

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Воронежский государственный архитектурно-строительный университет»

Кафедра пожарной и промышленной безопасности

Пожарная безопасность газонефтепроводов и газонефтехранилищ

*Методические указания
к практическим занятиям
для студентов направления
подготовки 21.03.01 Нефтегазовое дело*

Воронеж 2015

УДК
ББК

Составители
Э.В. Соловьева, И.И. Переславцева

Пожарная безопасность газонефтепроводов и газонефтехранилищ: метод. указания к практическим занятиям / Воронежский ГАСУ ; сост.: Э.В. Соловьева, И.И. Переславцева. – Воронеж, 2015. – с.

Приводится краткий теоретический материал, необходимый для выполнения практических заданий по дисциплине «Пожарная безопасность газонефтепроводов и газонефтехранилищ».

Предназначены для студентов 2-го курса, обучающихся по направлению подготовки 21.03.01 (131000.62) Нефтегазовое дело.

Табл. . Библиогр.: назв.

УДК
ББК

*Печатается по решению учебно-методического совета
Воронежского ГАСУ*

Рецензент –

Введение

Методические указания к практическим занятиям для студентов по учебной дисциплине «Пожарная безопасность газонефтепроводов и газонефтехранилищ» по специальности 21.03.01 (131000.62) Нефтегазовое дело составлены в соответствии с примерной программой дисциплины, соответствующей требованиям Государственного образовательного стандарта к минимуму содержания и уровню подготовки выпускников для специальности 21.03.01 (131000.62) Нефтегазовое дело.

Учебная дисциплина «Пожарная безопасность газонефтепроводов и газонефтехранилищ.» является профессиональной, устанавливающей базовые знания для освоения других специальных дисциплин и производственной (профессиональной) практики.

Изучение дисциплины «Пожарная безопасность газонефтепроводов и газонефтехранилищ» строится на базе знания студентами математики, физики, технической механики, материаловедения, основ стандартизации, инженерной графики, основ нефтегазового производства, гидравлики, термодинамики.

В процессе преподавания дисциплины необходимо формировать у студентов интерес к профессии, навыки самостоятельного изучения учебного материала и работы с нормативно справочной литературой, применять эффективные формы и методы обучения, позволяющих развить творческие способности студентов.

Необходимо соблюдать единство терминологии и обозначений в соответствии с действующими международными, государственными и отраслевыми стандартами.

При проведении занятий целесообразно применять наглядные пособия и технические средства обучения, широко использовать устные упражнения, упражнения с обучающими машинами, с номограммами и справочниками, внедрять элементы программированной обучения, достижения современной науки, и техники.

Рекомендуется создание программированных учебных пособий, позволяющих с минимальной помощью преподавателя усваивать изучаемый материал при самостоятельной работе студентов.

Результативность изучения курса повышает применение нетрадиционных методов форм обучения, технических средств обучения, а также систематический (в том числе и программированный) контроль за степенью усвоения материала. Занятия на уроках должны сопровождаться демонстрацией кинофильмов, диафильмов, моделей, макетов, плакатов, схем образцов техники. Необходимы, где это возможно, экскурсии на промышленные предприятия отрасли, а также вынесенные на них уроки по темам, близким к практике.

Для привития студентам навыков самостоятельной работы с использованием справочной литературы необходимо уделить особое внимание аудиторному и домашнему решению задач, выполнению расчетно-графических

Аммиак, хранимый под давлением	0,0008	0,681	-33,42	15	0,18	0,025	0,04	0/0,9	0,3/1	0,6/1	1/1	1,4/1
Аммиак при изотермическом хранении	-	0,681	-33,42	15	0,01	0,025	0,04	0/0,9	1/1	1/1	1/1	1/1
Водород хлористый	0,0016	1,191	-85,10	2	0,28	0,037	0,30	0,64/1	0,6/1	0,8/1	1/1	1,2/1
Сернистый ангидрид	0,0029	1,462	-10,1	1,8	0,11	0,049	0,333	0/0,2	0/0,5	0,3/1	1/1	1,7/1
Сероводород	0,0015	0,964	-60,35	16,1	0,27	0,042	0,036	0,3/1	0,5/1	0,8/1	1/1	1,2/1
Соляная кислота	-	1,198	-	2	0	0,021	0,30	0	0,1	0,3	1	1,6
Хлор	0,0032	1,553	-34,1	0,6	0,18	0,052	1,0	0/0,9	0,3/1	0,6/1	0,6/1	1,4/1
Фосген	0,0035	1,432	8,2	0,6	0,05	0,061	1,0	0/0,1	0/0,3	0/0,7	1/1	2,7/1

Примечание: для k_7 в числителе приведены значения для первичного облака, а в знаменателе для вторичного.

При определении величины Q_{01} для сжиженных газов, не вошедших в табл. 1.1, значение коэффициента k_1 рассчитывается по соотношению

$$k_1 = \frac{C_p \Delta T}{H_{исп}}, \quad (1.2)$$

где C_p – удельная теплоемкость жидкого СДЯВ при температуре испарения, кДж/кг·град;

ΔT – разность температур жидкого СДЯВ до и после разрушения емкости, °С;

$H_{исп}$ – удельная теплота испарения жидкого СДЯВ при температуре испарения, кДж/кг.

k_3 – коэффициент, равный отношению поражающей токсодозы хлора к поражающей токсодозе другого СДЯВ (табл. 1.1);

k_5 – коэффициент, учитывающий степень вертикальной устойчивости воздуха (принимается равным при инверсии –1; изотермии –0,23; конвекции –0,08)

k_7 – коэффициент, учитывающий влияние температуры воздуха, по табл. 1.1 (для сжатых газов $k_7=1$);

Q_0 – количество выброшенного (разлившегося) при аварии вещества, т.

Инверсия – состояние атмосферы, при котором восходящие потоки воздуха отсутствуют, а температура почвы ниже температуры воздуха. Наблюдается обычно ночью при ясной погоде и слабом ветре.

Конвекция – состояние атмосферы, при котором сильно развиты восходящие потоки воздуха, а температура поверхности почвы выше температуры воздуха. Возникает при ясной погоде, малых (до 4 м/с) скоростях ветра.

