

РОСЖЕЛДОР
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Ростовский государственный университет путей сообщения»
(ФГБОУ ВО РГУПС)

А.Г. Хвостиков

ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИЙ ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВ

Учебно-методическое пособие
для практических работ

Ростов-на-Дону
2017

УДК 658.382.3(07) + 06

Рецензент – кандидат технических наук, доцент Т.А. Финоченко

Хвостиков, А.Г.

Основы технологий опасных производств: учебно-методическое пособие для практических работ / А.Г. Хвостиков; ФГБОУ ВО РГУПС. – Ростов н/Д, 2017. – 32 с. – Библиогр.: 27.

Приведены задания для практических работ и примеры их выполнения.

Содержание учебного пособия соответствует учебному плану направления подготовки «Техносферная безопасность».

Предназначено для студентов третьего курса очной и заочной форм обучения направления подготовки «Техносферная безопасность», научно-исследовательский профиль, квалификация «бакалавр», в целях закрепления материала, усвоенного на лекционных занятиях, и проверки знаний по дисциплине «Основы технологий опасных производств».

Одобрено к изданию кафедрой «Безопасность жизнедеятельности».

Учебное издание

Хвостиков Андрей Георгиевич

ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИЙ ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВ

Печатается в авторской редакции
Технический редактор Т.И. Исаева

Подписано в печать 23.11.17. Формат 60×84/16.
Бумага газетная. Ризография. Усл. печ. л. 1,86.
Тираж экз. Изд. № 90582. Заказ .

Редакционно-издательский центр ФГБОУ ВО РГУПС.

Адрес университета: 344034, г. Ростов н/Д, пл. Ростовского Стрелкового Полка
Народного Ополчения, д. 2.

© Хвостиков А.Г., 2017

© ФГБОУ ВПО РГУПС, 2017

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|---|----|
| Введение | 4 |
| 1 Расчет пределов взрываемости природного газа | 5 |
| 2 Расчеты безопасных конструктивных и режимных параметров газопроводов | 8 |
| 3 Расчет парового котла | 12 |
| 4 Основные требования безопасности при сборке форм. Расчет массы груза при заливке формы | 18 |
| 5 Борьба с лучистым теплом в литейных и термических цехах | 22 |
| Библиографический список | 27 |
| Приложение | 28 |

ВВЕДЕНИЕ

К категории опасных производственных объектов относятся объекты, на которых [1]:

1) получают, используются, перерабатываются, образуются, хранятся, транспортируются, уничтожаются опасные вещества определенных видов и количествах (воспламеняющиеся, окисляющие, горючие, взрывчатые, токсичные и вещества, представляющие опасность для окружающей среды);

2) используется оборудование, работающее под избыточным давлением более 0,07 МПа:

а) пара, газа (в газообразном, сжиженном состоянии);

б) воды при температуре нагрева более 115 °С;

в) иных жидкостей при температуре, превышающей температуру их кипения при избыточном давлении 0,07 МПа;

3) используются стационарно установленные грузоподъемные механизмы (за исключением лифтов, подъемных платформ для инвалидов), эскалаторы в метрополитенах, канатные дороги, фуникулеры;

4) получают, транспортируются, используются расплавы черных и цветных металлов, сплавы на основе этих расплавов с применением оборудования, рассчитанного на максимальное количество расплава 500 кг и более;

5) ведутся горные работы (за исключением добычи общераспространенных полезных ископаемых и разработки россыпных месторождений полезных ископаемых, осуществляемых открытым способом без применения взрывных работ), работы по обогащению полезных ископаемых;

б) осуществляется хранение или переработка растительного сырья, в процессе которых образуются взрывоопасные пылевоздушные смеси, способные самовозгораться, возгораться от источника зажигания и самостоятельно гореть после его удаления, а также осуществляется хранение зерна, продуктов его переработки и комбикормового сырья, склонных к самосогреванию и самовозгоранию [1].

Процесс изучения данной дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

◆ ОПК-1 – способность учитывать современные тенденции развития техники и технологий в области обеспечения техносферной безопасности, измерительной и вычислительной техники, информационных технологий в своей профессиональной деятельности;

◆ ПК-19 – способность ориентироваться в основных проблемах техносферной безопасности.

В результате изучения дисциплины знания, умения и владения формируются в области, относящейся к опасным производствам.

