

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Безопасность технологических процессов и производств»

## **ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ**

Методические указания к выполнению курсовой работы

Ростов-на-Дону  
ДГТУ  
2018

УДК 658.382

Составитель А.Г. Хвостиков

Производственная безопасность. метод. указания к выполнению курсовой работы. – Ростов-на-Дону : Донской гос. техн. ун-т, 2018. – 27 с.

Методические указания составлены в соответствии с учебной программой дисциплины «Производственная безопасность» для обучающихся по направлению подготовки 20.03.01 «Техносферная безопасность» всех форм обучения для выполнения практических работ.

Содержит методики расчета различных систем безопасности опасных производственных объектов, параметров взрываемости газа и безопасных размеров газопровода.

Предназначены для обучающихся по направлению подготовки 20.03.01 «Техносферная безопасность», изучающих дисциплину «Производственная безопасность».

УДК 658.382

Печатается по решению редакционно-издательского совета  
Донского государственного технического университета

Научный редактор д-р. т. наук, профессор Д.М. Кузнецов

Ответственный за выпуск зав. кафедрой «Безопасность технологических процессов и производств» д-р техн. наук, профессор С.Л. Пушенко

---

В печать 06.06.2018 г.

Формат 60×84/16. Объем 1,69 усл. п. л.

Тираж 60 экз. Заказ №. 191.

---

Издательский центр ДГТУ

Адрес университета и полиграфического предприятия:  
344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1

© Донской государственный  
технический университет, 2018

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение .....	4
1 Алгоритм выбора варианта к курсовой работе .....	4
2 Содержание и оформление курсовой работы .....	4
3. Расчет теплоты сгорания природного газа .....	6
4. Расчет верхнего и нижнего предела воспламенения природного газа .....	9
5. Надземные газопроводы .....	12
6. Выбор канатов для грузоподъемных кранов .....	15
7. Подбор каната для изготовления стропа с четырьмя ветвями для подъема груза .....	17
8. Определение давления и мощности взрыва воздухосборника компрессора ...	19
9. Определение охлаждающей поверхности трубчатого теплообменника компрессорной установки .....	22
Литература .....	24
Приложения .....	25

## **ВВЕДЕНИЕ**

Курсовая работа (КР) по теме: «Обеспечение безопасности опасных производственных объектов» состоит из семи разделов, включающих в себя теорию и расчет параметра или технического средства для обеспечения безопасности опасного производственного объекта (ОПО).

### **1 АЛГОРИТМ ВЫБОРА ВАРИАНТА К КУРСОВОЙ РАБОТЕ**

Номер варианта для выполнения контрольной работы соответствует порядковому номеру в групповом журнале. Содержание задания и численные значения исходных данных для решения приведены приложениях 1 – 2.

### **2 СОДЕРЖАНИЕ И ОФОМЛЕНИЕ КУРСОВОЙ РАБОТЫ**

Курсовая работа оформляется в соответствии с Приказами ДГТУ № 227 от 30.12.2015

г. о введении документа «Правила оформления и требования к содержанию курсовых проектов (работ) и выпускных квалификационных работ» в действие и № 102 от 11.04.2017 г. о введении изменения к документу «Правила оформления и требования к содержанию курсовых проектов (работ) и выпускных квалификационных работ» в действие.

Объем пояснительной записки курсовой работы рекомендуется выполнять в пределах 30 печатных страниц.

Курсовая работа должна содержать:

- титульный лист;
- бланк задания на КР;
- содержание;
- введение;
- разделы основной части;
- заключение;
- список использованных источников;
- приложения (при необходимости пояснений разделов).

Отзыв руководителя на КР и ведомость КР не подшиваются в пояснительную записку.

Титульный лист установленного образца (см. Приложение).

Лист задание, которое студент пишет в соответствии со своим вариантом (см. Приложение).

Содержание КР – отражается перечень вопросов, содержащихся в курсовой работе.

Обозначение документа на титульном листе для курсовой работы имеет вид УУУУ.ХХZZFF.RRR КР.

Для курсовой работы первые четыре знака УУУУ должны включать заглавные буквы, соответствующие наименованию дисциплины (ПБ).

Код классификационной характеристики XXZZFF, состоящий из шести знаков, включает:

– первые две цифры XX – последние цифры номера зачетной книжки студента.

Примеры:

– XX – 11 для номера зачетной книжки 0910611.

– вторые две цифры ZZ – порядковый номер сборочного чертежа или чертежа общего вида. Данные цифры используются только при шифровании чертежей СБ и ВО, для пояснительной записки ZZ – 00.

– третьи две цифры FF – порядковый номер сборочной единицы по чертежу общего вида. Для пояснительной записки FF – 00.

Цифры кода XXZZFF интервалами и точками не разделяются.

Порядковый регистрационный номер RRR, состоящий из трех знаков, включает номер чертежа детали, входящей в состав сборочной единицы. Для пояснительной записки RRR – 000.

Текст должен быть оформлен в текстовом редакторе Word for Windows версии не ниже 6.0. Тип шрифта: Times New Roman Cyr. Шрифт основного текста: обычный, размер 14 пт. Шрифт заголовков разделов: полужирный, размер 14 пт. Шрифт заголовков подразделов: полужирный, размер 14 пт. Межсимвольный интервал: обычный. Межстрочный интервал: полоторный.

Иллюстрации должны быть вставлены в текст. Текст отчета выполняется на листах формата А4 (210x297 мм) с рамкой. Страницы следует нумеровать арабскими цифрами, соблюдая сквозную нумерацию по всему тексту.