Изотермия – состояние атмосферы, при котором восходящие потоки воздуха очень слабы, а температура почвы равна температуре воздуха. Наблюдается в любое время суток при пасмурной погоде или ветре более 4м/с.

Количество выброшенного (выделившегося) вещества определяется по объему разрушившейся емкости или секции трубопровода, находящейся между двумя автоматическими задвижками.

При авариях на хранилищах сжатого газа величина Q_0 рассчитывается по формуле

$$Q_0 = d \cdot V_x, \text{ Т}, \quad (1.3)$$

где d – плотность СДЯВ (по табл. 1.1), т/м³;

V_x – объем хранилища, м³.

При аварии на газопроводе, величина Q_0 рассчитывается по формуле

$$Q_0 = \frac{n \cdot d \cdot V_{\Gamma}}{100}, \text{ Т}, \quad (1.4)$$

где n – процентное содержание СДЯВ в природном газе, %;

d – плотность СДЯВ (по табл. 1.1), т/м³;

V_{Γ} – объем секции газопровода между автоматическими отсекающими, м³.

Эквивалентное количество по вторичному облаку рассчитывают по формуле

$$Q_{32} = (1 - k_1) \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_6 \cdot k_7 \cdot \frac{Q_0}{h \cdot d}, \quad (1.5)$$

где k_2 – коэффициент, зависящий от физико-химических свойств СДЯВ, табл. 1.1;

k_4 – коэффициент, зависящий от скорости ветра, табл. 1.2;

k_6 – коэффициент, зависящий от времени, прошедшего после начала аварии (N).

Значение коэффициента k_6 определяется после расчета продолжительности T (ч) испарения вещества:

$$k_6 = \begin{cases} N^{0,8} & \text{при } N < T; \\ T^{0,8} & \text{при } N \geq T. \end{cases} \quad (1.6)$$

при $T < 1$ ч k_6 принимается для 1 ч;

Продолжительность испарения вещества T :

$$T = \frac{h \cdot d}{k_2 \cdot k_4 \cdot k_7}, \quad (1.7)$$

где d – плотность СДЯВ, табл. 1.1, т/м³;

h – толщина слоя свободно разлившейся жидкости (высота столба испарения) составляет 0,05 м.

Таблица 1.2

Значение коэффициента k_4 в зависимости от скорости ветра

Скорость ветра, м/с	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
k_4	1	1,33	1,67	2,0	2,34	2,67	3,0	3,34	3,67	4,0

Расчет глубины зон заражения первичным (вторичным) облаком СДЯВ при авариях на технологических емкостях, хранилищах и транспорте, ведут с помощью табл. 1.3.

Таблица 1.3

Глубина зоны заражения, км

Скорость ветра, м/с	Эквивалентная масса СДЯВ, т											
	0,1	0,5	1	3	5	10	20	30	50	70	100	300
1	1,25	3,16	4,75	9,18	12,53	19,20	29,56	38,13	52,67	65,73	81,91	166
2	0,84	1,92	2,84	5,35	7,20	10,85	16,44	21,02	28,73	35,35	44,09	87,79
3	0,68	1,83	2,17	3,99	5,34	7,96	11,94	15,18	20,59	25,21	21,30	61,47
4	0,59	1,33	1,88	3,28	4,36	6,46	9,62	12,18	16,43	20,05	24,80	48,18
5	0,53	1,19	1,68	2,91	3,75	5,53	8,19	10,33	13,88	16,89	20,82	40,4
6	0,48	1,09	1,53	2,66	3,43	4,88	7,20	9,06	12,14	14,79	18,13	34,07
7	0,45	1,00	1,42	2,46	3,17	4,49	6,48	8,14	10,87	13,17	16,17	30,73
8	0,42	0,94	1,33	2,30	2,97	4,20	5,92	7,42	9,90	11,98	14,68	27,75
9	0,40	0,88	1,25	2,17	2,80	3,96	5,60	6,86	9,12	11,03	13,50	27,39
15 и >	0,31	0,69	0,97	1,68	2,17	3,07	4,34	5,31	6,86	8,11	9,70	17,60

Примечание: при скорости ветра менее 1 м/с размеры зон заражения принимают как при скорости ветра 1 м/с.

В табл. 1.3 приведены максимальные значения зон заражения первичным (Γ_1) или вторичным (Γ_2) облаком, определяемые в зависимости от эквивалентного количества вещества и скорости ветра. Полную глубину зоны заражения (Γ) в км, обусловленную воздействием первичного и вторичного облаков СДЯВ, определяют:

$$\Gamma = \Gamma' + 0,5\Gamma'', \quad (1.9)$$

где Γ' – наибольший размер Γ_1 и Γ_2 ;

Γ'' – наименьший из размеров Γ_1 и Γ_2 .

1.2. Задачи для самостоятельного решения

1. На химическом предприятии произошла авария на технологическом трубопроводе с жидким аммиаком, находящимся под давлением. Количество вытекшей из трубопровода жидкости не установлено. Известно, что в технологической системе содержалось 160 т аммиака. Определить глубину возможного заражения аммиаком при времени от начала аварии $N = 4$ ч и продолжительность действия источника заражения. Метеоусловия на момент аварии: скорость ветра – 5 м/с, температура воздуха + 10 °С, изотермия.

2. На химическом предприятии произошла авария в хранилище, содержащем сжатый водород. Количество выброшенного газа не установлено. Известно, что в хранилище содержалось 2000 м³ водорода. Определить глубину возможного заражения водородом при времени от начала аварии $N = 3$ ч и продолжительность действия источника заражения. Метеоусловия на момент аварии: скорость ветра – 4 м/с, температура воздуха + 5 °С, изотермия.

3. На химическом предприятии произошла авария на газопроводе с сероводородом, находящимся под давлением. Количество выброшенного из трубопровода газа не установлено. Известно, что объем секции газопровода составляет 150 тыс. м³. Процентное содержание СДЯВ в природном газе 0,05%. Определить глубину возможного заражения хлором при времени от начала аварии $N = 2$ ч и продолжительность действия источника заражения. Метеоусловия на момент аварии: скорость ветра – 4 м/с, температура воздуха 0 °С, инверсия.