1 РАСЧЕТ ПРЕДЕЛОВ ВЗРЫВАЕМОСТИ ПРИРОДНОГО ГАЗА

Цель работы: получение умений и навыков по расчету опасных свойств природного газа (пределов взрываемости).

Процесс горения (сжигания) газов начинается лишь тогда, когда газоздушная 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 газоздушной 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 газоздушную смесь. Минимальные и максимальные количества газа в газоздушной смеси, при которых процесс горения идет непрерывно, называют соответственно нижним или верхним пределом воспламенения данного газа в смеси с воздухом. Взрывом газоздушной 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 [2]. Пределы воспламенения смесей газов, не имеющих балластных примесей или содержащих их в минимальном количестве, определяют (приблизительно) по следующей формуле

$$P = \frac{v_1 + v_2 + v_3 + \dots + v_n}{\frac{v_1}{l_1} + \frac{v_2}{l_2} + \frac{v_3}{l_3} + \dots + \frac{v_n}{l_n}}, \quad (1.1)$$

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. 1.1.

Задание для выполнения работы принимается по табл. 1.2.

Таблица 1.1

Температуры воспламенения и пределы некоторых горючих газов

| Наименование газа | Химическая формула | Температура воспламенения, °С | 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 |
| Оксись 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 |
| Водород | H_2 | 530–590 | 4 | 75 |
| Этилен | C_2H_4 | 450–550 | 3 | 30 |

Таблица 1.2

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

| Вариант | Состав газа, % по объему | | | | | | | |
|---------|--------------------------|----------|----------|-------------|-------------|----------|--------|-------|
| | CH_4 | C_2H_4 | C_3H_8 | C_4H_{10} | C_5H_{12} | C_2H_2 | H_2S | 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 |

Пример. Определить верхний и нижний пределы воспламенения природного газа.

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

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

2 Рассчитываем нижний предел воспламенения

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

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

2 РАСЧЕТЫ БЕЗОПАСНЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ И РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ ГАЗОПРОВОДОВ

Цель работы: получение умений и навыков по расчету безопасных конструктивных и режимных параметров опасных производственных объектов (газопроводов).

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», допускаемый пролет газопровода определяется по следующим формулам.

I. Из условия прочности

1) при пневматическом испытании газопровода

$$l = \sqrt{\frac{\left(R - \frac{p_n D}{4\delta}\right)W}{11,45 q}}; \quad (2.1)$$

2) при гидравлическом испытании газопровода

$$l = \sqrt{\frac{\left(R - \frac{p_n D}{4\delta}\right)W}{7,58 q}}, \quad (2.2)$$

где l – допускаемый пролет, м;

R – расчетное сопротивление стали, равное 2000 кг/см^2 ;

W – момент сопротивления сечения трубы, см^3 ;

q – вес одного погонного метра трубы с учетом воды при гидравлическом испытании и без учета воды при пневматическом испытании, кг/м ;

p – рабочее давление в газопроводе, кг/см^2 (МПа);

p_n – испытательное давление в газопроводе, кг/см^2 (МПа);

D – средний диаметр газопровода, см;

δ – толщина стенки трубы, см.

II. Из условия допускаемого прогиба

$$\left\{ \begin{array}{l} l = \frac{\frac{24 EID}{50 q} + \frac{24 Eix}{2 q} + x^4}{x^3}, \\ l = 2x + \sqrt{x^2 - \frac{24 EID}{50 x^2 q}} \end{array} \right., \quad (2.3)$$

где EI – жесткость трубопровода, 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.

Пример. Определить допустимое расстояние между опорами надземного газопровода среднего давления.

Дано: $p \leq 3 \text{ кг/см}^2$ (0,3 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 формула 2.1

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

Из условия прочности при гидравлическом испытании газопровода формула 2.2

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

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

При уклоне газопровода $i=0$ первая часть формулы (2.3) приобретает следующий вид

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

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

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

Вторая часть формулы (2.3) 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. $l = 7,1 \text{ м}$

Задание для самостоятельного выполнения работы принимается по табл. 2.1.