### 3. РАСЧЕТ ТЕПЛОТЫ СГОРАНИЯ ПРИРОДНОГО ГАЗА

По способу получения различают природные и искусственные газы. Первые представляют собой газы чисто газовых месторождений и попутные газы газонефтяных месторождений.

Добывается природный газ через скважины, пробуренные в толще пород. Выходя на поверхность земли по специальным трубам обустроенной скважины, газ имеет в среднем давление порядка 50–70 кгс/см<sup>2</sup> (5–7 МПа). Сначала он освобождается от пыли в пылеуловителях, затем от влаги в сепараторах и по коллектору, соединяющему несколько скважин, поступает в специальные устройства для окончательной очистки и осушки. Очищенный и осушенный газ, который полностью отвечает требованиям ГОСТа, подается через головную станцию в систему магистральных газопроводов.

Основной компонент природного газа – метан (СН<sub>4</sub>). Именно качества метана являются определяющими для свойств природного газа в целом потому, что содержание метана в природном газе различных месторождений, как правило, колеблется в пределах 92–98 %. Метан – бесцветный газ без вкуса и запаха. Плотность его при нормальных условиях (273,16 К и 1,01 бар, т. е. 0 °С и 760 мм рт. ст.) равна 0,717 кг/м<sup>3</sup>. Метан легче воздуха примерно в 2 раза, относительная плотность его по воздуху 0,55. Температура, при которой метан воспламеняется, равна 913 К (640 °С). Предел воспламенения метана при стандартных условиях 293 К и 1,01 бар (20 °С и 760 мм рт. ст.) – лежит между 5,3 и 15 об. % содержания его в смеси с воздухом. Жаропроизводительность метана равна 2313 К (2040 °С). Максимальная скорость распространения пламени при содержании его в воздухе на уровне 9,8 % – 0,67 м/с. Низшая теплота сгорания – 35757 кДж/м<sup>3</sup>. При полном сгорании метана образуются углекислый газ и пары воды. Реакция полного горения метана:



Для полного сгорания 1 м<sup>3</sup> метана при коэффициенте расхода воздуха, равном 1, необходимо 2 м<sup>3</sup> кислорода или соответственно 9,52 м<sup>3</sup> воздуха.

Для придания характерного запаха природный газ одорируют. В качестве одоранта обычно используют этилмеркаптан в количестве 16 г на 1000 м<sup>3</sup> газа. Этого количества вполне хватает для того, чтобы запах газа в случае утечки начал ощущаться при содержании его в атмосфере на уровне 1/5 нижнего предела воспламенения (взрываемости), т. е. примерно на уровне 1 % от заполненного объема.

Рассмотрим более подробно компонентный состав (%) природного газа на конкретном примере: метан СН<sub>4</sub> – 91,69; этан С<sub>2</sub>Н<sub>6</sub> – 3,74; пропан С<sub>3</sub>Н<sub>8</sub> – 0,99; бутан С<sub>4</sub>Н<sub>10</sub> – 0,18; изобутан С<sub>4</sub>Н<sub>10</sub> – 0,19; пентан С<sub>5</sub>Н<sub>12</sub> – 0,05; изопентан С<sub>5</sub>Н<sub>12</sub> – 0,06; углекислый газ СО<sub>2</sub> – 0,50; азот N<sub>2</sub> – 2,60. Приведенный состав природного газа характерен для систем газопроводов средневропейской части нашей страны, в которых используется газ Оренбургского месторождения, подмешиваемый к природному газу месторождений Ставрополя и Средней Азии. Прежде

всего в составе данного газа выделим горючую и негорючую части. К горючей части относятся  $\text{CH}_4$ ,  $\text{C}_2\text{H}_6$ ,  $\text{C}_3\text{H}_8$ ,  $\text{C}_4\text{H}_{10}$ ,  $\text{C}_5\text{H}_{12}$ , к негорючей –  $\text{CO}_2$  и  $\text{N}_2$ . Чем больше масса негорючей части, тем ниже теплота сгорания газа. Теплота сгорания топлива характеризуется количеством тепла, выделяющегося при полном сгорании единицы его объема или массы. На практике приходится иметь дело, как правило, с низшей теплотой сгорания природного газа, так как именно это тепло может быть получено в установках сжигания газа для дальнейшего использования.

В расчетах или справочной литературе приходится достаточно часто встречать понятие условного топлива, теплота сгорания которого приравнена к 29309 кДж/кг (7000 ккал/кг).

Теплота сгорания природного газа (кДж/м<sup>3</sup>) конкретного состава может быть подсчитана при необходимости по формуле

$$Q_{\text{H}} = Q_{\text{CO}}\text{CO} + Q_{\text{H}_2}\text{H}_2 + Q_{\text{CH}_4}\text{CH}_4 + Q_{\text{H}_2\text{S}}\text{H}_2\text{S} + \Sigma(Q_{\text{C}_m\text{H}_n}\text{C}_m\text{H}_n), \quad (3.1)$$

где  $Q_{\text{CO}}, Q_{\text{H}_2}, Q_{\text{CH}_4}, Q_{\text{H}_2\text{S}}, Q_{\text{C}_m\text{H}_n}$  – теплота сгорания горючих компонентов, кДж/м<sup>3</sup>;  $\text{CO}, \text{H}_2, \text{CH}_4, \text{H}_2\text{S}, \text{C}_m\text{H}_n$  – объемная доля горючего компонента в природном газе, % (для выполнения расчетов требуется перевести содержание горючего компонента газа из процентов в единицы объема).

*Задание.* Найти низшую теплоту сгорания природного газа приведенного выше состава.