4. На химическом предприятии произошла авария на газопроводе с фосгеном, находящимся под давлением. Известно, что в технологической системе содержалось 2 т фосгена, который был полностью выброшен из системы. Определить глубину возможного заражения фосгеном при времени от начала аварии $N = 1$ ч и продолжительность действия источника заражения. Метеоусловия на момент аварии: скорость ветра – 3 м/с, температура воздуха –10 °С, изотермия.

5. На химическом предприятии произошла авария на технологическом трубопроводе с соляной кислотой. Количество вытекшей из трубопровода жидкости не установлено. Известно, что в технологической системе содержалось 50 т соляной кислоты. Определить глубину возможного заражения соляной кислотой при времени от начала аварии $N = 3$ ч и продолжительность действия источника заражения. Метеоусловия на момент аварии: скорость ветра – 2 м/с, температура воздуха 0 °С, изотермия.

6. На химическом предприятии произошла авария на технологическом трубопроводе с жидким хлором, находящимся под давлением. Количество вытекшей из трубопровода жидкости не установлено. Известно, что в технологической системе содержалось 40 т сжиженного хлора. Определить глубину зоны возможного заражения хлором при времени от начала аварии $N = 1$ ч и продолжительность действия источника заражения. Метеоусловия на момент аварии: скорость ветра 5 м/с, температура воздуха +10 °С, изотермия.

7. На химическом предприятии произошла авария в хранилище, содержащем аммиак, находящийся под давлением. Количество выброшенного газа не установлено. Известно, что в хранилище содержалось 6000 м^3 аммиака. Определить глубину возможного заражения аммиаком при времени от начала аварии $N = 2$ ч и продолжительность действия источника заражения. Метеоусловия на момент аварии: скорость ветра – 3 м/с, температура воздуха -10°C , инверсия.

8. На химическом предприятии произошла авария на газопроводе с фосгеном, находящимся под давлением. Количество выброшенного из трубопровода газа не установлено. Известно, что объем секции газа составляет 350 тыс. м^3 . Процентное содержание СДЯВ в природном газе 0,01 %. Определить глубину возможного заражения фосгеном при времени от начала аварии $N = 3$ ч и продолжительность действия источника заражения. Метеоусловия на момент аварии: скорость ветра – 1 м/с, температура воздуха $+20^\circ\text{C}$, инверсия.

9. На химическом предприятии произошла авария на технологическом трубопроводе с сернистым ангидридом. Количество вытекшей из трубопровода жидкости не установлено. Известно, что в технологической системе содержится 35 т сернистого ангидрида. Определить глубину возможного заражения сернистым ангидридом при времени от начала аварии $N = 3$ ч и продолжительность действия источника заражения. Метеоусловия на момент аварии: скорость ветра – 2 м/с, температура воздуха -20°C , инверсия.

10. На химическом предприятии произошла авария на технологическом трубопроводе с сжиженным сероводородом. Количество вытекшей из трубопровода жидкости не установлено. Известно, что в технологической системе содержалось 70 т сжиженного сероводорода. Определить глубину возможного заражения сжиженным сероводородом при времени от начала аварии $N = 4$ ч и продолжительность действия источника заражения. Метеоусловия на момент аварии: скорость ветра – 4 м/с, температура воздуха 0°C , изотермия.

2. Определение глубины и площади зоны заражения при разрушении химически опасного объекта (ХОО)

2.1. Общие сведения

В случае разрушения ХОО при прогнозировании глубины заражения рекомендуется брать данные на одновременный выброс суммарного запаса СДЯВ на объекте и следующие метеорологические условия: инверсия, скорость ветра 1 м/с.

Эквивалентное количество СДЯВ в облаке зараженного воздуха определяют аналогично рассмотренному в теме 1 методу для вторичного облака при свободном разливе. При этом суммарное эквивалентное количество Q , рассчитывают по формуле

$$Q_3 = 20 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot \sum_{i=1}^n k_{2i} \cdot k_{3i} \cdot k_{6i} \cdot k_{7i} \frac{Q_i}{d_i}, \text{ т}, \quad (2.1)$$

где k_{2i} – коэффициент, зависящий от физико-химических свойств i -го СДЯВ (табл. 1.1, тема 1);

k_{3i} – коэффициент, равный отношению поражающей токсодозы хлора к поражающей токсодозе i -го СДЯВ (табл. 1.1, тема 1);

k_{6i} – коэффициент, зависящий от времени, прошедшего после разрушения объекта (тема 1);

k_{7i} – поправка на температуру для i -го СДЯВ (табл.1.1, тема 1);

Q_i – запасы i -го СДЯВ на объекте, т;

d_i – плотность i -го СДЯВ (табл. 1.1, тема 1).

Площадь зоны возможного заражения для первичного (вторичного) облака СДЯВ определяется по формуле:

$$S_B = 8,72 \cdot 10^{-3} \Gamma^2 j, \quad (2.2)$$

где S_B – площадь зоны возможного заражения СДЯВ, км²;

Γ – глубина зоны заражения, км;

j – угловые размеры зоны возможного заражения, ... ° (табл. 2.1).

Таблица 2.1

Угловые размеры зоны возможного заражения СДЯВ в зависимости от скорости ветра

$u, \text{ м/с}$	< 0,5	0,6-1	1,1-2	>2
$j, ^\circ$	360	180	90	45

Площадь зоны фактического заражения S_ϕ (км²) рассчитывается по формуле:

$$S_\phi = k_8 \Gamma^2 N^{0,2}, \quad (2.3)$$

где k_8 – коэффициент, зависящий от степени вертикальной устойчивости воздуха, принимается равным: 0,081 при инверсии; 0,133 при изотермии; 0,235 при конвекции;

N – время, прошедшее после начала аварии, ч.

2.2. Задачи для самостоятельного решения

1. На ХОО сосредоточены запасы аммиака 80 т и фосгена 15 т. Определить глубину и площадь зоны заражения в случае разрушения объекта. Время, прошедшее после разрушения объекта – 1 ч, температура воздуха +20°С.

