



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
УПРАВЛЕНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ
КВАЛИФИКАЦИИ

Кафедра «Безопасность технологических процессов и
производств»

Практикум по дисциплине

«Травмобезопасность в газовом хозяйстве и сосудов под давлением»

для подготовки бакалавров по направлению
20.03.01 «Техносферная безопасность»
всех форм обучения

Автор
Стасева Е.В.

Ростов-на-Дону, 2018

Аннотация

УДК 69.05:658.382 (076.5)

Практикум по дисциплине «Травмобезопасность в газовом хозяйстве и сосудов под давлением» для подготовки бакалавров направления 20.03.01 «Техносферная безопасность», всех форм обучения.

Устанавливают состав, последовательность и объем выполнения практических работ. Предназначены для студентов профиля «Безопасность технологических процессов и производств».

Утверждено на методическом семинаре кафедры «Безопасность технологических процессов и производств» 11 января 2018 г., протокол №4/2017-2018

Автор

к.т.н., доцент кафедры «БТПиП»
Стасева Е.В.





Оглавление

Практическая работа №1 Тема: «Определение давления и мощности взрыва воздухохборника компрессора»	4
Практическая работа № 2 Тема: «Определение верхнего и нижнего пределов воспламенения природного газа».....	8
Практическая работа №3 Тема: «Определение охлаждающей поверхности трубчатого теплообменника компрессорной установки»	12
Практическая работа № 4 Тема: «Определение времени испарения горючего вещества и образования взрывоопасной концентрации паров»	15
Практическая работа №5 Тема: «Расчет приземной концентрации пыли. Санитарно-гигиеническая оценка качества воздушной среды»	18
Практическая работа №6 Тема: «Оценка качества воздушной среды в рабочей зоне	21
Практическая работа №7 Тема: «Определение вероятности несчастного случая»	23
Практическая работа №8 Тема: «Определение аналитического тренда и прогноза травматизма на производстве»	26
Литература.....	28

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №1

ТЕМА: «ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ И МОЩНОСТИ ВЗРЫВА ВОЗДУХОСБОРНИКА КОМПРЕССОРА»

Основной опасностью для сосудов воздушно-компрессорных установок и воздухопроводов является образование взрывоопасных смесей паров масла и воздуха, а также образование на внутренней, поверхности воздухопроводов окисной пленки масла.

Если концентрация паров масла в среде сжатого воздуха достигает 6—11 %, эта смесь может взорваться при температуре около 200°C и даже при более низкой температуре, когда применяется низкокачественное компрессорное масло.

Если в воздухопроводах образуются перекисные соединения, взрыв может произойти при температуре примерно + 60°C, а также от удара и сотрясения.

Расследования аварий с сосудами воздушно-компрессорных установок показали, что правила о компрессорных установках на тех предприятиях, где происходили аварии, не выполнялись, а именно:

а) смазка цилиндров компрессоров производилась маслом с низкой температурой вспышки (190°C и ниже вместо нормальной +240°C), а в отдельных случаях даже непроверенным маслом, несмотря на прямое указание правил о необходимости перед применением компрессорного масла проверять его в лаборатории и предохранять от загрязнений;

б) продувка от масла воздухосборников и маслоотделителей производилась нерегулярно, хотя правила обязывали производить продувку всех сосудов компрессорных установок каждую смену;

в) из-за отсутствия обводных линий и по производственным условиям воздухосборники не останавливались и не очищались периодически от масла, что должно производиться не реже одного раза в полгода; также не прочищались от масляных наслоений воздухопроводы и не производилась промывка воздухопроводов, расположенных между компрессорами и ресиверами, что также должно производиться не реже одного раза в 6 месяцев;

г) в некоторых случаях температура сжатого воздуха вследствие недостаточного охлаждения в одноступенчатых компрессорах превышала 160°C и в многоступенчатых +140°C. Таким образом, температура сжатого воздуха в воздухопроводе мало отличалась от температуры вспышки масла, хотя, согласно правилам, эта разница должна быть не меньше 75 °C;

д) воспламенению смеси паров масла с воздухом в компрессорных установках иногда способствовала неисправность фильтров, пропускавших с воздухом пыль и ржавчину из труб подсоса воздуха в компрессор.

Задание. Определить опасное давление и мощность взрыва воздухохорборника компрессора. Сделать заключение о возможных причинах взрыва. Исходные данные принимаем по табл. 1.1.

Дано (вариант 1): Объем воздухохорборника $0,9 \text{ м}^3$, изготовлен из бесшовной трубы с внутренним диаметром $D_B = 0,3 \text{ м}$ и толщиной стенки $\delta_c = 3 \text{ мм}$. Известно, что компрессор создает давление $P_K = 0,8 \text{ МПа}$, смазывается компрессорным маслом М12 с температурой вспышки $T_B = 489 \text{ К}$. При осмотре воздухохорборника установлено, что взрыв произошел не из-за ослабления элементов конструкции.

При расчетах для всех вариантов принять: время взрыва $t_{B3} = 0,1 \text{ с}$; материал воздухохорборника Ст20; $\sigma_{доп} = 400 \text{ МПа}$; температура наружного воздуха 293 К .

Решение

1. Определяем предельно допустимое давление для бака воздухохорборника:

$$P_{доп} = \frac{2\sigma_{доп}\varphi\delta}{D_B} = \frac{2 \cdot 400 \cdot 10^6 \cdot 0,003}{0,3} = 8 \cdot 10^6 \text{ Па} = 8,0 \text{ МПа}, \quad (1.1)$$

приняв минимальное давление взрыва $P_{B3} = 1,25P_{доп}$, получим $P_{B3} = 8 \cdot 1,25 = 10 \text{ МПа}$.