*Дано.* Компонентный состав (%) природного газа на конкретном примере: метан  $\text{CH}_4$  – 91,69; этан  $\text{C}_2\text{H}_6$  – 3,74; пропан  $\text{C}_3\text{H}_8$  – 0,99; бутан  $\text{C}_4\text{H}_{10}$  – 0,18; изобутан  $\text{C}_4\text{H}_{10}$  – 0,19; пентан  $\text{C}_5\text{H}_{12}$  – 0,05; изопентан  $\text{C}_5\text{H}_{12}$  – 0,06; углекислый газ  $\text{CO}_2$  – 0,50; азот  $\text{N}_2$  – 2,60

*Решение.*

$$Q_{\text{H}} = Q_{\text{CH}_4}\text{CH}_4 + Q_{\text{C}_2\text{H}_6}\text{C}_2\text{H}_6 + Q_{\text{C}_3\text{H}_8}\text{C}_3\text{H}_8 + Q_{\text{C}_4\text{H}_{10}}\text{C}_4\text{H}_{10} + Q_{\text{C}_4\text{H}_{10}}\text{C}_4\text{H}_{10}(\text{изо}) + Q_{\text{C}_5\text{H}_{12}}\text{C}_5\text{H}_{12} + Q_{\text{C}_5\text{H}_{12}}\text{C}_5\text{H}_{12}(\text{изо}).$$

$$Q_{\text{H}} = 35840 \cdot 0,9169 + 63730 \cdot 0,0374 + 93370 \cdot 0,0099 + 123770 \cdot 0,0018 + 121840 \cdot 0,0019 + 146340 \cdot 0,0005 + 145822 \cdot 0,0006 = 36784,5 \text{ кДж/м}^3.$$

$$\text{Ответ. } Q_{\text{H}} = 36784,5 \text{ кДж/м}^3$$

Низшая теплота сгорания отдельных газов, входящих в состав природного газа, приведена в табл. 1.

Таблица 3.1

## Теплота сгорания газов

ГАЗ	Химическая формула	Теплота сгорания, кДж/м <sup>3</sup>	
		высшая	низшая
Метан	CH <sub>4</sub>	39860	35840
Этан	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	70420	63730
Пропан	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	101740	93370
Изобутан	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	131890	121840
Бутан	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	133980	123770
Пентан	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	158480	146340
Изопентан	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	168550	145822
Водород	H <sub>2</sub>	12770	10800
Окись углерода	CO	12640	12640
Сероводород	H <sub>2</sub> S	25460	23490

Таблица 3.2

## Исходные данные

Вариант. Месторождение газа	Состав газа, % по объему							
	CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	N <sub>2</sub> + редкие газы
1. Степановское	95,1	2,3	0,7	0,4	0,8	0,2	нет	0,5
2. Ленинградское	86,9	6	1,6	1	0,5	1,2	нет	2,8
3. Североставропольское	98,7	0,33	0,12	0,04	0,01	0,1	нет	0,7
4. Пунгинское	86,1	2	0,6	0,34	0,35	8,5	нет	2
5. Медвежье	99	0,1	0,005	-	-	0,095	нет	0,8
6. Оренбургское	85	4,9	1,6	0,75	0,55	0,6	1,3	5
7. Вуктылское	74,8	8,8	3,9	1,8	6,4	-	нет	4,3
8. Угерское	98,3	0,45	0,25	0,3	нет	0,1	нет	0,6
9. Шебелинское	93,3	4	0,6	0,4	0,3	0,1	нет	1,3
10. Газлинское	93	3,1	0,7	0,6	нет	0,1	нет	2,5
11. Карадагское	93,2	2,1	1,2	1	1,2	0,8	нет	0,5
12. Ачакское	93	3,6	0,95	0,25	0,31	0,4	нет	1,3
13. Тенгенское	89,4	6	2	0,7	0,4	1	нет	0,5
14. Ванейвиское	89,59	2,42	0,70	0,27	1,16	1,68	0,25	3,93
15. Лаявож	80,23	2,64	1,15	0,70	0,71	0,73	нет	13,8
16. Василковское	93,1	2	0,4	0,2	0,3	-	нет	4
17. Ямбург	95,2	0,04	0,006	0,001	0,1	0,3	нет	4,5
18. Бовиненковское	87,19	3,98	1,34	0,75	0,23	1,73	нет	4,77
19. Ямал	78,97	4,53	2,34	1,02	0,27	1,02	нет	11,84
20. Заполярное	98,5	0,2	0,05	0,012	0,001	0,5	нет	0,7
21. Уренгойское	97,64	0,1	0,01	-	-	0,3	нет	1,95
22. Жирновское	81,6	6,5	3	1,9	1,4	4	0,1	1,5
23. Ромашкинское	40	19,5	18	7,5	4,9	0,1	нет	10
24. Туймазинское	39,5	20	18,5	7,7	4,2	0,1	нет	10
25. Шкаповское	37,5	18,2	16,8	6,8	3,8	0,1	нет	16,8
26. Ключевское	78,5	6	6,5	4,8	3,6	0,2	нет	0,4
27. Дмитриевское	69,2	10	10	5	5	0,7	нет	0,1
28. Небит-Дагское западное	91	3	2,3	1,3	1,8	0,5	нет	0,1
29. Верхнеомринское	82,7	6	3	1	0,2	0,1	нет	7