2. На ХОО имеются запасы водорода 5 т и сероводорода 50 т. Определить глубину и площадь зоны заражения в случае разрушения объекта. Время, прошедшее после разрушения объекта – 2 ч, температура воздуха 0°С.

3. На промышленном предприятии имеются запасы сернистого ангидрида 200 т и хлора 30 т. Определить глубину и площадь зоны заражения в случае разрушения объекта. Время, прошедшее после разрушения объекта – 3 ч, температура воздуха 0°С.

4. На химическом предприятии сосредоточены запасы СДЯВ, в том числе хлора 100 т и аммиака 300 т. Определить глубину и площадь зоны заражения в случае разрушения объекта. Время, прошедшее после разрушения объекта – 4ч, температура воздуха +10°С.

5. На ХОО сосредоточены запасы СДЯВ, в том числе соляной кислоты 50 т и хлора 30 т. Определить глубину и площадь зоны заражения в случае разрушения объекта. Время, прошедшее после разрушения объекта – 5 ч, температура воздуха 0°С.

6. На ХОО сосредоточены запасы фосгена 30 т и сероводорода 90 т. Определить глубину и площадь зоны заражения в случае разрушения объекта. Время, прошедшее после разрушения объекта – 1 ч, температура воздуха +20°С.

7. На ХОО имеются запасы водорода 150 т и соляной кислоты 100 т. Определить глубину и площадь зоны заражения в случае разрушения объекта. Время, прошедшее после разрушения объекта – 2 ч, температура воздуха +10°С.

8. На промышленном предприятии имеются запасы сернистого ангидрида 10 т и аммиака 50 т. Определить глубину и площадь зоны заражения в случае разрушения объекта. Время, прошедшее после разрушения объекта – 3 ч, температура воздуха +20°С.

9. На химическом предприятии сосредоточены запасы СДЯВ, в том числе водорода 50 т и фосгена 70 т. Определить глубину и площадь зоны заражения в случае разрушения объекта. Время, прошедшее после разрушения объекта – 4ч, температура воздуха 0°С.

10. На ХОО сосредоточены запасы СДЯВ, в том числе соляной кислоты 50 т и сероводорода 70 т. Определить глубину и площадь зоны заражения в случае разрушения объекта. Время, прошедшее после разрушения объекта – 5 ч, температура воздуха +20°С.

3. Взрыв газозвудушных смесей в открытом пространстве

3.1. Общие сведения

При взрыве газозвудушных смесей различают две зоны действия: детонационной волны – в пределах облака газозвудушных смесей (ГВС) и воздушной ударной волны – за пределами облака ГВС. В зоне облака действует

детонационная волна, избыточное давление во фронте которой принимается приблизительно равным $\Delta P_d = 17 \text{ кгс/см}^2$ (1,7 МПа).

В расчетах принимают, что зона действия детонационной волны ограничена радиусом r_0 , который определяется из допущения, что ГВС после разрушения емкости образуют в открытом пространстве полусферическое облако. Объем полусферического облака может быть определен по формуле

$$V = \frac{2}{3} \pi \cdot r_0^3, \text{ м}^3. \quad (3.1)$$

Учитывая, что киломоль идеального газа при нормальных условиях занимает $22,4 \text{ м}^3$, объем образовавшейся ГВС при аварийной ситуации составит:

$$V = \frac{22,4 \cdot k \cdot Q \cdot 100}{m_k \cdot C}, \text{ м}^3, \quad (3.2)$$

где k – коэффициент, учитывающий долю активного газа (долю продукта, участвующего во взрыве);

Q – количество сжиженных углеводородных газов в хранилище до взрыва, кг;

C – стехиометрическая концентрация газа в % по объему (табл. 3.1.);

m_k – молярная масса газа кг/кмоль.

Таблица 3.1

Характеристики газовой смеси

Вещество, характеризующее смесь	Характеристики смеси			
	m_k , кг/моль	$\rho_{стх}$, кг/м ³	$Q_{стх}$, МДж/кг	C
Аммиак	15	1,180	2,370	19,72
Ацетилен	26	1,278	3,387	7,75
Бутан	58	1,328	2,775	3,13
Водород	2	0,933	3,425	29,59
Метан	16	1,232	2,763	9,45
Оксид углерода	28	1,280	2,930	29,59
Этилен	28	1,285	3,810	6,54

Из условия равенства полусферы и объема образовавшейся смеси получим:

$$r_0 \approx 10 \sqrt[3]{\frac{Q \cdot k}{m_k \cdot C}}, \text{ м}. \quad (3.3)$$

Значение коэффициента k принимают в зависимости от способа хранения продукта:

$k = 1$ – для резервуаров с газообразным веществом;

$k = 0,6$ – для газов, сжиженных под давлением;

$k = 0,1$ – для газов, сжиженных охлаждением;

$k = 0,05$ – при аварийном разливе легковоспламеняющихся жидкостей.

Зона действия воздушной ударной волны (ВУВ) начинается сразу за внешней границей облака ГВС. Давление во фронте ударной волны ΔP_ϕ зависит от расстояния до центра взрыва и определяется с использованием данных табл. 3.2, исходя из соотношения

$$\Delta P_\phi = f\left(\frac{r}{r_0}\right), \quad (3.4)$$

где r – расстояние от центра взрыва до рассматриваемой точки.

Таблица 3.2

Значение давления во фронте ударной волны

r/r_0	0-1	1,01	1,04	1,08	1,2	1,4	1,8	2,7	3	4	5	6	8	12
ΔP_ϕ , кПа	1700	1232	814	568	400	300	200	100	80	50	40	30	20	10

Степень разрушения объектов определяется в зависимости от давления ударной волны по табл. 3.3.

Таблица 3.3

Степень разрушения объектов

Здания и сооружения	Давление ударной волны, кПа					
	200-1000	100-200	50-100	30-50	20-30	10-20
Жилые, производственные здания антисейсмической конструкции	а	б	в	г	д	-
Промышленные здания			а	б	в	в, г
Малозэтажные каменные			а	б	в	г, д
Деревянные					а	а, б
Электростанции				а, б	в	г
Наземные трубопроводы		а, б	б, в	в, г	г	д
Водонапорные башни			а, б	б, в	в	г
Воздушные линии электропередач		а	б	в	г	г, д
Воздушные линии связей			а, б	б	в	г, д
Металлические мосты пролетом: до 45 м 100-150 м	а, б	б, в а, б	г в	д г, д		
Железобетонные мосты пролетом до: 10 м 20-25 м		а, б а, б	в, г б, г	д д		
Автомобильные дороги	в, г					
Грузовые автомобили			а	б	в, г	г, д

Примечание: а – полные разрушения, б – сильные разрушения, в – средние разрушения, г – слабые разрушения, д – повреждения.