2. Рассчитываем мощность взрыва, приняв, что вся энергия расходуется на работу взрыва

$$N_{B3} = \frac{A_{B3}}{t_{B3}}, \quad (1.2)$$

где

$$A_{B3} = \frac{m}{m-1} P_{B3} \cdot V \left[1 - \left(\frac{P_0}{P_{B3}} \right)^{\frac{m-1}{m}} \right], \quad (1.3)$$

$$A_{вз} = \frac{1,41}{1,41-1} \cdot 10 \cdot 10^6 \cdot 0,9 \left[1 - \left(\frac{0,1 \cdot 10^6}{10 \cdot 10^6} \right)^{\frac{1,41-1}{1,41}} \right] = 23,133 \cdot 10^6 \quad \text{Дж; (1.4)}$$

$$N_{вз} = \frac{A_{вз}}{t_{вз}} = \frac{23,133 \cdot 10^6}{0,1} = 23,133 \cdot 10^6 \text{ Вт} = 231330 \text{ кВт,}$$

где $A_{вз}$ – энергия сжатого газа, Дж; t – время взрыва, с; m – показатель адиабаты, для воздуха $m = 1,41$; $P_{вз}$ – давление взрыва, МПа; V – объем воздухохоборника, м³; P_0 – атмосферное давление, 0,1013 МПа \approx 0,1 МПа.

Возможными причинами взрыва могут быть:

- завышение предельно допустимого давления в сосуде от источника питания.

В нашем случае данное предположение не может служить причиной аварии, так как рассчитано, что $P_{доп} = 8,0$ МПа, а источник питания создает давление всего 0,8 МПа, т.е. в 10 раз меньше допустимого;

- повышение давления за счет воспламенения масловоздушной смеси, вызванного повышением температуры среды, в связи с неисправностью системы охлаждения компрессора. Для проверки данного предложения нужно определить температуру воздуха после сжатия в компрессоре

$$T = T_0 \left(\frac{P_{к}}{P_0} \right)^{\frac{m-1}{m}} = 293 \left(\frac{0,8 \cdot 10^6}{0,1 \cdot 10^6} \right)^{\frac{1,41-1}{1,41}} = 535 \quad \text{К.}$$

$T = 535$ К, что больше температуры вспышки масла $T_b = 489$ К.

Ответ: Давление взрыва 10 МПа, мощность – 231330 кВт. Наиболее вероятной причиной взрыва воздухохоборника является отказ системы охлаждения компрессора и повышение температуры среды воздухохоборника свыше T_b масловоздушной смеси.

Таблица 1.1

Исходные данные

Исходные данные	№ варианта														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Рабочее давление воздухоборника, МПа	0,8	0,5	0,6	0,7	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9
Объем воздухоборника, м ³	0,9	4,5	3,9	3,8	3,5	3,2	3,1	2,9	2,8	2,5	2,6	2,1	1,9	1,2	1,2
Исходные данные	Варианты														
	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Рабочее давление воздухоборника, МПа	2	2	0,9	0,5	1	1,2	0,8	2	1	0,6	0,5	0,7	0,8	2	1
Объем воздухоборника, м ³	0,6	0,5	0,9	0,8	1,3	1,4	1,5	4,1	3,5	3	2	2,6	2,7	2,2	3,3

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 2

ТЕМА: «ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕРХНЕГО И НИЖНЕГО ПРЕДЕЛОВ ВОСПЛАМЕНЕНИЯ ПРИРОДНОГО ГАЗА»

Процесс горения (сжигания) газов начинается лишь тогда, когда газозвудушная смесь будет подоожжена, т. е. нагрета до определенной температуры, которую называют температурой воспламенения. Температура воспламенения зависит от соотношения объемов газа и воздуха в смеси, степени их перемешивания, давления смеси, способа и места зажигания и других факторов (например, способа истечения смеси, формы, размера и объема топочного пространства, занимаемого газозвудушной смесью).

Процесс горения продолжается только до тех пор, пока количества тепла, выделяющегося при горении, будет достаточно, чтобы постоянно воспламенять поступающую к месту горения газозвудушную смесь. Минимальные и максимальные количества газа в газозвудушной смеси, при которых процесс горения идет непрерывно, называют соответственно нижним или верхним пределом воспламенения данного газа в смеси с воздухом.

Взрывом газозвудушной смеси называют явление мгновенного сгорания всего объема смеси, которое происходит при внесении в такую смесь, находящуюся в каком-либо более или менее замкнутом объеме (помещении и т. д.), источника огня или высоконагретого тела.

С точки зрения химической сущности явление взрыва не отличается от процесса горения, и расчет его ведется по тем же уравнениям, что и для реакции горения. Пределы воспламенения смесей газов, не имеющих балластных примесей или содержащих их в минимальном количестве, определяют (приблизительно) по следующей формуле:

$$\Pi = \frac{v_1 + v_2 + v_3 + \Lambda + v_n}{\frac{v_1}{l_1} + \frac{v_2}{l_2} + \frac{v_3}{l_3} + \Lambda + \frac{v_n}{l_n}}, \quad (2.1)$$

где Π – содержание газа в смеси с воздухом, дающее верхний или нижний предел воспламеняемости (взрываемости) или обеспечивающее максимальную скорость распространения пламени газовой

смеси; $v_1, v_2, v_3, \dots, v_n$ – объемное содержание компонентов газовой смеси, %; $l_1, l_2, l_3, \dots, l_n$ – значения нижних или верхних пределов взрываемости (воспламеняемости) соответствующих компонентов газовой смеси, принимаемые по табл. 2.1.

Задание. Определить верхний и нижний пределы воспламенения природного газа. Исходные данные принимаем по табл. 2.2.

Дано (вариант 1): Состав газа (%): метан CH_4 – 51; этилен C_2H_4 – 23; пропан C_3H_8 – 7; бутан C_4H_{10} – 4; пентан C_5H_{12} – 8; ацетилен C_2H_2 – 2; сероводород H_2S – 1,5; водород H_2 – 3,5.