#### 4. РАССЧЕТ ВЕРХНЕГО И НИЖНЕГО ПРЕДЕЛА ВОСПЛАМЕНЕНИЯ ПРИРОДНОГО ГАЗА

Процесс горения (сжигания) газов начинается лишь тогда, когда газовоздушная смесь будет подожжена, 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 газовоздушной смесью, и т. д.). Процесс горения продолжается только до тех пор, пока количества тепла, выделяющегося при горении, будет достаточно, чтобы постоянно воспламенять поступающую к месту горения газовоздушную смесь. Минимальные и максимальные количества газа в газовоздушной смеси, при которых процесс горения идет непрерывно, называют соответственно нижним или верхним пределом воспламенения данного газа в смеси с воздухом. Взрывом газовоздушной 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

$$P = \frac{v_1 + v_2 + v_3 + \dots + v_n}{\frac{v_1}{l_1} + \frac{v_2}{l_2} + \frac{v_3}{l_3} + \dots + \frac{v_n}{l_n}}, \quad (4.2)$$

где  $P$  – 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 в %;

$l_1, l_2, l_3, \dots, l_n$  – значения нижних или верхних пределов взрываемости (воспламеняемости) соответствующих компонентов газовой смеси, принимаемые по табл. 4.1.

*Задание.* Определить верхний и нижний пределы воспламенения природного газа.

*Дано* (вариант 1). Состав газа (%) метан  $\text{CH}_4$  – 51; этилен  $\text{C}_2\text{H}_4$  – 23; пропан  $\text{C}_3\text{H}_8$  – 7; бутан  $\text{C}_4\text{H}_{10}$  – 4; пентан  $\text{C}_5\text{H}_{12}$  – 8; ацетилен  $\text{C}_2\text{H}_2$  – 2; сероводород  $\text{H}_2\text{S}$  – 1,5; водород  $\text{H}_2$  – 3,5.

Таблица 4.1

## 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 <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	305 – 500	2,3	82
Бутан	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	430 – 569	1,9	8,5
Водород	H <sub>2</sub>	510 – 590	4,2	75
Метан	CH <sub>4</sub>	537 – 850	5,3	15
Оксид углерода	CO	610 – 658	12,5	75
Пропан	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	466 – 588	2,1	9,5
Сероводород	H <sub>2</sub> S	290 – 487	4,3	45,5
Пентан	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	530 - 610	1,4	7,8
Этан	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	510 – 594	3	14
Водород	H <sub>2</sub>	530 - 590	4	75
Этилен	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	450 – 550	3	30

Решение.

1. Рассчитываем верхний предел воспламенения

2.

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

2. Рассчитываем нижний предел воспламенения

$$\begin{aligned}
 P_{\text{н}} &= \frac{100}{\frac{\text{CH}_4}{l_1^{\text{н}}} + \frac{\text{C}_2\text{H}_4}{l_2^{\text{н}}} + \frac{\text{C}_3\text{H}_8}{l_3^{\text{н}}} + \frac{\text{C}_4\text{H}_{10}}{l_4^{\text{н}}} + \frac{\text{C}_5\text{H}_{12}}{l_5^{\text{н}}} + \frac{\text{C}_2\text{H}_2}{l_6^{\text{н}}} + \frac{\text{H}_2\text{S}}{l_7^{\text{н}}} + \frac{\text{H}_2}{l_8^{\text{н}}}} = \\
 &= \frac{100}{\frac{51}{5,3} + \frac{23}{3} + \frac{7}{2,1} + \frac{4}{1,9} + \frac{8}{1,4} + \frac{2}{2,3} + \frac{1,5}{4,3} + \frac{3,5}{4}} = \frac{100}{30,5345} = 3,274\%.
 \end{aligned}$$

Ответ.  $P_{\text{н}} = 3,274\%$ ,  $P_{\text{в}} = 15,37\%$ .

Таблица 4.2

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

Вариант	Состав газа, % по объему							
	CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	H <sub>2</sub>
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

## 5. НАДЗЕМНЫЕ ГАЗОПРОВОДЫ

Трасса надземных газопроводов на территории предприятий прокладывается по опорам, колоннам и эстакадам из негорючих материалов, а также по крышам и наружным (желательно глухим) стенам зданий I и II степени огнестойкости производств категорий Г и Д согласно “Противопожарным нормам строительного проектирования промышленных предприятий и населенных мест”, в том числе зданий, в которых газ не используется.

Колонны, эстакады и опоры под газопроводы выполняются из прочных негорючих материалов, обеспечивающих надежное крепление и устойчивость газопроводов при эксплуатации.

Надземные газопроводы влажного газа покрываются теплоизоляцией и укладываются с уклоном не менее 0,003; в нижних точках газопровода устанавливаются штуцера с краном для выпуска конденсата. В районах с суровыми климатическими условиями эти газопроводы рекомендуется укладывать с паровым спутником и совместно покрывать тепловой изоляцией.

Продувочные трубопроводы от ответвлений межцеховых газопроводов ведутся по наружным стенам зданий и выводятся на 1 м выше карниза крыши в места, обеспечивающие безопасные условия рассеивания газа.

Надземная укладка газопроводов предусматривает специальные компенсирующие устройства или такую их конфигурацию, которая обеспечивает компенсацию линейных удлинений газопроводов при изменении их температуры.

При необходимости на газопроводах устанавливаются специальные линзовые компенсаторы либо П- или Z-образные компенсаторы из труб одинакового с газопроводом диаметра.

Во избежание нарушения герметичности соединений арматуры и фасонных частей газопроводов, появления в них опасных напряжений газопроводы укладываются на неподвижные опоры, которые ограничивают направление и величину перемещения. Между неподвижными опорами газопровод укладывается на подвижные скользящие опоры.

По современной методике допустимое расстояние (пролет) между опорами под надземные газопроводы, укладываемые на одиночные опоры, определяется из условия прочности и допустимого провисания (прогиба) газопровода в пролете.