3.2. Задачи для самостоятельного решения

1. При разрушении резервуара с аммиаком сжиженным охлаждением образовался взрыв облака ГВС. Количество аммиака $Q = 10$ т. Определить давление ударной волны и степень разрушения малоэтажного каменного здания, находящегося на расстоянии $r = 100$ м от центра взрыва.

2. При разрушении резервуара с бутаном (газ) образовался взрыв. Количество бутана $Q = 25$ т. Определить давление ударной волны и степень разрушения электростанции, находящейся на расстоянии $r = 250$ м от центра взрыва.

3. При разрушении резервуара с водородом, сжиженным под давлением, образовался взрыв облака ГВС. Количество водорода $Q = 15$ т. Определить давление ударной волны и степень разрушения водонапорной башни, находящейся на расстоянии $r = 400$ м от центра взрыва.

4. При разрушении резервуара с метаном (газ) образовался взрыв облака ГВС. Количество метана $Q = 30$ т. Определить давление ударной волны и степень разрушения металлического моста пролетом 120 м, находящегося на расстоянии $r = 300$ м от центра взрыва.

5. При разрушении резервуара с ацетиленом, сжиженным охлаждением образовался взрыв облака ГВС. Количество ацетилена $Q = 18$ т. Определить давление ударной волны и степень разрушения воздушных линий электропередач, находящихся на расстоянии $r = 100$ м от центра взрыва.

6. При разрушении резервуара с этиленом, сжиженным под давлением, образовался взрыв облака ГВС. Количество этилена $Q = 50$ т. Определить давление ударной волны и степень разрушения воздушных линий связи, находящихся на расстоянии $r = 300$ м от центра взрыва.

7. При разрушении резервуара с аммиаком, сжиженным под давлением, образовался взрыв облака ГВС. Количество аммиака $Q = 30$ т. Определить давление ударной волны и степень разрушения железнодорожного моста пролетом 10 м, находящегося на расстоянии $r = 230$ м от центра взрыва.

8. При разрушении резервуара с этиленом (газ) образовался взрыв облака ГВС. Количество этилена $Q = 100$ т. Определить давление ударной волны и степень разрушения промышленного здания, находящегося на расстоянии $r = 250$ м от центра взрыва.

9. При разрушении резервуара с ацетиленом, сжиженным под давлением, образовался взрыв облака ГВС. Количество ацетилена $Q = 300$ т. Определить давление ударной волны и степень разрушения автомобильной дороги, находящейся на расстоянии $r = 150$ м от центра взрыва.

10. При разрушении резервуара с бутаном (газ) образовался взрыв облака ГВС. Количество бутана $Q = 140$ т. Определить давление ударной волны и степень разрушения деревянного здания, находящегося на расстоянии $r = 600$ м от центра взрыва.

4. Взрывы газопаровоздушных смесей в производственных помещениях

4.1. Общие сведения

Аварии с взрывом могут произойти на пожаровзрывоопасных объектах. К пожаровзрывоопасным объектам относятся объекты, на территории или в помещениях которых находятся (обращаются) горючие газы, легковоспламеняющиеся жидкости и горючие пыли в таком количестве, что могут образовывать взрывоопасные горючие смеси, при горении которых избыточное давление в помещении может превысить 5 кПа.

Последствия взрыва на пожаровзрывоопасных предприятиях определяются в зависимости от условия размещения взрывоопасных продуктов. Если продукты размещаются вне помещений, то принимается, что авария развивается по сценарию взрыва в открытом пространстве.

Если технологический аппарат с взрывоопасными продуктами размещен в зданиях, то авария развивается по сценарию взрыва в замкнутом объеме.

Кратко рассмотрим модели воздействия, позволяющие определить поля давлений при прогнозировании последствий взрывов в производственных помещениях. Наиболее типичными аварийными ситуациями в этом случае считаются:

- разрушение аппарата или трубопровода со смешанными газами или жидкостями;
- потеря герметичности трубопроводов (разрыв сварного шва, прокладки, отрыв штуцера);
- разлив жидкостей по полу помещения или по рельефу местности;
- образование или выброс горючей пыли.

В этом случае газо-, паро-, пылевоздушная смесь займет частично или полностью весь объем помещения. Затем этот объем заменяется расчетной сферой (в отличие от полусферы в открытом пространстве), радиус которой определяется с учетом объема помещения, типа и массы опасной смеси. При прогнозировании последствий считают, что процесс в помещении развивается в режиме детонации.

При взрыве газопаровоздушных смесей (ГПВС) зону детонационной волны, ограниченную радиусом r_0 , можно определить по формуле

$$r_0 = \frac{1}{24} \sqrt[3]{\mathcal{E}}, \text{ м}, \quad (4.1)$$

где $\frac{1}{24}$ – коэффициент, м/кДж ^{$\frac{1}{3}$} ;

\mathcal{E} – энергия взрыва смеси, определяемая из выражения:

$$\mathcal{E} = V_{\text{ГПВС}} \cdot \rho_{\text{СТХ}} \cdot Q_{\text{СТХ}}, \text{ кДж}, \quad (4.2)$$

где $V_{\text{ГПВС}}$ – объем смеси, равный:

$$V_{ГПВС} = 100 \frac{V_G}{C_3}, \text{ м}^3, \quad (4.3)$$

где V_G – объем газа в помещении, м^3 ;

C – стехиометрическая концентрация горючего по объему, %, (табл. 4.1);

$\rho_{СТХ}$ – плотность смеси стехиометрического состава, $\text{кг}/\text{м}^3$ (табл. 4.1);

$Q_{СТХ}$ – энергия взрывчатого превращения единицы массы смеси стехиометрического состава, $\text{МДж}/\text{кг}$ (табл. 4.1).