Таблица 2.1

Исходные данные для определения допустимого расстояния между опорами надземного газопровода при величине уклона: $i = 0,000$.

| Номер варианта | Размеры, мм | | Момент инерции, см ⁴ | Давление в газопроводе, МПа | Момент сопротивления, см ³ | 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 | 0,3 | 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 | | 930 | 81,6 | 182,8 |
| 11 | 400 | 10 | 28290 | 0,6 | 1328 | 102,6 | 232 |
| 12 | 500 | 7 | 41550 | | 1477 | 90,11 | 298,5 |
| 13 | 600 | 8 | 77500 | | 2398 | 122,7 | 418,6 |
| 14 | 700 | 8 | 113000 | 0,3 | 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 |

3 РАСЧЕТ ПАРОВОГО КОТЛА

Цель работы: получение умений и навыков по расчету теплового баланс парового котла.

Паровым или водогрейным котлом называется устройство, в котором для получения пара или нагрева воды под давлением выше атмосферного используется теплота, выделяющаяся при сгорании органического топлива. Поверочный расчет парового котла выполняется для оценки показателей экономичности, выбора вспомогательного оборудования, получения исходных данных для последующих расчетов: аэродинамических, гидравлических, прочностных. При выполнении поверочного расчета парового котла его паропроизводительность, параметры пара и питательной воды являются заданными. Поэтому цель расчета состоит в определении температур газовой среды и тепловосприятий рабочего тела в поверхностях нагрева заданного котла. Газомазутные вертикально-водотрубные паровые котлы типа Е (ДЕ) паропроизводительностью 4; 6,5; 10; 16 и 25 т/ч предназначены для выработки насыщенного или слабоперегретого пара давлением 1,4 МПа. Топочная камера котлов размещена сбоку от конвективного пучка, образованного вертикальными трубами, развальцованными в верхнем и нижнем барабанах. Ширина топочной камеры по осям боковых экранов труб одинакова для всех котлов – 1790 мм, глубина топочной камеры изменяется в зависимости от номинальной паропроизводительности котла. Основными составными частями этих котлов являются: верхний и нижний барабаны, конвективный пучок, фронтальный, боковой и задний экраны, образующие топочную камеру. Трубы перегородки и правого бокового экрана, образующего также под и потолок топочной камеры, вводятся непосредственно в верхний и нижний барабаны. Концы труб заднего экрана приварены к верхнему и нижнему коллекторам диаметром 159×6 мм. Трубы фронтального экрана котлов паропроизводительностью 4; 6,5 и 10 т/ч приварены к коллекторам диаметром 159×6 мм, а на котлах паропроизводительностью 16 и 25 т/ч они развальцованы в верхнем и нижнем барабанах. Шаг труб вдоль барабана 90 мм, поперечный – 110 мм (за исключением среднего, равного 120 мм). Для поддержания необходимого уровня скоростей газов в конвективных пучках котлов производительностью 4; 6,5 и 10 т/ч установлены продольные ступенчатые перегородки.

В котле ДЕ – 25 – 14 ГМ для обеспечения надёжной циркуляции в кипящих трубках котельного пучка верхний и нижний барабаны соединены между собой опускными трубами размером $\varnothing 159 \times 4,5$, число которых с ростом производительности котла увеличивают от 1 до 4. Ограждающие поверхности котлов ДЕ на жидком и газообразном топливе выполнены из труб с относительным шагом $s/d = 1,03 \div 1,08$, что позволяет применять облегчённую изоляцию.

Котлы серии ДЕ имеет высокую степень заводской готовности, что повышает эффективность их монтажа.

Тепловой баланс парового котла. Распределение теплоты, вносимой в котел при сжигании топлива, на полезно использованную теплоту и тепловые потери носит название теплового баланса.

Тепловой баланс составляется на 1 кг твёрдого топлива или жидкого топлива и 1 м³ газообразного топлива.