Решение

1. Рассчитываем верхний предел воспламенения

$$\begin{aligned}
 P_B &= \frac{100}{\frac{\text{CH}_4}{l_1^B} + \frac{\text{C}_2\text{H}_4}{l_2^B} + \frac{\text{C}_3\text{H}_8}{l_3^B} + \frac{\text{C}_4\text{H}_{10}}{l_4^B} + \frac{\text{C}_5\text{H}_{12}}{l_5^B} + \frac{\text{C}_2\text{H}_2}{l_6^B} + \frac{\text{H}_2\text{S}}{l_7^B} + \frac{\text{H}_2}{l_8^B}} = \\
 &= \frac{100}{\frac{51}{15} + \frac{23}{30} + \frac{7}{9,5} + \frac{4}{8,5} + \frac{8}{7,8} + \frac{2}{82} + \frac{1,5}{45,5} + \frac{3,5}{75}} = \frac{100}{6,5036} = 15,37\%.
 \end{aligned}$$

Таблица 2.1
Температуры воспламенения и пределы некоторых горючих газов

Наименование газа	Химическая формула	Температура воспламенения	Пределы взрываемости при 20 °С и давлении 760 мм рт. ст.	
			нижний	верхний
Ацетилен	C_2H_2	305 – 500	2,3	82
Бутан	C_4H_{10}	430 – 569	1,9	8,5
Водород	H_2	510 – 590	4,2	75
Метан	CH_4	537 – 850	5,3	15
Оксид углерода	CO	610 – 658	12,5	75
Пропан	C_3H_8	466 – 588	2,1	9,5
Сероводород	H_2S	290 – 487	4,3	45,5
Пентан	C_5H_{12}	530 – 610	1,4	7,8
Этан	C_2H_6	510 – 594	3	14
Этилен	C_2H_4	450 – 550	3	30

2. Рассчитываем нижний предел воспламенения

$$\begin{aligned}
 P_H &= \frac{100}{\frac{C_1H_4}{l_1^H} + \frac{C_2H_4}{l_2^H} + \frac{C_3H_8}{l_3^H} + \frac{C_4H_{10}}{l_4^H} + \frac{C_5H_{12}}{l_5^H} + \frac{C_2H_2}{l_6^H} + \frac{H_2S}{l_7^H} + \frac{H_2}{l_8^H}} = \\
 &= \frac{100}{\frac{51}{5,3} + \frac{23}{3} + \frac{7}{2,1} + \frac{4}{1,9} + \frac{8}{1,4} + \frac{2}{2,3} + \frac{1,5}{4,3} + \frac{3,5}{4}} = \frac{100}{30,5345} = 3,274 \%.
 \end{aligned}$$

Ответ: $P_B = 3,274 \%$, $P_B = 15,37 \%$.

Таблица 2.2

Исходные данные для расчета верхнего и нижнего пределов воспламенения природного газа без примеси инертного газа

№ варианта	Состав газа, % по объему							
	CH ₄	C ₂ H ₄	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	C ₅ H ₁₂	C ₂ H ₂	H ₂ S	H ₂
1	51	23	7	4	8	2	1,5	3,5
2	64	6	6	10	5,5	1,2	4,5	2,8
3	67,7	10,33	5,12	3,0	2,01	6,1	3,04	2,7
4	78,5	2	3,4	4,34	2,35	6,5	0,91	2
5	65	17,5	5	4	3	2,5	1,2	1,8
6	85	4,9	1,6	0,75	0,55	0,6	1,3	5
7	72,8	7,8	3,9	1,8	6,4	2,0	1,0	4,3
8	76	5,45	2,25	1,3	3,0	2,1	8,3	1,6
9	70	8,5	3,6	2,4	1,3	2,1	10,8	1,3
10	45	21	7,0	6,0	4,0	11	4,0	2
11	60	13	11	1	1,2	6	1,8	6
12	90	3,6	0,95	0,25	0,31	0,4	3,19	1,3
13	79,4	6	2	1,7	1,4	1	5	3,5
14	89,59	2,42	0,70	0,27	1,16	1,68	0,25	3,93
15	80,23	2,64	1,15	0,74	0,71	0,73	3,0	10,8
16	83,1	2	2,4	3,2	0,3	1	3,0	4
17	85,2	5	3,6	1	0,1	0,3	0,3	4,5
18	85	3,98	1,34	1,75	0,23	1,73	1,2	4,77
19	78,97	4,53	2,34	1,02	0,27	1,02	2,01	9,84
20	94,5	0,2	0,15	0,812	1	0,5	2,138	0,7
21	87,5	3,1	0,91	2,3	3,2	0,3	0,74	1,95
22	81,6	6,5	3	1,9	1,4	4	0,1	1,5
23	40	15,5	18	7,5	4,9	0,1	4,0	10
24	39,5	10	18,5	7,7	4,2	0,1	10	10
25	37,5	16,2	16,8	6,8	3,8	0,1	2,0	16,8
26	75,5	6	6,5	4,8	3,6	0,2	3,0	0,4
27	69,2	5,9	10	5	5	0,7	4,1	0,1
28	83	3	5,3	2,3	1,8	2,5	2,0	0,1
29	80	6	3	1	0,2	0,1	2,7	7
30	65	10	2	3	10	5	4	1

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №3

ТЕМА: «ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОХЛАЖДАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ТРУБЧАТОГО ТЕПЛОБМЕННИКА КОМПРЕССОРНОЙ УСТАНОВКИ»

Задание. Определить безопасную длину труб теплообменника компрессорной установки.

Дано (вариант 1). Производительность $M_k = 10 \text{ м}^3/\text{мин}$, давление $P_2 = 0,5 \text{ МПа}$, охлаждающий теплоноситель – вода ($T_n = 283 \text{ К}$, $T_k = 298 \text{ К}$); наружный диаметр труб теплообменника $D_n = 18 \text{ мм}$, толщина стенки $\delta = 0,5 \text{ мм}$, температура воздуха после сжатия $T_1 = 493 \text{ К}$, температура воздуха после охлаждения $T_2 = 303 \text{ К}$, теплоемкость воды $C_b = 4,2 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$, теплоемкость воздуха $C_{вз} = 1,01 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$, коэффициент теплопроводности стали $\lambda = 50,1 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$, коэффициенты теплопередачи на внутренней и наружной поверхности $\alpha_2 = 740 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$, $\alpha_1 = 1160 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$; плотность воздуха $\rho = 1,293 \text{ кг} / \text{м}^3$.

Решение.

