарная безопасность. Взрывобезопасность : Справ. издание / А.Н. Баратов, Е.Н. Иванов, А.Я. Корольченко и др. – М. : Химия, 1987. –272 с.
9. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения: Справ. издание. В 2-х кн. А.Н. Баратов, А.Я. Корольченко, Г.Н. Кравчук и др. – М. : Химия, 1990. Т. 1 – 496 с. Т. 2 – 384 с.