Уравнение теплового баланса имеет вид:

$$Q_P^P = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6, \quad (3.1)$$

где Q_P^P – располагаемая теплота топлива, кДж/кг, кДж/м³;

Q_1 – полезно используемая теплота для производства водяного пара;

Q_2 – потери теплоты с уходящими газами;

Q_3 – потери теплоты от химической неполноты сгорания;

Q_4 – потери теплоты от механической неполноты сгорания; (для твёрдого топлива)

Q_5 – потери теплоты в окружающую среду;

Q_6 – потери с физической теплотой шлаков; (для твёрдого топлива)

Если отнести все слагаемые теплового баланса к располагаемой теплоте и выразить их в процентах, то уравнение (3.1) примет вид:

$$100 = q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6, \% \quad (3.2)$$

Коэффициент полезного действия котельного агрегата (брутто) определяется из данного уравнения:

$$\eta_{бр} = q_1 = 100 - (q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6), \% \quad (3.3)$$

Располагаемая теплота топлива определяется по уравнению:

$$Q_P^P = Q_H^P + Q_{тл} + Q_{внш} + Q_{п.ф.} \quad (3.4)$$

Для большинства видов достаточно сухих и малосернистых твёрдых топлив и газообразного топлива $Q_P^P = Q_H^P$. Для сильновлажных твердых топлив и мазута учитывается физическая теплота топлива $Q_{тл.}, \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$

$$Q_{тл} = C_{тл} \cdot t_{тл}, \quad (3.5)$$

где $C_{тл}$ – теплоемкость мазута, кДж/кг К;

$t_{тл}$ – температура мазута, обычно она составляет 90–140 °С. Зависит от сернистости мазута, чем больше сернистость, тем выше $t_{тл}$.

$$C_{тл} = 1,74 + 0,0025 \cdot t_{тл}, \quad (3.6)$$

В случае предварительного подогрева дутьевого воздуха в калориферах теплоту такого подогрева $Q_{\text{внш}}$ включают в располагаемую теплоту топлива.

$$Q_{\text{внш}} = \beta' (i_{\text{гв}}^0 - i_{\text{хв}}^0); \quad (3.7)$$

$$\beta' = \frac{G}{G_0}, \quad (3.8)$$

где G – количество действительно вводимого воздуха, кг/г;

G_0 – количество теоретически необходимого воздуха, кг/г;

$i_{\text{гв}}^0, i_{\text{хв}}^0$ – энтальпии теоретического объёма горячего и холодного воздуха.

При использовании для распыла мазута паромеханических форсунок в топку котла вместе с разогретым топливом поступает пар. Он вносит дополнительную теплоту $Q_{\text{п.ф.}}$.

$$Q_{\text{п.ф.}} = G(i_{\text{п}} - 2510) \quad (3.9)$$

где G – расход пара на 1 кг топлива, кг/кг;

$i_{\text{п}}$ – энтальпия дутьевого пара;

2510 – величина расчётной энтальпии водяного пара, сбрасываемого с продуктами сгорания в атмосферу.

При паровом распыливании мазута расход пара составляет $G = 0,3 \div 0,35$ кг/кг.

При слоевом сжигании антрацита и подаче пара под решётку $G = 0,2 \div 0,4$ кг/кг.

Потеря теплоты с уходящими газами определяется по формуле:

$$q_2 = \frac{J_{\text{yx}} - \alpha_{\text{yx}} \cdot J_{\text{г}}^0}{Q_{\text{Р}}^{\text{P}}} \cdot (100 - q_4), \% \quad (3.10)$$

где J_{yx} – энтальпия уходящих газов при α_{yx} и v_{yx} , кДж/кг, кДж/м³, определяется по J-v диаграмме;

α_{yx} – коэффициент избытка воздуха за экономайзером, $J_{\text{г}}^0$ – энтальпия воздуха при температуре в котельной $t_{\text{хв}} = 30^\circ\text{C}$,

$J_{\text{г}}^0$ – энтальпии теоретических объёмов воздуха, определяется по формуле 3.11.

$$J_{\text{г}}^0 = V^0 \cdot C_{\text{В}} \cdot v \quad (3.11)$$

Для твёрдого и жидкого топлива расчёт производится исходя из состава рабочей массы по следующим формулам:

– теоретический объём воздуха

$$V^0 = 0,089(C^{\text{P}} + 0,375S^{\text{P}}) + 0,265H^{\text{P}} - 0,033O^{\text{P}}, \quad (3.12)$$

При сжигании природного газа расчет теоретических объемов воздуха и продуктов сгорания производится на основании процентного состава компонентов, входящих в него:

теоретический объем воздуха:

$$V^0 = 0,0476 \cdot \left[\sum (m + 0,25 \cdot n) \cdot C_m H_n + 0,5 \cdot (CO + H_2) + 1,5 \cdot H_2S - O_2 \right], \quad (3.13)$$

Теплоёмкость воздуха при $t_{xв} = 30^\circ\text{C}$ составляет $C_{xв} = 1,29$

Потеря теплоты от химической неполноты сгорания q_3 зависит от рода топлива и типа топочного устройства. Опыты показали, что при сжигании твердого топлива в слое q_3 лежит обычно в пределах от 0,5 до 30%, а при сжигании в камерных топках – от 0,5 до 1,5%. При сжигании мазута и природного газа $q_3 = 0,5\%$.