1. Определим массу охлаждаемого воздуха за 1 с:

$$G_{вз} = \rho \frac{NP_2}{P_1} = 1,293 \frac{10 \cdot 0,5 \cdot 10^6}{0,1 \cdot 10^6 \cdot 60} = 1,08 \text{ кг.} \quad (3.1)$$

2. Рассчитываем количество избыточной теплоты:

$$Q = G_{вз} C_{cp} (T_1 - T_2) = 1,08 \cdot 1,01 (493 - 303) = 207,25 \text{ кДж.} \quad (3.2)$$

3. Находим охлаждаемую длину труб теплообменника:

$$l = \frac{Q}{K' \cdot \Delta t_{cp}} \quad (3.3)$$

3.1. Определяем средний тепловой напор теплообменника:

$$\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_6 - \Delta t_M}{2,31g \frac{\Delta t_6}{\Delta t_M}}, \quad (3.4)$$

$$\Delta t_6 = T_1 - T_n = 493 - 283 = 210 \text{ К,} \quad (3.5)$$

$$\Delta t_{\text{м}} = T_2 - T_{\text{к}} = 303 - 298 = 5 \text{ К}, \quad (3.6)$$

$$\Delta t_{\text{ср}} = \frac{210 - 5}{2,31 \lg \frac{210}{5}} = 54,91 \text{ К}. \quad (3.7)$$

3.2. Вычисляем внутренний диаметр трубы теплообменника:

$$D_{\text{в}} = D_{\text{н}} - 2\delta = 18 - 2 \cdot 0,5 = 17 \text{ мм}. \quad (3.8)$$

3.3. Рассчитываем коэффициент теплопередачи трубы (длиной 1 м):

$$K' = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} \frac{D_{\text{н}}}{D_{\text{в}}} + \frac{D_{\text{н}}}{2\lambda} \ln \frac{D_{\text{н}}}{D_{\text{в}}} + \frac{1}{\alpha_2} + R_3}$$

$$= \frac{1}{\frac{1}{1160} \frac{0,018}{0,017} + \frac{0,018}{2 \cdot 50,1} \ln \frac{0,018}{0,017} + 13,51 \cdot 10^{-4}} = 290,98 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}. \quad (3.9)$$

4. Находим охлаждаемую длину труб теплообменника

$$l = \frac{Q}{K \cdot \Delta t_{\text{ср}}} = \frac{207,25 \cdot 10^3}{290,98 \cdot 54,91} = 12,94 \text{ м}. \quad (3.10)$$

Ответ. Для безопасной работы компрессора необходим теплообменник длиной 25 м.

Примечание. При решении задания принять одинаковыми для всех вариантов следующие значения параметров: в качестве охлаждающего теплоносителя используется вода с начальной температурой $T_{\text{н}}=283 \text{ К}$ и конечной $T_{\text{к}}=298 \text{ К}$; средняя удельная теплоемкость воды $C_{\text{сп}}=4,2 \text{ кДж/кгК}$; теплоемкость воздуха $C_{\text{вз}}=1,01 \text{ кДж/кгК}$; температура воздуха после охлаждения $T_2=303 \text{ К}$; температура всасываемого воздуха $T_0=293\text{К}$; коэффициент теплопередачи внутренней и наружной поверхности $\alpha_1=1160 \text{ Вт/м}^2\text{К}$; $\alpha_2=440 \text{ Вт/м}^2\text{К}$; коэффициент теплопередачи стали $\lambda=50,1 \text{ Вт/мК}$; термическое сопротивление от загрязнения для новых труб $R_3=0$, $R_1=0,1 \cdot 10^6 \cdot 60 \text{ Па}$.

Исходные данные к решению практической работы № 3 представлены в табл. 3.1.

Таблица 3.1

 Исходные данные к решению практической работы № 3
 (по вариантам)

Исходные данные	Варианты														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Производительность компрессора, м ³ /мин	10	3	4	5	6	7	8	9	10	12	13	15	19	20	25
Давление компрессора, МПа	0,5	1,5	1,6	1,6	1,1	1,1	0,5	0,5	0,6	1	1	1	0,6	0,7	1,3
Температура воздуха после сжатия, К	493	620	621	650	580	573	493	493	623	573	570	580	600	600	588
Наружный диаметр труб теплообменника, мм	18	15	15	16	18	18	20	20	20	25	25	30	30	16	16
Толщина стенки трубы, мм	0,5	0,5	0,5	0,6	0,65	0,65	0,8	1	1	1,3	1,3	2	1,6	0,9	1
Исходные данные	Варианты														
	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Производительность компрессора, м ³ /мин	30	22	11	14	16	28	29	21	17	18	23	24	26	27	31
Давление компрессора, МПа	1,3	1,5	1	1,2	1,2	0,6	0,4	0,8	0,8	0,7	1	1,6	1,3	1,3	1,2
Температура воздуха после сжатия, К	610	595	490	480	480	615	605	605	621	630	625	630	628	565	595
Наружный диаметр труб теплообменника, мм	18	18	20	20	25	25	30	30	32	32	22	24	22	14	12
Толщина стенки трубы, мм	0,7	0,7	0,9	1	1,1	1,1	1,6	1,6	1,8	1,8	0,95	0,85	1,25	0,55	0,45

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 4

ТЕМА: «ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ ИСПАРЕНИЯ ГОРЮЧЕГО ВЕЩЕСТВА И ОБРАЗОВАНИЯ ВЗРЫВООПАСНОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ ПАРОВ»

При соответствующих условиях некоторые горючие вещества могут образовывать с воздухом взрывоопасные смеси, которые при контакте с источником воспламенения могут сгорать с большой скоростью со взрывом.

Исходные данные. На бетонном полу разлито 2 л ($2 \cdot 0,73 = 1,46$ кг) бензина; при этом образовалась лужа диаметром 2 м (площадь 3,14 м²). Температура в помещении $t = 20^\circ \text{C}$, атмосферное давление 760 мм рт. ст. Определить время, требующееся для испарения бензина и образования взрывоопасной концентрации его паров.