Для оперативного прогнозирования последствий взрыва в производственных помещениях расчеты целесообразно проводить для случая, при котором будут максимальные разрушения, т.е. когда свободный объем помещения V_0 , где расположены емкости с газом, будет полностью заполнен взрывоопасной смесью стехиометрического состава.

Свободный объем помещений равен:

$$V_0 = 0,8 \cdot V_n, \text{ м}^3, \quad (4.4)$$

где V_n – объем помещения, м^3 .

При $V_{ГПВС} > V_0$ объем смеси $V_{ГПВС}$ принимают равным V_0 .

Тогда уравнение (4.2) по определению энергии взрыва можно записать в виде:

$$\mathcal{E} = \frac{100 \cdot V_0 \cdot \rho_{СТХ} \cdot Q_{СТХ}}{C}, \text{ кДж}. \quad (4.5)$$

Таблица 4.1

Характеристика газопаровоздушных смесей

Вещество, характеризующее смесь	Формула вещества, образующего смесь	Характеристики смеси			
		m_k , кг/моль	$\rho_{СТХ}$, кг/м ³	$Q_{СТХ}$, МДж/кг	C
Газовоздушные смеси					
Аммиак	CH_3	15	1,180	2,370	19,72
Ацетилен	C_2H_2	26	1,278	3,387	7,75
Бутан	C_4H_{10}	58	1,328	2,775	3,13
Водород	H_2	2	0,933	3,425	29,59
Метан	CH_4	16	1,232	2,763	9,45
Оксид углерода	CO	28	1,280	2,930	29,59
Этилен	C_2H_4	28	1,285	3,810	6,54
Паровоздушные смеси					
Ацетон	$\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$	58	1,210	3,112	4,99
Бензин авиационный	-	94	1,350	2,973	2,10

Бензол	C_6H_6	78	1,350	2,937	2,84
Гексан	C_6H_{14}	86	1,340	2,797	2,16
Ксилол	C_6H_{10}	106	1,355	2,830	1,96
Толуол	C_7H_8	92	1,350	2,843	2,23

Далее принимается, что за пределами зоны детонационной волны с давлением 17 кгс/см^2 действует воздушная ударная волна, давление во фронте которой определяется с использованием данных табл. 3.2 (тема 3) исходя из соотношения

$$\Delta P_{\phi} = f\left(\frac{r}{r_0}\right) \quad (4.6)$$

где r – расстояние от центра взрыва до рассматриваемой точки.

Степень разрушения объектов определяется в зависимости от давления ударной волны по табл. 3.3 (тема 3).

4.2. Задания для самостоятельного решения

1. При разгерметизации технологического блока внутри производственного помещения произошел взрыв аммиака. Объем помещения 2520 м^3 , объем газа в помещении 500 м^3 . Определить давление ударной волны при разрушении ограждающих конструкций и его воздействие на воздушные линии электропередач, находящиеся на расстоянии 70 м от контура помещения.

2. При разгерметизации технологического блока внутри производственного помещения произошел взрыв метана. Объем помещения 15000 м^3 , объем газа в помещении 1100 м^3 . Определить давление ударной волны при разрушении ограждающих конструкций и его воздействие на металлический мост пролетом 120 м , находящийся на расстоянии 50 м от контура помещения.

3. При разгерметизации технологического блока внутри производственного помещения произошел взрыв бензола. Объем помещения 20000 м^3 , объем газа в помещении 450 м^3 . Определить давление ударной волны при разрушении ограждающих конструкций и его воздействие на промышленное здание, находящееся на расстоянии 150 м от контура помещения.

4. При разгерметизации технологического блока внутри производственного помещения произошел взрыв ксилола. Объем помещения 12250 м^3 , объем газа в помещении 200 м^3 . Определить давление ударной волны при разрушении ограждающих конструкций и его воздействие на грузовой автомобиль, находящийся на расстоянии 150 м от контура помещения.

5. При разгерметизации технологического оборудования внутри производственного помещения произошел взрыв бензола. Объем помещения 22340 м^3 , объем газа в помещении 600 м^3 . Определить давление ударной волны при разрушении ограждающих конструкций и его воздействие на наземный трубопровод, находящийся на расстоянии 600 м от контура помещения.

6. При разгерметизации технологического оборудования внутри производственного помещения произошел взрыв бутана. Объем помещения 5730 м^3 , объем газа в помещении 140 м^3 . Определить давление ударной волны при разрушении ограждающих конструкций и его воздействие на деревянное здание, находящееся на расстоянии 80 м от контура помещения.

7. При разгерметизации технологического оборудования внутри производственного помещения произошел взрыв водорода. Объем помещения 15000 м^3 , объем газа в помещении 3000 м^3 . Определить давление ударной волны при разрушении ограждающих конструкций и его воздействие на воздушные линии связи, находящиеся на расстоянии 65 м от контура помещения.

8. При разгерметизации технологического оборудования внутри производственного помещения произошел взрыв гексана. Объем помещения 24700 м^3 , объем газа в помещении 500 м^3 . Определить давление ударной волны при разрушении ограждающих конструкций и его воздействие на железнодорожный мост пролетом 25 м , находящийся на расстоянии 300 м от контура помещения.

9. При разгерметизации технологического оборудования внутри производственного помещения произошел взрыв толуола. Объем помещения 7340 м^3 , объем газа в помещении 150 м^3 . Определить давление ударной волны при разрушении ограждающих конструкций и его воздействие на малоэтажное каменное здание, находящееся на расстоянии 120 м от контура помещения.

10. При разгерметизации технологического оборудования внутри производственного помещения произошел взрыв ацетона. Объем помещения 13700 м^3 , объем газа в помещении 500 м^3 . Определить давление ударной волны при разрушении ограждающих конструкций и его воздействие на водонапорную башню, находящуюся на расстоянии 100 м от контура помещения.

5. Пожарная опасность выхода горючих веществ из поврежденного технологического оборудования

5.1. Общие сведения

При авариях и повреждениях аппаратов из них выходят горючие газы, пары или жидкость, что может привести к образованию взрывопожароопасных смесей, как в производственных помещениях, так и на открытых площадках.