Согласно “Указанию по определению нагрузок, действующих, на опоры трубопроводов, и допускаемых пролетов между их опорами”, разработанному ВНИИСТ Главгаза при Совете Министров СССР, допускаемый пролет газопровода определяется по следующим формулам.

I. Из условия прочности

1) при пневматическом испытании газопровода

$$l = \sqrt{\frac{\left(R - \frac{p_n D}{4\delta}\right) W}{11,45q}}; \quad (5.1)$$

2) при гидравлическом испытании газопровода

$$l = \sqrt{\frac{\left(R - \frac{p_n D}{4\delta}\right) W}{7,58q}}, \quad (5.2)$$

где  $l$  – допускаемый пролет, м;  $R$  – расчетное сопротивление стали, равное  $2000 \text{ кг/см}^2$ ;  $W$  – момент сопротивления сечения трубы,  $\text{см}^3$ ;  $q$  – вес одного погонного метра трубы с учетом воды при гидравлическом испытании и без учета воды при пневматическом испытании,  $\text{кг/м}$ ;  $p$  – рабочее давление в газопроводе,  $\text{кг/см}^2$  (МПа);  $p_n$  – испытательное давление в газопроводе,  $\text{кг/см}^2$  (МПа);  $D$  – средний диаметр газопровода, см;  $\delta$  – толщина стенки трубы, см.

II. Из условия допускаемого прогиба

$$\begin{cases} l = \frac{\frac{24EID}{50q} + \frac{24Elix}{2q} + x^4}{x^3} \\ l = 2x + \sqrt{x^2 - \frac{24EID}{50x^2q}} \end{cases}, \quad (5.3)$$

где  $EI$  – жесткость трубопровода,  $\text{кг/м}^2$ ;  $q$  – вес одного погонного метра трубы без учета воды при гидравлическом испытании;  $i$  – уклон газопровода;  $x$  – расстояние от опоры до сечения трубы, имеющего максимальный прогиб, м.

Систему уравнений следует решать подбором  $x$  до тех пор, пока значения  $l$  по каждой из формул не совпадут.

*Задание.* Определить допустимое расстояние между опорами надземного газопровода среднего давления.

*Дано.*  $p \leq 3 \text{ кг/см}^2$  ( $0,3 \text{ МПа}$ ) диаметр газопровода  $D=100 \text{ мм}$  и толщина стенки  $\delta=4 \text{ мм}$ . Уклон местности  $i=0$ .

*Решение.*

Из условия прочности при пневматическом испытании газопровода

$$l = \sqrt{\frac{\left(R - \frac{pD}{4\delta}\right) W}{11,45q}} = \sqrt{\frac{\left(2000 - \frac{4,5 \cdot 10}{4 \cdot 0,4}\right) 32,7}{11,45 \cdot 10,26}} = 23,6 \text{ м.}$$

Из условия прочности при гидравлическом испытании газопровода

$$l = \sqrt{\frac{\left(R - \frac{p_n D}{4\delta}\right) W}{7,58q}} = \sqrt{\frac{\left(2000 - \frac{4,5 \cdot 10}{4 \cdot 0,4}\right) 32,7}{7,58 \cdot 18,11}} = 21,6 \text{ м.}$$

Из условия допускаемого прогиба газопровода при уклоне  $i=0$ .

При уклоне газопровода  $i=0$  первая часть формулы (5) приобретает следующий вид

$$l = \frac{24EID}{50qx^3} + x = \frac{24 \cdot 2 \cdot 10^6 \cdot 176,55 \cdot 10^{-4} \cdot 0,1}{50 \cdot 10,26x^3} + x.$$

$$l = \frac{165,1}{x^3} + x; \text{ при } i = 0 \quad l = 2x. \text{ Тогда } 2x = \frac{165,1}{x^3} + x; x^4 = 165,1; x = 3,58 \text{ м}$$

$$l = 2x = 2 \cdot 3,58 = 7,1 \text{ м.}$$

Вторая часть формулы (7) в этом случае имеет вид

$$l = 2x + \sqrt{x^2 - \frac{1}{x^2} \cdot 165,1} = 2x + \sqrt{x^2 - \frac{165,1}{x^2}} = 2 \cdot 3,58 + \sqrt{3,58^2 - \frac{165,1}{3,58^2}} = 7,1 \text{ м,}$$

что удовлетворяет условиям.

Ответ.  $l = 7,1 \text{ м}$

Таблица 5.1

Исходные данные

Номер варианта	Размеры, мм		Момент инерции, см <sup>4</sup>	Давление в газопроводе, МПа	Момент сопротивления, см <sup>3</sup>	Вес трубы кг, при испытании	
	диаметр	толщина стенки				пневматическом	гидравлическом
1	50	4	27,75	0,3	9,24	5,52	7,64
2	70	4	61		15,47	7,1	10,73
3	80	4	96,65	1,2	21,7	8,38	13,53
4	100	4	176,55	0,3	32,7	10,26	18,11
5	125	4	338,3		50,8	12,73	25
6	150	4,5	651,9		82	17,15	34,8
7	200	7	2623		240	36,6	69,6
8	250	7	5177		379	45,92	98
9	300	8	10010		616	62,5	137,5
10	350	9	17550	0,6	930	81,6	182,8
11	400	10	28290		1328	102,6	232
12	500	7	41550		1477	90,11	298,5
13	600	8	77500	0,3	2398	122,7	418,6
14	700	8	113000		3189	140,5	529,5
15	800	8	161000	0,6	4300	160,2	667,6
16	50	4	27,75		9,24	5,52	7,64
17	70	4	61		15,47	7,1	10,73
18	80	4	96,65		21,7	8,38	13,53
19	100	4	176,55		32,7	10,26	18,11
20	125	4	338,3		50,8	12,73	25
21	150	4,5	651,9	1,2	82	17,15	34,8
22	200	7	2623		240	36,6	69,6
23	250	7	5177		379	45,92	98
24	300	8	10010		616	62,5	137,5
25	350	9	17550		930	81,6	182,8
26	400	10	28290		1328	102,6	232
27	500	7	41550		1477	90,11	298,5
28	600	8	77500		2398	122,7	418,6
29	700	8	113000		3189	140,5	529,5
30	800	8	161000		4300	160,2	667,6