Решение: Определим интенсивность испарения бензина m , г/сек по формуле:

$$m = 4rD_t \frac{M}{V_t} \cdot \frac{P_{\text{нас}}}{B} \quad (4.1)$$

где r — радиус поверхности испарения жидкости в см; $r = 100$ см;
 M — молекулярный вес бензина; $M = 90$;

D_t — коэффициент диффузий паров бензина в см/сек;

V_t — объем грамм-молекулы паров бензина при $t = 20^\circ \text{C}$ в л;

$P_{\text{нас}}$ — давление насыщенного пара бензина в мм рт. ст. (табл. 4.1);

Таблица 4.1

Жидкость	Давление насыщенного пара жидкостей в мм рт. ст. при температуре в °C								
	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50
Ацетон	11,2	-	38,7	63,33	110,32	184	280	419,3	608,81
Бензол	3,59	7,43	14,63	26,6	44,75	74,8	118,4	181,5	268,7
Автомобильный бензин	-	-	-	60	84	108	144	197	276
Метиловый спирт	-	6,27	13,47	28,82	50,18	88,67	150	143,5	381,7

Травмобезопасность в газовом хозяйстве и сосудов под давлением

по табл. 4.1 при $t=20^{\circ}\text{C}$ $P_{нас} = 108 \text{ мм рт. ст.}$;

B — атмосферное давление в мм рт. ст.

Коэффициент диффузии паров бензина при определенной температуре:

$$D_t = D_0 \frac{T+t}{T}, \quad (4.2)$$

где T — температура в $^{\circ}\text{K}$ (273°K),

D_0 — коэффициент диффузии паров бензина при 0° и давлении 760 мм рт. ст. , определяемый по формуле:

$$D_0 = \frac{0.8}{\sqrt{M}}, \quad (4.3)$$

$$D_0 = \frac{0.8}{\sqrt{M}} = \frac{0.8}{\sqrt{90}} = 0.084 \text{ см}^2/\text{сек}$$

Определим коэффициент диффузии при температуре $t=20^{\circ}\text{C}$:

$$D_t = 0.084 \frac{273+20}{273} = 0.09 \text{ см}^2/\text{сек}$$

Объем грамм-молекулы бензина при температуре T , определяется по формуле:

$$V_t = \frac{V_0(t+T)}{T}, \quad (4.4)$$

где $V_0=22,4 \text{ л}$ — объем грамм-молекулы паров бензина при температуре 0° и давлении 760 мм рт. ст.

$$V_t = \frac{22.4(20+273)}{273} = 24.05 \text{ л} = 24050 \text{ см}^3$$

Тогда,

Подставляя полученные значения в формулу, получим



$$m = 4 \cdot 100 \cdot 0,09 \frac{90 \cdot 108}{24050 \cdot 760} = 0,0191 \text{ г/сек}$$

Определим продолжительность испарения 2 л бензина, по формуле:

$$\tau = \frac{1000 \cdot V \cdot \rho}{m \cdot 3600}, \quad (4.5)$$

где $\rho = 0,73$ — плотность бензина.

$$\tau = \frac{1000 \cdot 2 \cdot 0,73}{0,0191 \cdot 3600} = 21,2 \text{ ч}$$

Тогда,

Нижний предел взрываемости паров бензина по объему $K_{об} = 0,76\%$, что соответствует следующей весовой концентрации при $t = 20^\circ\text{C}$:

$$K_{вес} = \frac{K_{об} \cdot M \cdot 10}{V_i} = \frac{0,76 \cdot 90 \cdot 10}{24,05} = 28,5 \text{ мг/л (г/м}^3\text{)}$$

2 л испаренного бензина, или 1,46 кг (1460 г), могут образовать взрывоопасную концентрацию в объеме $1460:28,5 = 51,2 \text{ м}^3$ воздуха. Взрывоопасная концентрация в объеме 1 м^3 воздуха может образоваться примерно через 12—15 мин

$$\left(\frac{\tau \cdot 60}{51,2} = \frac{10 \cdot 60}{51,2} \approx 12,5 \text{ мин} \right)$$

Из примера видно, что при работе с бензином или со строительными материалами, в составе которых имеется бензин, возможно образование взрывоопасной концентрации паров бензина с воздухом.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №5

ТЕМА: «РАСЧЕТ ПРИЗЕМНОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ ПЫЛИ. САНИТАРНО-ГИГИЕНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ»

Задание. Рассчитать приземную концентрацию пыли C_1 в точке, расположенной на расстоянии X_1 от источника загрязнения и находящийся на ветровой оси. Дать санитарно-гигиеническую оценку качества воздушной среды на указанном расстоянии с учетом ПДК пыли в атмосферном воздухе, равной $0,5 \text{ мг/м}^3$.

Дано (вариант 1). $X_1 = 600 \text{ м}$; параметры источника: $H = 20 \text{ м}$; $D = 0,5$; $T_f = 30 \text{ }^\circ\text{C}$; $\omega_0 = 13 \text{ м/с}$; $M = 24 \text{ г/с}$; параметры района расположения источника: $A = 200$; температура наружного воздуха $T = 20 \text{ }^\circ\text{C}$. Принять $F = 2$, произведение $m \cdot n = 1,2$.

Решение. Определим максимальную концентрацию C_m загрязняющих веществ

$$C_m = \frac{A \cdot M \cdot F \cdot m \cdot n}{H^2 \cdot \sqrt[3]{V_1 \cdot \Delta T}} \quad (5.1)$$

$$C_m = \frac{200 \cdot 24 \cdot 2 \cdot 1,2}{20^2 \cdot \sqrt[3]{2,55 \cdot 10}} = 9,785 \text{ мг/м}^3.$$

Для этого рассчитаем объем выбрасываемой газовой смеси

$$V_1 = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot \omega_0}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,5^2 \cdot 13}{4} = 2,55 \text{ м}^3/\text{с}. \quad (5.2)$$