Величина потерь теплоты от механической неполноты сгорания топлива q_4 учитывается только для твердого топлива. Для слоевых топок q_4 может составлять от 1–2 до 18 %, для камерных топок от 1 до 5 % [4].

Потеря теплоты от наружного охлаждения q_5 для стационарных паровых котлов принимается по данным рис. 3.1. Распределение q_5 по отдельным элементам котельного агрегата, производится пропорционально количеству теплоты, отдаваемому продуктами сгорания в соответствующем элементе, и учитывается введением коэффициента сохранения теплоты φ :

$$\varphi = 1 - \frac{q_5}{\eta_{оп} + q_5}. \quad (3.14)$$

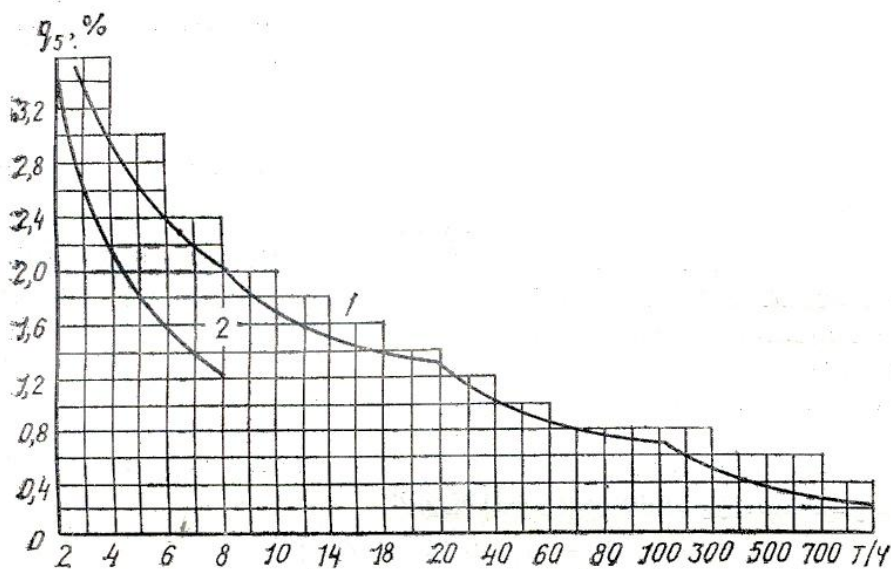


Рис. 3.1. Потери теплоты от наружного охлаждения котла в зависимости от паропроизводительности котла:

1 – котёл с хвостовыми поверхностями нагрева (водяным экономайзером или воздухонагревателем); 2 – котёл без хвостовых поверхностей нагрева

Потери теплоты с физической теплотой шлаков q_6 определяются по [3].

Полное количество полезно используемой теплоты Q_1 для производства водяного пара определяется по формуле :

$$Q_1 = D \cdot \left[(i' - i_{п.в}) + \frac{\Pi}{100} \cdot (i' - i_{п.в}) \right], \text{ кДж/ч,} \quad (3.15)$$

где D – паропроизводительность агрегата, кг/ч;

i'', i' – энтальпия, соответственно насыщенного пара, котловой воды, кДж/кг, принимается при давлении в котле (см. приложение);

$i_{п.в}$ – энтальпия питательной воды, кДж/кг, принимается в соответствии с формулой:

$$i_{п.в} = c_v \cdot t_{п.в} \quad (3.16)$$

где c_v – теплоёмкость питательной воды, принимают равной 4,19 кДж/кг;

$t_{п.в}$ – температура питательной воды, принимают равной 104 °С.

Π – процент непрерывной продувки, принимается равным 3 %.