## 6. ВЫБОР КАНАТОВ ДЛЯ ГРУЗОПОДЪЕМНЫХ КРАНОВ

Все канаты перед применением их на кране должны быть проверены по формуле

$$S_{\max} = \frac{P}{K}, \quad (6.1)$$

где  $S$  – наибольшее натяжение каната под действием груза;

$P$  – действительное разрывное усилие каната;

$K$  – коэффициент запаса прочности, значение которого зависит от режима работы машины (Л – 5; С – 5,5; Т – 6; ВТ – 6,5).

Для грузоподъемных кранов

$$S_{\max} = \frac{Q(1 - \eta_{\text{бл}})}{a(1 - \eta_{\text{бл}}^m)}, \quad (6.2)$$

где  $Q$  – грузоподъемность крана;

$a$  – тип полиспаста;

$m$  – кратность полиспаста;

$\eta$  – КПД подшипника, установленного в блоке полиспаста (качения – 0,97-0,98; скольжения – 0,95-0,96).

*Задание.* Подобрать канат для грузоподъемного крана.

*Дано* (вариант 1). Грузоподъемность  $Q=10$  т, работающий в среднем режиме на котором с целью обеспечения вертикального подъема груза и создания равномерной нагрузки на ходовые колеса применяется сдвоенный ( $a=2$ ) полиспаст с кратностью  $m=3$ . В блоках полиспаста используются подшипники качения.

*Решение.*

1. Определяем максимальное натяжение каната сдвоенного полиспаста при подъеме груза по формуле

$$S_{\max} = \frac{Q(1 - \eta_{\text{бл}})}{a(1 - \eta_{\text{бл}}^m)} = \frac{10(1 - 0,97)}{2(1 - 0,97^3)} = 1,74 \text{ т} = 1740 \text{ кг}.$$

отсюда

$$S_{\max} = \frac{P}{K} = 1740 = \frac{P}{5,5}.$$

2. Определяем необходимое разрывное усилие с учетом запаса прочности

$$P = S_{\max} K = 1740 \times 5,5 = 9570 \text{ кг}$$

из ГОСТ 3066–80 выбираем канат двойной свивки типа ЛК-О 6×7(1+6)+1×7(1+6) диаметром 13 мм, имеющий при расчетном пределе прочности при растяжении равном 1470 МПа, разрывное усилие  $P=96150$  Н (9615 кг).

*Ответ.* Канат ЛК-О 6×7(1+6)+1×7(1+6) диаметром 13 мм.

Таблица 6.1

**Исходные данные**

№ варианта	$Q$ , т	$m$	$a$	Режим работы	Тип подшипника	№ варианта	$Q$ , т	$m$	$a$	Режим работы	Тип подшипника
1	10	3	2	С	К	16	3,5	3	1	ВТ	С
2	0,5	2	1	С	С	17	12	3	2	Т	К
3	1	3	1	С	К	18	0,85	2	1	Л	С
4	1,25	2	2	Л	К	19	3,5	3	1	С	К
5	1,5	2	2	Л	К	20	2,25	2	1	С	С
6	2	3	1	С	С	21	15,5	3	1	Т	К
7	2,5	3	1	С	К	22	11	3	2	Т	К
8	5	2	1	Т	С	23	13	3	2	С	К
9	10	3	1	Т	К	24	20	3	2	Т	С
10	15	3	1	Т	С	25	22	3	2	ВТ	С
11	32	3	2	ВТ	К	26	25	2	2	ВТ	С
12	16	3	2	ВТ	С	27	26	2	2	Т	К
13	0,8	2	1	С	К	28	30	3	2	Т	С
14	3	3	1	С	С	29	29	3	1	ВТ	С
15	4	3	1	Т	К	30	27	3	2	ВТ	К

## 7. ПОДОБОР КАНАТА ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СТРОПА С ЧЕТЫРЬМЯ ВЕТВЯМИ ДЛЯ ПОДЪЕМА ГРУЗА

Все канаты перед применением их на кране должны быть проверены по формуле

$$S_{\max} = \frac{P}{K}$$

где  $S$  – наибольшее натяжение каната под действием груза;

$P$  – действительное разрывное усилие каната;

$K$  – коэффициент запаса прочности, значение которого зависит от режима работы машины (Л – 5; С – 5,5; Т – 6; ВТ – 6,5).

Для стропов

$$S_{\max} = \frac{G}{n \cos \alpha}, \quad (7.1)$$

где  $G$  – масса поднимаемого груза;

$n$  – число ветвей стропа;

$\alpha$  – угол наклона ветви стропа (не больше  $45^\circ$ ).

*Задание.* Подобрать канат для изготовления стропа с четырьмя ветвями для подъема груза.

*Дано* (вариант 1). Масса 5 т, угол наклона ветви стропа принять  $45^\circ$ .