2. Найдем расстояние X_m до места, где ожидается максимальная приземная концентрация C_m

$$X_m = d \cdot H, \quad (5.3)$$

Предварительно определим значение коэффициента V_m , от которого зависит выбор формулы d

$$V_m = 0,65 \sqrt[3]{\frac{V_1 \cdot \Delta T}{H}} = 0,65 \sqrt[3]{\frac{2,55 \cdot 10}{20}} = 0,70. \quad (5.4)$$

$$\text{При } V_m \leq 2 \quad d = 4,95 V_m (1 + 0,28 \sqrt[3]{f}) = 4,95 \cdot 0,70 \cdot (1 + 0,28 \sqrt[3]{21,13}) = 6,19.$$

$$f = \frac{1000 \cdot \omega^2 \cdot D}{H^2 \cdot \Delta T} = \frac{1000 \cdot 13^2 \cdot 0,5}{20^2 \cdot 10} = 21,13. \quad (5.5)$$

$$X_m = 6,19 \cdot 20 \approx 124 \text{ м.}$$

3. Концентрацию загрязнителя в приземном слое атмосферы на расстоянии 600 м от источника выброса, определим по формуле:

$$C_1 = C_m \cdot S_1.$$

Так как отношение $X_1/X_m = 600/124 = 4,85$, то значение S_1

$$S_1 = \frac{1,13}{0,13 \cdot \left(\frac{X_1}{X_m}\right)^2 + 1} = \frac{1,13}{0,13 \cdot 4,85^2 + 1} = 0,28. \quad (5.6)$$

Тогда значение C_1 будет равно: $C_1 = 0,28 \cdot 9,785 = 2,739 \text{ мг/м}^3$.

4. Делаем вывод, что приземная концентрация пыли на расстоянии 600 м от источника с заданными параметрами будет в $2,739/0,5 \approx 5,5$ раз выше ПДК_{м.р.}.

Ответ: Приземная концентрация C_1 равна $2,739 \text{ мг/м}^3$ и в 5,5 раз превышает санитарную норму.

Исходные данные к решению практической работы №5 представлены в табл.5.1.

Таблица 5.1

Исходные данные к решению практической работы №5

Вариант	H , м	D , м	T_r , °C	ω_0 , м/с	M , г/с	X_1 , м
1	20	0,5	30	13	24	600
2	20	0,6	60	13	30	1200
3	20	0,7	80	13	36	1500
4	50	0,8	25	15	45	1600
5	50	0,9	80	15	68	1700
6	50	1,0	120	15	40	1800
7	50	1,2	30	15	60	1900
8	50	1,4	40	15	35	800
9	100	1,6	150	20	180	900
10	100	1,8	180	20	130	2000
11	100	2,0	250	20	260	2400
12	100	2,5	320	20	320	2300
13	150	3,0	75	20	510	2500
14	150	3,5	23	20	370	2000
15	150	4,0	27	20	280	3000
16	20	0,5	120	8,5	15	1000
17	20	0,6	24	9,5	7	700
18	20	0,7	40	10,5	13	800
19	50	0,8	150	12	60	900
20	50	0,9	180	12	35	1100
21	50	1	250	12	180	1300
22	50	1,2	320	12	130	1400
23	50	1,4	75	16	40	1500
24	100	1,6	23	16	60	1600
25	100	1,8	30	16	35	1700

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №6

ТЕМА: «ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ В РАБОЧЕЙ ЗОНЕ»

Нормативами ГН 2.2.5.686-98 и ГОСТ 12.1.005—98 установлено, что при наличии в воздушной среде смеси вредных веществ, обладающих аддитивным (однонаправленным) действием, должно соблюдаться следующее условие:

$$C_1/\text{ПДК}_1 + C_2/\text{ПДК}_2 + \dots + C_n/\text{ПДК}_n \leq 1, \quad (6.1)$$

где C_1, C_2, \dots, C_n — концентрации соответствующих вредных веществ в воздухе, мг/м³;

ПДК₁, ПДК₂, ..., ПДК_n — предельно допустимые концентрации соответствующих вредных веществ, мг/м³.

Задание. Оценить качество воздушной среды в рабочей зоне.

Дано (вариант 1). В воздух рабочей зоны поступают вредные вещества: оксид углерода — 12,1 мг/м³ (ПДК_{СО} = 20 мг/м³), оксиды азота — 1,4 мг/м³ (ПДК_{NO} = 2 мг/м³) и чугунная пыль — 3,5 мг/м³ (ПДК_{ч.п.} = 6 мг/м³).

Сумма отношений фактических концентраций вредных веществ к их ПДК:

$$12,1/20 + 1,4/2,0 + 3,5/6,0 = 1,89 .$$

Ответ. Несмотря на то, что величина каждого загрязняющего вещества не превышает ПДК, суммарное их значение превышает норму в 1,89 раза. Поэтому необходимо улучшить систему вентиляции в цехе.

Наименование ЗВ	Оксид углерода	Пыль чугунная	Сажа	NO ₂	Пыль алюминиевая	Хлор	HCL
ПДК	20	6	4	5	2	0,1	0,2

Исходные данные к решению практической работы №6 представлены в табл. 6.1.

Таблица 6.1

Исходные данные к решению практической работы №6

№ вар.	C_1	ПДК ₁	C_2	ПДК ₂	C_3	ПДК ₃
1	12,1	20	1,4	2	3,5	6
2	0,1	0,2	3,8	5	1,2	2
3	12	20	3,4	5	0,7	1
4	0,3	0,5	5,4	6	3,9	6
5	1,5	5	17	20	3,1	4
6	0,8	5	1,9	4	4,2	5
7	4,2	6	0,06	0,1	0,1	0,2
8	8	20	1,2	2	0,7	1
9	1,4	5	0,5	1	2,3	4
10	0,09	0,1	3,1	6	1,8	5
11	1,7	2	2,3	4	2,1	5
12	0,5	1	4,7	5	1,1	2
13	3,2	6	1,1	0,2	19	20
14	2,7	4	14	20	7	10
15	1,9	5	6,3	10	2,3	4
16	0,12	0,2	2,7	5	4,3	6
17	3,4	6	4,9	5	2,2	4
18	7	10	3,9	6	3,1	5
19	3,8	5	11	20	0,15	0,2
20	3,9	5	2,5	4	3,1	6
21	5,7	6	2,2	4	4	10
22	13	20	1,7	2	3,1	5
23	3,8	5	0,8	1	1,7	4
24	2,4	4	2,7	6	0,8	1
25	1	2	2	4	14	20