Расход топлива, подаваемого в топку, определяется по формуле:

$$B = \frac{Q_1}{3600 \cdot Q_p^P \cdot \eta_{гр}} 100, \text{ кг/с, м}^3/\text{с} \quad (3.17)$$

Расчетный расход топлива определяется с учетом потери теплоты от механической неполноты сгорания, для твёрдого топлива.

$$B^P = B \cdot \left(1 - \frac{q_4}{100} \right) \quad (3.18)$$

Задание для самостоятельного выполнения работы принимается по табл. 3.1.

Таблица 3.1

Исходные данные для расчета

| Вариант | Марка котла | Давление на выходе, МПа | Топливо | |
|---------|--------------|-------------------------|---------------------|-------------------|
| | | | Газ (месторождение) | Мазут |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1 | ДЕ 4-14 ГМ | 1,0 | Уренгойское | - |
| 2 | ДЕ 6,5-14 ГМ | 0,9 | Оренбургское | - |
| 3 | ДЕ 10-14 ГМ | 0,8 | Ставропольское | - |
| 4 | ДЕ 16-14 ГМ | 0,7 | Бугурусланское | - |
| 5 | ДЕ25-14 ГМ | 1,0 | Вой-Вожское | - |
| 6 | ДЕ16-14 ГМ | 0,9 | - | М40 малосернистый |

Окончание табл. 3.1

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|----|--------------|-----|------------------|--------------------|
| 7 | ДЕЮ-14 ГМ | 0,8 | Седь-Июль (Коми) | - |
| 8 | ДЕ 6,5-14 ГМ | 0,7 | Газовское 1 | - |
| 9 | ДЕ 4-14 ГМ | 0,8 | - | М40 малосернистый |
| 10 | ДЕ 25-14 ГМ | 1,0 | Вуктыльское | - |
| 11 | ДЕ16-14 ГМ | 0,7 | Березовское | - |
| 12 | ДЕЮ-14 ГМ | 0,8 | Соленинское | - |
| 13 | ДЕ 6,5-14 ГМ | 0,9 | - | М40 многосернистый |
| 14 | ДЕ 4-14 ГМ | 0,8 | Мессояхское | - |
| 15 | ДЕ 6,5-14 ГМ | 1,0 | Газовское 2 | - |

4 ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ СБОРКЕ ФОРМ. РАСЧЕТ МАССЫ ГРУЗА ПРИ ЗАЛИВКЕ ФОРМЫ

Цель работы: получение знаний и умений по обеспечению безопасности литейного производства и изготовлении литейных форм.

Тщательность сборки литейной формы в значительной мере определяет точность геометрических размеров отливки, образование заливов и трудоемкость обрубки.

Сборку начинают с установки нижней полуформы на заливочную площадку или тележку конвейера. Затем из полости полуформы сжатым воздухом выдувают сор и пыль, попавшие при извлечении модели и ремонте полуформы. В чистую полость полуформы в определенной последовательности устанавливают стержни. Устойчивое положение стержней в форме обеспечивается знаками, однако в ряде случаев используют специальные металлические подставки – жеребейки.

Не допускаются к сборке полуформы без вентиляционных каналов с большими трещинами, разрушенными отдельными частями, с недостаточной плотностью смеси.

Перед сборкой форм контролируют внешний вид доставленных стержней, их температуру. Она должна быть не выше 100 °С.

При сборке форм контролируют точность установки стержней относительно поверхности, которая является базовой при разметке для обработки отливок резанием. В единичном производстве положение стержней в форме проверяют штангенциркулями, линейками, складными метрами, рулетками. В серийном и массовом производстве контроль выполняют шаблонами. Их изготовляют с учетом усадки сплава, припусков на обработку отливки резанием, уклонов и т. п.

В массовом производстве отливок со сложными внутренними плоскостями, когда в форму необходимо устанавливать большое число стержней, находит применение способ предварительной сборки стержней. Их устанавливают в специальном кондукторе, закрепляют пневматическими зажимами. Собранный таким образом комплект стержней по направляющим штырям устанавливают в форму. В полости формы стержни фиксируются уже своими знаками, пневматические зажимы освобождаются и кондуктор снимают с опоки.

После установки стержней визуально контролируют заделку доступных стыков между ними и формой. Необходимо проверять качество заделки мест расположения подъемов стержней. Все места заделок подсушивают. В крупных стержнях подъемы заклеивают сухим стержнем.