Определяем сечение отверстия в днище аппарата

$$f_{om} = \frac{\pi d_{om}^2}{4}, \text{ м}^2, \quad (5.1)$$

где d_{om} – диаметра отверстия, м.

Массу выходящих наружу веществ при локальных повреждениях аппаратов определяют по формуле

$$m_{л} = \alpha f_{от} \omega \rho_{ж} \tau, \text{ кг}, \quad (5.2)$$

где α – коэффициент расхода, изменяющийся в пределах 0,45-0,85;
 $f_{от}$ – сечение отверстия, через которое вещество выходит наружу, м²;
 ω – скорость истечения вещества из отверстия, м/с;
 $\rho_{ж}$ – плотность вещества, кг/м³ (табл. 5.1);
 τ – длительность истечения, с.

Таблица 5.1

Плотность пожароопасных жидкостей при различных температурах

t, °C	Бензол	Метило- вый спирт	Пропи- ловый спирт	Толуол	Уксус-ная кислота	Ацетон
0	900,1	809,7	819,3	844,9	-	813,0
10	889,5	800,0	803,5	875,6	-	801,9
20	879,0	791,5	787,5	865,8	1049,1	790,5
30	865,5	782,5	778,5	856,9	1039,2	778,8
40	857,6	774,0	770,0	840,4	1028,4	767,4
50	846,6	765,0	760,5	838,2	1017,5	756,4
60	835,7	755,5	752,0	829,2	1006,0	744,6
70	823,4	746,0	746,5	819,7	994,8	732,6
80	814,5	735,5	742,5	810,4	983,3	720,6
90	804,1	725,0	732,5	800,6	971,8	-
100	792,7	714,0	722,0	791,1	959,9	-

Скорость истечения жидкости через отверстие в трубопроводе или корпусе аппарата при постоянном давлении вычисляют по формуле

$$\omega = \sqrt{2g \cdot H_{np}}, \text{ м/с}, \quad (5.3)$$

где g – ускорение силы тяжести, 9,81 м/с²;

H_{np} – приведенный напор, под действием которого происходит истечение жидкости через отверстие, м.

При истечении самотеком $H_{np} = H$ (H – высота столба жидкости, м).

При работе аппарата под давлением

$$H_{np} = \frac{P_{пл}}{\rho_{ж} \cdot g} + H, \text{ м}, \quad (5.4)$$

где $P_{пл}$ – избыточное давление среды в аппарате над поверхностью жидкости, Па, определяется:

$$P_{пл} = P_p - 1 \cdot 10^5, \text{ Па}, \quad (5.5)$$

где P_p – абсолютное рабочее давление среды в аппарате, Па.

5.2. Задачи для самостоятельного решения

1. Определить количество выходящего наружу бензола при локальном повреждении днища аппарата (авария локализована через 600 с). Диаметр отверстия в днище 4 мм, рабочее давление в аппарате 0,25 МПа, температура жидкости 30°C, высота столба жидкости в аппарате 5 м, коэффициент расхода принять равным 0,6.

2. Определить количество выходящего наружу метилового спирта при локальном повреждении днища аппарата (авария локализована через 1200 с). Диаметр отверстия в днище 7 мм, рабочее давление в аппарате 0,3 МПа, температура жидкости 40°C, высота столба жидкости в аппарате 5 м, коэффициент расхода принять равным 0,65.

3. Определить количество выходящего наружу толуола при локальном повреждении днища аппарата (авария локализована через 600 с). Диаметр отверстия в днище 3,6 мм, рабочее давление в аппарате 0,55 МПа, температура жидкости 30°C, высота столба жидкости в аппарате 3 м, коэффициент расхода принять равным 0,5.

4. Определить количество выходящего наружу ацетона при локальном повреждении днища аппарата (авария локализована через 1500 с). Диаметр отверстия в днище 2 мм, рабочее давление в аппарате 0,1 МПа, температура жидкости 20°C, высота столба жидкости в аппарате 5 м, коэффициент расхода принять равным 0,75.

5. Определить количество выходящего наружу бензола при локальном повреждении днища аппарата (авария локализована через 480 с). Диаметр отверстия в днище 3,5 мм, рабочее давление в аппарате 0,25 МПа, температура жидкости 20°C, высота столба жидкости в аппарате 2 м, коэффициент расхода принять равным 0,7.

6. Определить количество выходящего наружу пропилового спирта при локальном повреждении днища аппарата (авария локализована через 600 с). Диаметр отверстия в днище 4 мм, рабочее давление в аппарате 0,15 МПа, температура жидкости 40°C, высота столба жидкости в аппарате 4 м, коэффициент расхода принять равным 0,85.

7. Определить количество выходящей наружу уксусной кислоты при локальном повреждении днища аппарата (авария локализована через 1300 с). Диаметр отверстия в днище 6 мм, рабочее давление в аппарате 0,3 МПа, температура жидкости 20°C, высота столба жидкости в аппарате 5 м, коэффициент расхода принять равным 0,8.

8. Определить количество выходящего наружу толуола при локальном повреждении днища аппарата (авария локализована через 500 с). Диаметр отверстия в днище 7,5 мм, рабочее давление в аппарате 0,35 МПа, температура жидкости 10°C, высота столба жидкости в аппарате 5 м, коэффициент расхода принять равным 0,75.

9. Определить количество выходящего наружу ацетона при локальном повреждении днища аппарата (авария локализована через 700 с). Диаметр отверстия в днище 4 мм, рабочее давление в аппарате 0,2 МПа, температура жидкости 40°C, высота столба жидкости в аппарате 2 м, коэффициент расхода принять равным 0,55.

10. Определить количество выходящего наружу метилового спирта при локальном повреждении днища аппарата (авария локализована через 500 с). Диаметр отверстия в днище 5 мм, рабочее давление в аппарате 0,1 МПа, температура жидкости 20°C, высота столба жидкости в аппарате 2 м, коэффициент расхода принять равным 0,75.

6. Оценка пожаровзрывоопасности среды внутри технологического оборудования

6.1. Общие сведения

Условия образования горючих (взрывоопасных) концентраций внутри производственных аппаратов зависят от пожаровзрывоопасных свойств и агрегатного состояния веществ, образующихся в технологическом процессе, конструктивных особенностей и режимов работы оборудования.