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №7

ТЕМА: «ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕРОЯТНОСТИ НЕСЧАСТНОГО СЛУЧАЯ»

Можно утверждать, что наступление несчастного случая (события A) возможно при совместном появлении трех событий: события B – наличие опасной зоны, где возможно воздействие опасного производственного фактора; события C – нахождения в этой зоне человека и события D – совершение этим человеком ошибочных действий либо действий, связанных с нарушениями логической или трудовой дисциплины. Поскольку каждое из этих событий может быть, а может и не быть, о них можно говорить с известной долей вероятности. Следовательно, несчастный случай, также является вероятной величиной, которая в самом простом виде может быть представлена вероятностным выражением

$$P(A) = P(B) \cdot P(C) \cdot P(D), \quad (7.1)$$

где $P(A)$ – вероятность возникновения несчастного случая;
 $P(B)$ – вероятность наличия опасной зоны на рабочем участке;
 $P(C)$ – вероятность появления людей в опасной зоне;
 $P(D)$ – вероятность совершения человеком ошибочных действий.
 $P(C)$ пропорциональна численности людей в опасной зоне и времени их пребывания в ней

$$P(C) = \frac{n_i}{n} \cdot \frac{t_i}{t}, \quad (7.2)$$

где n_i – численность людей, подвергающихся риску травмирования при выполнении i -й технологической операции;
 n – количество людей, занятых в выполнении технологического процесса (звено, бригада);
 t_i – время реализации i -й технологической операции в опасной зоне;
 t – время реализации технологического процесса.
 Вероятность ошибочных действий рекомендуется определять по формуле

$$P(D) = \frac{m_i}{m}, \quad (7.3)$$

где m_i – число операций, выполняемых с нарушением правил безопасности;

m – число операций в рассматриваемом технологическом процессе.

Если опасность присутствует при выполнении нескольких технологических операций j , то

$$P(A) = \sum_{i=1}^j \frac{n_i}{n} \cdot \frac{m_i}{m} \cdot \frac{t_i}{t}. \quad (7.4)$$

Задание. Определить вероятность несчастного случая на участке. Исходные данные для расчета приведены в табл. 7.1.

Дано (вариант 1): Количество опасных операций $j = 1$, количество рабочих $n = 4$, непосредственно занятых на прессовании $n_i = 1$, время прессования $t_i = 2$ мин, общее время изготовления детали $t = 20$ мин. Количество операций в технологическом процессе $m = 6$, количество операций, выполняемых с ошибками, $m_i = 1$.

Решение:

$$P(C) = \frac{n_i}{n} \cdot \frac{t_i}{t} = \frac{1}{4} \cdot \frac{2}{20} = \frac{2}{80} = \frac{1}{40};$$

$$P(D) = \frac{m_i}{m} = \frac{1}{6}; \quad P(A) = \frac{1}{40} \cdot \frac{1}{6} = 0,0042.$$

Ответ: $P(A) = 0,0042$.

Приведенные примеры позволяют студентам по аналогии, имея конкретные данные, рассчитать вероятность несчастного случая того или иного технологического процесса.

Исходные данные к выполнению практической работы №7 представлены в табл. 7.1.

Таблица 7.1

Исходные данные к выполнению практической работы №7

№ варианта	n	n	t	t	m	m	№ варианта	n	n	t	t	m	m
1	1	4	2	20	1	6	16	4	12	3	30	2	14
2	2	10	3	30	2	8	17	3	9	2	15	3	15
3	3	15	4	40	3	12	18	2	6	1	10	2	8
4	4	12	5	50	3	15	19	1	5	2	25	1	6
5	3	14	1	15	2	7	20	2	10	3	30	2	12
6	2	7	2	20	1	9	21	3	7	2	15	3	15
7	1	8	3	30	2	8	22	4	13	1	20	2	10
8	3	20	1	10	3	11	23	3	11	2	30	1	5
9	2	16	2	15	1	6	24	2	8	1	15	2	10
10	1	5	1	12	2	5	25	1	5	3	40	3	9
11	4	20	3	15	3	13	26	2	10	1	15	2	12
12	5	18	4	8	2	8	27	3	12	2	20	1	4
13	4	12	2	10	1	7	28	4	13	3	30	2	6
14	3	9	1	5	2	6	29	3	10	4	40	3	9
15	2	6	3	10	3	9	30	2	9	3	25	2	8

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №8

ТЕМА: «ОПРЕДЕЛЕНИЕ АНАЛИТИЧЕСКОГО ТРЕНДА И ПРОГНОЗА ТРАВМАТИЗМА НА ПРОИЗВОДСТВЕ»

Задание: Определить аналитический тренд (закона распределения) и прогноз травматизма на условном предприятии с использованием программы `mnk96m.exe`. Привести распределение несчастных случаев (н/с) с 1999 по 2009 г. Исходные данные для расчета приведены в табл. 8.1.

Дано: (вариант 1): В 1999 году произошло – 3 н/с; в 2000 – 4; в 2001 – 5; в 2002 – 6; в 2003 – 7; в 2004 – 8.

Решение:

1. Для условного предприятия закон распределения травматизма по годам и его прогноз аппроксимируются кривой вида

$$y = A \arctg(t) + Bt + C = t + 3, \quad (8.1)$$

где $A=0$; $B=1$; $C=3$; $t = px + q$ – теоретическое число несчастных случаев; p и q – коэффициенты перемасштабирования оси ($p=1$; $q= -1999$); x – год, в котором определяется число травм.

2. В 1999 г. – 3 н/с; в 2000 – 4; в 2001 – 5; в 2002 – 6; в 2003 – 7; в 2004 – 8; 2005 г. – 9; 2006 – 10; 2007 – 11; 2008 – 12; 2009 – 13.

Ответ: 1. $y = t + 3$; 2. 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10; 11; 12; 13.