Затем проверяют все элементы литниковой системы, устанавливают фильтровальные сетки, очищают от загрязнений выпоры. После этого нижнюю полуформу накрывают верхней. Точность совмещения нижней и верхней полуформ обеспечивается стационарными или съемными контрольными штырями.

Сборка завершается загрузкой формы, исключающей всплытие ее верхних элементов при заливке жидким сплавом.

На собранную форму необходимо наложить груз, вес которого должен превышать усилие, создаваемое жидким металлом и стремящееся приподнять верхнюю половину формы. В среднем величина этого груза в 4–5 раз превышает вес отливки, но при наличии стержней может быть значительно большим. Вместо груза опоки можно скреплять скобами, болтами и струбцинами (рис. 4.1).

Полуформы для мелкого литья в основном скрепляются накладыванием груза. Этот способ высокопроизводителен и позволяет внедрять механизацию и автоматизацию на данном участке.

Однако для крупных форм накладывание грузов при скреплении полуформ становится невыгодным, так как требуется очень большой груз, а его установка и снятие представляют собой трудоемкие операции. Поэтому опоки средних и крупных форм не нагружают, а скрепляют друг с другом. Сборка форм должна производиться согласованно с работой участка заливки форм жидким металлом. Дело в том, что длительный промежуток времени от сборки до заливки может привести к увлажнению стержней или осыпанию материала формы, а это вызовет брак отливок. Предельная длительность промежутка времени между сборкой форм и заливкой их металлом: для сырых форм – 6 ч, поверхностно-подсушенных – 18 ч, для сухих – 36 ч.

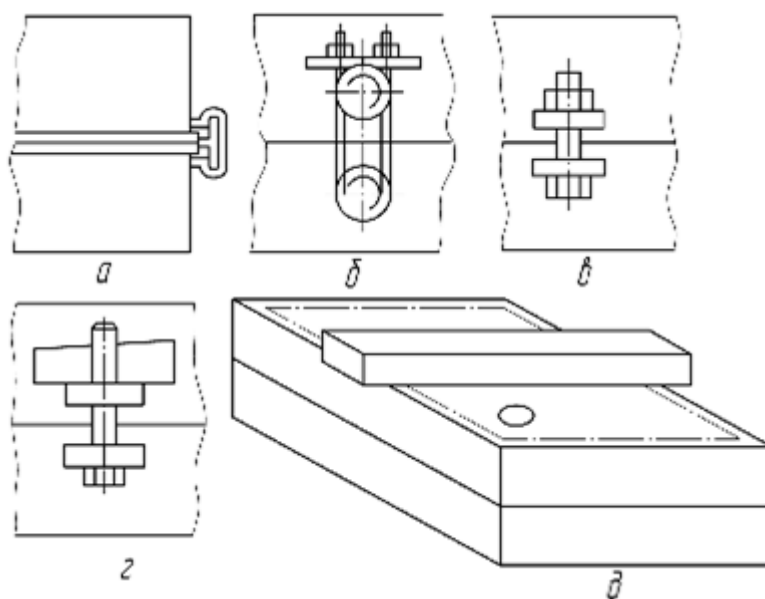


Рис. 4.1. Способы крепления полуформ:

a – скобками; *б* – струбцинами; *в* – болтами; *г* – клиньями; *д* – установкой груза

Собранную и скрепленную форму подают на заливку. Формы заливают из ковшей, ручных или крановых, в зависимости от веса отливки. Для разлива чугуна широко используют барабанные ковши различной емкости, которая может достигать 3–5 тонн.

Металл в формы необходимо заливать короткой и мощной струей, не допуская ее разрыва.

Для расчета массы груза необходимо знать силу P_m с которой расплав действует на верхнюю полуформу.

$$P_m = F \cdot H \cdot \rho, \quad (4.1)$$

где F – площадь проекции отливки на плоскость разъема;

H – напор расплава;

ρ – плотность расплава.