*Решение.*

1. Определяем максимальное натяжение каната при подъеме груза

$$S_{\max} = \frac{G}{n \cos \alpha} = \frac{5}{4 \cos 45} = 1,775 \text{ т} = 1775 \text{ кг}.$$

2. Определяем необходимое разрывное усилие с учетом запаса прочности

$$P = S_{\max} K = 1775 \times 6 = 10650 \text{ кг}.$$

из ГОСТ 3066–80 выбираем канат двойной свивки типа ЛК-О 6×7(1+6)+1×7(1+6) диаметром 14 мм, имеющий при расчетном пределе прочности при растяжении равном 1470 МПа, разрывное усилие  $P=109600$  Н (10960 кг).

*Ответ.* Канат ЛК-О 6×7(1+6)+1×7(1+6) диаметром 14 мм.

Таблица 7.1

## Исходные данные

№ варианта	Масса поднимаемого груза, т	Число ветвей стропа	Угол наклона ветви стропа, $\alpha$	№ варианта	Масса поднимаемого груза, т	Число ветвей стропа	Угол наклона ветви стропа, $\alpha$
1	5	4	45	16	8,5	4	10
2	1,5	4	35	17	9	4	45
3	2	2	40	18	9,5	2	40
4	2,5	2	45	19	10	4	20
5	3	2	10	20	10,5	4	15
6	3,5	4	35	21	11	4	20
7	4	4	30	22	12	2	45
8	4,5	2	40	23	13	4	40
9	5	1	0	24	14	4	35
10	5,5	4	45	25	15	4	30
11	6	2	45	26	16	2	25
12	6,5	2	30	27	17	4	15
13	7	4	25	28	18	4	30
14	7,5	4	20	29	20	2	45
15	8	4	15	30	30	4	40

## 8. 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 °С и даже при более низкой температуре, когда применяется низкокачественное компрессорное, масло.

Если в воздухопроводах образуются перекисные соединения, взрыв может произойти при температуре примерно + 60 °С, 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 °С и ниже вместо нормальной +240 °С), 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 воздухоборников 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 воздухоборники 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 °С и в многоступенчатых +140 °С. Таким образом, температура сжатого воздуха в воздухопроводе мало отличалась от температуры вспышки масла, хотя согласно правилам эта разница должна быть не меньше 75°С;

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 воздухоборника компрессора. Сделать заключение о возможных причинах взрыва.

*Дано* (вариант 1). объемом воздухоборника  $0,9 \text{ м}^3$ , изготовленного из бесшовной трубы с внутренним диаметром  $D_B = 0,3 \text{ м}$  и толщенной стенки  $\delta_c = 3 \text{ мм}$ . Известно, что компрессором создает давление  $P_K = 0,8 \text{ МПа}$ , смазывается компрессорным маслом М12 с температурной вспышки  $T_B = 489 \text{ К}$ . При осмот-

ре воздухоборника установлено, что взрыв произошел не из-за ослабления элементов конструкции.

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

*Решение.*

1. Определяем предельно допустимое давление для бака воздухоборника

$$P_{доп} = \frac{2\sigma_{доп} \varphi \delta}{D_B} = \frac{2 \cdot 400 \cdot 10^6 \cdot 0,003}{0,3} = 8 \cdot 10^6 \text{ Па} = 8,0 \text{ МПа}, \quad (8.1)$$

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

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

$$N_{вз} = \frac{A_{вз}}{t_{вз}}, \quad (8.2)$$

где

$$A_{вз} = \frac{m}{m-1} P_{вз} \cdot V \left[ 1 - \left( \frac{P_0}{P_{вз}} \right)^{\frac{m-1}{m}} \right], \quad (8.3)$$

$$A_{вз} = \frac{1,41}{1,41-1} \cdot 10 \cdot 10^6 \cdot 0,9 \left[ 1 - \left( \frac{0,1 \cdot 10^6}{10 \cdot 10^6} \right)^{\frac{1,41-1}{1,41}} \right] = 23,133 \cdot 10^6 \text{ Дж}; \quad (8.4)$$

$$N_{вз} = \frac{A_{вз}}{t_{вз}} = \frac{23,133 \cdot 10^6}{0,1} = 231,33 \cdot 10^6 \text{ Вт} = 231330 \text{ кВт},$$

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 воздухоборника, м<sup>3</sup>;

$P_0$  — 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

$$T = T_0 \left( \frac{P_{\kappa}}{P_0} \right)^{\frac{m-1}{m}} = 293 \left( \frac{0,8 \cdot 10^6}{0,1 \cdot 10^6} \right)^{\frac{1,41-1}{1,41}} = 535K$$

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

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

Таблица 8.1

Исходные данные

Исходные данные	Варианты														
	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 <sup>3</sup>	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 <sup>3</sup>	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

## 9. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОХЛАЖДАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ТРУБЧАТОГО ТЕПЛООБМЕННИКА КОМПРЕССОРНОЙ УСТАНОВКИ

*Задание.* Определить безопасную длину труб теплообменника компрессорной установки.