Исходные данные для определения тренда и прогноза травматизма на производстве (практическая работа №8) представлены в табл. 8.1.

Таблица 8.1

Исходные данные для выполнения практической работы № 8

№ варианта	Подразделение	Кол-во н/с в 1999 г.	Кол-во н/с в 2000 г.	Кол-во н/с в 2001 г.	Кол-во н/с в 2002 г.	Кол-во н/с в 2003 г.	Кол-во н/с в 2004 г.
1	псп – 1	3	4	5	6	7	8
2	пск	6	3	5	1	2	7
3	псп – 3	1	2	4	2	3	4
4	кмсц	17	10	4	4	4	7
5	мск – 1	7	4	1	3	7	9
6	мск – 2	4	2	1	6	2	5
7	мсц – 4	3	1	1	5	2	2
8	мсц – 7	2	1	1	3	1	2
9	мсц – 8	5	3	1	2	1	4
10	док	4	6	4	2	4	4
11	сп	18	6	7	3	3	10
12	К. каб	8	2	3	2	5	4
13	кип	6	4	2	1	3	5
14	рмц	4	1	4	2	2	2
15	рсц	5	1	3	1	1	2
16	Эл. р. ц	6	1	2	2	3	1
17	тэц	8	4	2	3	3	4
18	тсц	6	1	2	1	4	1
19	Цех связи	9	1	3	1	1	1
20	угэ	3	1	3	1	2	1
21	УГМех	5	4	1	2	1	3
22	ОН-ЗиС	3	1	2	1	1	1
23	упэ	5	2	3	2	3	1
24	рэк	23	13	11	9	5	3

ЛИТЕРАТУРА

Основная литература

1. Безопасность жизнедеятельности и охрана труда в строительстве: учебное пособие. А.В. Фролов [и др.]. /Ростов-на-Дону: Феникс, 2010. С. 705.
2. БЖД: учебник для студентов. / С.В. Белов [и др.]. / М.: Высшая школа, 2004. С.524.
3. Гейц И.В. Охрана труда: учебно-практическое пособие. М.: Изд-во «Дело и сервис», 2006, С. 688.
4. Основы эксплуатации оборудования и систем газоснабжения. О.Н. Брюханов, А.и. Плужников. М.: Инфра, 2005.
5. Газовые сети и установки. В.А. Жила. М.: 2003.

Дополнительная литература

6. Безопасность жизнедеятельности: учеб. для вузов / С.В. Белов [и др.]; под общ. ред. С.В. Белова. — М.: Высш. шк., 1999. С. 448.
7. Средства защиты в машиностроении. Расчет и проектирование: справ. / С.В. Белов [и др.] / под ред. С.В. Белова. — М.: Машиностроение, 1989. — 368 с.
8. Безопасность производственных процессов: справ. / под общ. ред. С.В. Белова. М.: Машиностроение, 1985. С. 448.
9. Долин П.А. Справочник по технике безопасности. М: Энергоатомиздат, 1985. С. 824.
10. Безопасность жизнедеятельности. Безопасность технологических процессов и производств (Охрана труда): учеб. пособие для вузов / П.П. Кукин [и др.]. М.: Высш. шк., 1999. С. 318.
11. Денисенко Г.Ф. Охрана труда: учеб. пособие для инж.-экон. спец. вузов. М.: Высш. шк., 1985. С. 319.
12. Охрана труда на предприятии: учеб. пособие для студентов вузов / В.Л. Гапонов [и др.] / под ред. Е.Л. Медиокритского. Ростов на/Д: РГАСХМ, 1998. С. 273.
13. Безопасность жизнедеятельности: Безопасность технологических процессов и производств. В 2 ч.: учеб. пособие / под ред. В.Л. Гапонова. — Ч. 1. Охрана труда на предприятии. Ростов н/Д: РГАСХМ, 2000. С. 270.
14. Безопасность жизнедеятельности: Безопасность технологических процессов и производств. В 2 ч.: учеб. пособие / под ред. В.Л. Гапонова. — Ч. 2. Нормативные документы, законодательные и гражданско-правовые акты. Ростов н/Д: РГАСХМ, 2000. С. 312.

15. Бакаева Т.Н. Безопасность жизнедеятельности. Ч. II: Безопасность в условиях производства: учеб. пособие. Таганрог: Изд-во ТРТУ, 1997. С. 318.

16. Охрана окружающей среды / под ред. С.В. Белова. М.: Высш. шк., 1991. С. 307.

17. Техника защиты окружающей среды: учеб. для вузов / А.И. Радионов, В.Н. Клушин, Н.С. Торочешников. — 2-е изд., перераб. и доп. М.: Химия, 1989. С. 512.

18. Экология и безопасность жизнедеятельности: учеб. пособие для вузов / Д.А. Кривошеин [и др.] / под ред. Л.А. Муравья. М.: ЮНИТИ–ДАНА, 2000. С. 447.

19. О состоянии окружающей природной среды Ростовской области.: Гос. доклад обл. комитета по охране окружающей среды и природных ресурсов. — Ростов н/Д, 1997; 1998.

20. Аксенов И.Я., Аксенов В.И. Транспорт и охрана окружающей среды. М.: Транспорт, 1986. С. 243.

21. Непомнящий А.В., Шилякин Г.П. Безопасность жизнедеятельности. Ч. III. Чрезвычайные ситуации: учеб. пособие. Таганрог: Изд-во ТРТУ, 1994. С. 384.

22. Гражданская оборона: учеб. для вузов / В.Г. Атаманюк, Л.Г [и др.] / под ред. Д.И. Михайлика. М.: Высш. шк., 1986. С. 207.

23. Ситников В.Е., Гапонов В.Л., Хвостиков А.Г. Оценка устойчивости промышленного объекта в чрезвычайных ситуациях: метод. указания к выполнению курсовой работы. Ростов н/Д: РГАСХМ, 1998. С. 41.

24. Оценка воздействия на окружающую среду и разработка нормативов ПДВ: справ. изд. / Ю.Л. Максименко [и др.]. М.: СП ИНТЕРМЕТ ИНЖИНИРИНГ, 1999.