Внутри аппаратов с горючими газами или перегретыми парами взрывоопасные концентрации образуются в том случае, если в них попадает воздух или по условиям ведения технологического процесса подаётся окислитель (кислород, воздух, хлор и др.) при выполнении соотношения

$$\varphi_n < \varphi_p < \varphi_v, \quad (6.1)$$

где φ_p – действительная (рабочая) концентрация горючего вещества, об. доли;

φ_n – нижний концентрационный предел распространения пламени при рабочей температуре (это объёмная (массовая) доля горючего в смеси с окислительной средой, ниже которой смесь становится не способной к распространённому пламени), об. доли (% об. или кг/м³);

φ_v – верхний концентрационный предел распространения пламени (объёмная (массовая) доля горючего в смеси с окислительной средой, выше которой смесь становится не способной к распространению пламени, об. доли (% об. или кг/м³).

Значение φ_n и φ_v , приведённые к 25°C, даны в табл. 6.1.

Таблица 6.1

Значения нижнего и верхнего концентрационных пределов, об. доли

Вещества	Концентрационный предел, объёмные доли	
	нижний	верхний
Аммиак	0,15	0,28
Ацетилен	0,025	0,81
Ацетон	0,027	0,13
Водород	0,0412	0,75
Оксид углерода	0,125	0,74
Этилен	0,027	0,34
Дизельное топливо	0,005	0,062

По табл. 6.1 находим область распространения пламени горючего вещества ($\varphi_n - \varphi_v$).

Определить значение величин φ_n и φ_v при температуре среды, отличной от 25°, можно по формулам

$$\varphi_n = \varphi_{n25} \left(1 - \frac{t_p - 25}{1250} \right), \quad (6.2)$$

$$\varphi_v = \varphi_{v25} \left(1 + \frac{t_p - 25}{1250} \right), \quad (6.3)$$

где t_p – температура среды.

Рабочую концентрацию горючего газа в смеси с окислителем можно определить:

$$\varphi_p = \frac{G_\Gamma}{G_\Gamma + G_{OK}}, \quad (6.4)$$

где G_Γ , G_{OK} – объёмные расходы горючего газа и окислителя, м³/с.

По условию 6.1 определить возможность образования взрывоопасной концентрации внутри производственного аппарата.

6.2. Задачи для самостоятельного решения

1. По условиям технологического процесса в смеситель поступают: аммиак в объеме 450 м³/ч и окислитель (кислород) – 1200 м³/ч. Температура газозвушной смеси 400 °С. Дать заключение о возможности образования взрывоопасной концентрации внутри смесителя.

2. По условиям технологического процесса в смеситель поступают: ацетилен в объеме 200 м³/ч и окислитель (кислород) – 1000 м³/ч. Температура

газовоздушной смеси 140 °С. Дать заключение о возможности образования взрывоопасной концентрации внутри смесителя.

3. По условиям технологического процесса в смеситель поступают: ацетон в объеме 300 м³/ч и окислитель (кислород) – 5000 м³/ч. Температура газовоздушной смеси 250 °С. Дать заключение о возможности образования взрывоопасной концентрации внутри смесителя.

4. По условиям технологического процесса в смеситель поступают: водород в объеме 80 м³/ч и окислитель (кислород) – 2200 м³/ч. Температура газовоздушной смеси 350 °С. Дать заключение о возможности образования взрывоопасной концентрации внутри смесителя.

5. По условиям технологического процесса в смеситель поступают: оксид углерода в объеме 550 м³/ч и окислитель (кислород) – 4000 м³/ч. Температура газовоздушной смеси 500 °С. Дать заключение о возможности образования взрывоопасной концентрации внутри смесителя.

6. По условиям технологического процесса в смеситель поступают: этилен в объеме 150 м³/ч и окислитель (кислород) – 1200 м³/ч. Температура газовоздушной смеси 250 °С. Дать заключение о возможности образования взрывоопасной концентрации внутри смесителя.

7. По условиям технологического процесса в смеситель поступают: дизельное топливо в объеме 100 м³/ч и окислитель (кислород) – 1200 м³/ч. Температура газовоздушной смеси 150 °С. Дать заключение о возможности образования взрывоопасной концентрации внутри смесителя.

8. По условиям технологического процесса в смеситель поступают: аммиак в объеме 120 м³/ч и окислитель (кислород) – 1000 м³/ч. Температура газовоздушной смеси 300 °С. Дать заключение о возможности образования взрывоопасной концентрации внутри смесителя.

9. По условиям технологического процесса в смеситель поступают: ацетон в объеме 90 м³/ч и окислитель (кислород) – 3500 м³/ч. Температура газовоздушной смеси 180 °С. Дать заключение о возможности образования взрывоопасной концентрации внутри смесителя.

10. По условиям технологического процесса в смеситель поступают: водород в объеме 200 м³/ч и окислитель (кислород) – 2700 м³/ч. Температура газовоздушной смеси 400 °С. Дать заключение о возможности образования взрывоопасной концентрации внутри смесителя.

Библиографический список рекомендуемой литературы

1. Колотушкин, В.В. Промышленная экология: учеб.-метод. пособие/ В.В. Колотушкин, Э.В. Соловьева; ВГАСУ. - Воронеж, 2008. - 73 с.
2. Соловьева, Э.В. Экология: практикум к выполнению лабораторных и практических заданий / Э.В. Соловьева, В.В. Колотушкин; ВГАСУ. - Воронеж, 2011. – 104 с.
3. Пожарная безопасность организаций нефтехимического комплекса: справочник. Ч.1; под ред. С.В. Собуря. – Москва: Пожарная книга, 2011. – 263 с.

Составители: Соловьева Эльвира Владимировна,
Переславцева Инна Игоревна

Подписано в печать . 2015. Формат 60x84 1/16. Уч.-изд. л. . Усл.-печ. л. .
Бумага писчая. Тираж 60 экз. Заказ №

Отпечатано: отдел оперативной полиграфии издательства учебной литературы
и учебно-методических пособий Воронежского ГАСУ
394006 Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84