*Дано* (вариант 1). Производительность  $N_k = 10 \text{ м}^3/\text{мин}$ , давление  $P_2 = 0,5 \text{ МПа}$ , охлаждающий теплоноситель – вода ( $T_H = 283 \text{ К}$ ,  $T_K = 298 \text{ К}$ ); наружный диаметр труб теплообменника  $D_H = 18 \text{ мм}$ , 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  $C_{B3} = 1,01 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ , 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

$$G_{B3} = \rho \frac{NP_2}{P_1} = 1,293 \frac{10 \cdot 0,5 \cdot 10^6}{0,1 \cdot 10^6 \cdot 60} = 1,08 \text{ кг.} \quad (9.1)$$

2. Рассчитываем количество избыточной теплоты

$$Q = G_{B3} C_{cp} (T_1 - T_2) = 1,08 \cdot 1,01 (493 - 303) = 207,25 \text{ кДж.} \quad (9.2)$$

3. Находим охлаждаемую длину труб теплообменника

$$l = \frac{Q}{K' \cdot \Delta t_{cp}}. \quad (9.3)$$

3.1. Определяем средний тепловой напор теплообменника

$$\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_6 - \Delta t_M}{2,3 \lg \frac{\Delta t_6}{\Delta t_M}}, \quad (9.4)$$

$$\Delta t_6 = T_1 - T_H = 493 - 283 = 210 \text{ К}, \quad (9.5)$$

$$\Delta t_M = T_2 - T_K = 303 - 298 = 5 \text{ К}, \quad (9.6)$$

$$\Delta t_{cp} = \frac{210 - 5}{2,3 \lg \frac{210}{5}} = 54,91 \text{ К.} \quad (9.7)$$

3.2. Вычисляем внутренний диаметр трубы теплообменника

$$D_B = D_H - 2\delta = 18 - 2 \cdot 0,5 = 17 \text{ мм.} \quad (9.8)$$

3.3. Рассчитываем коэффициент теплопередачи трубы (длиной 1 м)

$$K' = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} \frac{D_H}{D_B} + \frac{D_H}{2\lambda} \ln \frac{D_H}{D_B} + \frac{1}{\alpha_2} + R_3} = \frac{1}{\frac{1}{11600,017} + \frac{0,018}{2 \cdot 50,1} \ln \frac{0,018}{0,017} + 13,51 \cdot 10^{-4}} = 290,98 \quad \text{Вт/(м} \cdot \text{К)}.$$

(9.9)

4. Находим охлаждаемую длину труб теплообменника

$$l = \frac{Q}{K \cdot \Delta t_{cp}} = \frac{207,25 \cdot 10^3}{290,98 \cdot 54,91} = 12,94 \text{ м.} \quad (9.10)$$

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

### Исходные данные

Исходные данные	Варианты														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Производительность компрессора, м <sup>3</sup> /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 <sup>3</sup> /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

*Примечание.* При решении задания принять одинаковыми для всех вариантов следующие значения параметров: в качестве охлаждающего теплоносителя используется вода с начальной температурой  $T_H=283$  К и конечной  $T_K=298$  К; средняя удельная теплоемкость воды  $C_{cp}=4,2$  кДж/кгК; теплоемкость воздуха  $C_{вз}=1,01$  кДж/кгК; температура воздуха после охлаждения  $T_2=303$  К; температура всасываемого воздуха  $T_0=293$ К; коэффициент теплопередачи внутренней и наружной поверхности  $\alpha_1=1160$  Вт/м<sup>2</sup>К;  $\alpha_2=440$  Вт/м<sup>2</sup>К; коэффициент теплопередачи стали  $\lambda=50,1$  Вт/мК; термическое сопротивление от загрязнения для новых труб  $R_3=0$ ,  $P_1=0,1 \cdot 10^6 \cdot 60$  Па.

## ЛИТЕРАТУРА

- 1 Федеральный закон от 21 июля 1997 г. № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов». – М. : Энергия., 2014. – 40 с.
- 2 **Кукин, П.П.** Безопасность жизнедеятельности. Безопасность технологических процессов и производств (Охрана труда): Учеб. пособие для вузов / П.П. Кукин, В.Л. Лапин, Н.Л. Пономарев и др. – М. : Высш. шк., 2002. – 319 с.
- 3 Правила безопасности опасных производственных объектов, на которых используются подъемные сооружения. – СПб.: ДЕАН., 2014. – 144 с.
- 4 **Яцков, А .Д.** Методика расчёта монтажной и ремонтной оснастки: учеб. пособие / А.Д. Яцков, Н.Ю. Холодилин, О.А. Холодилина. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2008. – 116 с.
5. РД 51-0220570-2-93 «Клапаны предохранительные. Выбор, установка и расчет». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://atriumn.com/assets/files/zakonodatelstvo/rd-10.pdf>
6. РД 10-249-98 Нормы расчета на прочность стационарных котлов и трубопроводов пара и горячен воды. – М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2010. – 270 с.
7. Правила промышленной безопасности опасных производственных объектов, на которых используется оборудование, работающее под избыточным давлением. – М. : НЦ ЭНАС., 2014. – 240 с.
8. **Нор, Е.В.** Расчёт прочности сосудов, работающих под давлением [Текст]: метод, указания для выполнения практической работы / Е.В. Нор, Е.С. Бердникова. - Ухта: УГТУ, 2007.- 23 с.





Содержание пояснительной записки

ВВЕДЕНИЕ:

1 Газовая арматура и оборудование

2 Расчет теплоты сгорания природного газа

3 Расчет верхнего и нижнего предела воспламенения природного газа

4 Расчет допустимого расстояния между опорами надземного газопровода

5 Выбор канатов для грузоподъемных кранов

6 Подбор каната для изготовления стропа с четырьмя ветвями для подъема груза

7 Определение давления и мощности взрыва воздухосборника компрессора

8 Определение охлаждающей поверхности трубчатого теплообменника компрессорной установки

ЗАКЛЮЧЕНИЕ:

Краткие выводы по результатам выполнения курсовой работы

Руководитель работы

\_\_\_\_\_14.09.201  
(подпись, дата)

\_\_\_\_\_А.Г. Хвостиков  
(И.О.Ф.)

Задание приняла к исполнению

\_\_\_\_\_14.09.201  
(подпись, дата)

\_\_\_\_\_ (И.О.Ф.)