Например, отливка имеет размеры проекции на плоскость разъема формы 300×300 мм, или 3×3 дм. Напор $H = 200$ мм, или 2 дм. Плотность чугуна примем 7 кг/дм³. Тогда сила $P_m = 3 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 7 = 126$ кгс (1,26 кН). Реальная сила, действующая со стороны расплава на верхнюю полуформу, будет несколько больше за счет гидравлического удара при заливке. Рассчитаем силу действия расплава на верхнюю полуформу при изготовлении отливки со стержнем

$$P_m = (B \cdot L \cdot H - B \cdot L \cdot h)\rho, \quad (4.2)$$

где B – ширина отливки, дм;

L – длина отливки, дм;

H – высота уровня расплава, дм;

ρ – плотность расплава (для чугуна 7 кг/дм³);

h – высота уровня расплава от плоскости разъема формы до верхней плоскости полости формы, дм.

На стержень, находящийся в расплаве, действует выталкивающая сила, направленная вверх. Эта сила равна массе жидкости, вытесненной стержнем:

$$P_{ст} = B_{ст} \cdot H_{ст} \cdot L \cdot \rho, \quad (4.3)$$

где $B_{ст}$ – ширина стержня, дм;

$H_{ст}$ – высота стержня, дм;

L – длина отливки, дм.

Усилие со стороны стержня также действует вверх, на верхнюю полуформу. Поэтому общее усилие, действующее на верхнюю полуформу, равно:

$$P_{общ} = P_m + P_{ст}. \quad (4.4)$$

Пример. Определить массу груза, устанавливаемого на форму при отливке детали из чугуна, имеющую прямоугольную форму со сторонами 300×200 мм высоту 200 мм с квадратным отверстием расположенным по середине, оформляющий его знак имеет размеры 150×150 мм.

Рассчитаем силу действия расплава на верхнюю полуформу при изготовлении отливки со стержнем по формуле (4.2)

$$P_m = (2 \cdot 3 \cdot 2 - 2 \cdot 3 \cdot 1)7 = 42 \text{ кг},$$

На стержень, находящийся в расплаве, действует выталкивающая сила, направленная вверх. Эта сила равна массе жидкости, вытесненной стержнем находится по формуле (4.3)

$$P_{\text{ст}} = 1,5 \cdot 1,5 \cdot 3 \cdot 7 = 47,25 \text{ кг.}$$

Усилие со стороны стержня также действует вверх, на верхнюю полуформу. Поэтому общее усилие, действующее на верхнюю полуформу, находим по формуле (4.4):

$$P_{\text{общ}} = 42 + 47,25 = 89,25 \text{ кг.}$$

Задание для самостоятельного выполнения работы принимается по табл. 4.1.

Таблица 4.1

Исходные данные

| Вариант | B , дм; | L , дм; | H , дм | $B_{\text{ст}}$, дм | $H_{\text{ст}}$, дм | Материал |
|---------|-----------|-----------|----------|----------------------|----------------------|----------|
| 1 | 3 | 5 | 3 | 1 | 1 | Сталь |
| 2 | 4 | 5 | | | 1,5 | |
| 3 | 2 | 6 | | | 3,5 | |
| 4 | 5 | 6 | 5 | | | |
| 5 | 6 | 8 | 5 | 2 | 2,5 | Чугун |
| 6 | 7 | 9 | | | 3 | |
| 7 | 5 | 6 | | | 6,5 | |
| 8 | 4 | 6 | 5 | 1,5 | 2 | |
| 9 | 6 | 9 | | | 2,5 | |
| 10 | 4,5 | 5 | | | 6 | |
| 11 | 5,5 | 6 | 4 | 2,5 | 2 | |
| 12 | 6,5 | 8 | | | 3 | |
| 13 | 4,5 | 6 | | | 4 | |
| 14 | 3,5 | 7 | 3 | 2,5 | 2 | |
| 15 | 8 | 9 | | | | |

5 БОРЬБА С ЛУЧИСТЫМ ТЕПЛОМ В ЛИТЕЙНЫХ И ТЕРМИЧЕСКИХ ЦЕХАХ

Цель работы: получение знаний и умений по организации борьбы с лучистым теплом в литейных и термических цехах.

Основные цехи предприятий машиностроительной промышленности — литейные, кузнечные, термические (подготовительные) и металлообрабатывающие (механические, механосборочные, сварочные и др.).

Технологический процесс литейного производства основан на получении изделий посредством заливки расплавленного металла в различные формы. Основными неблагоприятными факторами производственной среды, определяющими условия труда в литейных цехах, являются метеорологические условия, пыль, токсические газы, шум и значительное физическое напряжение при выполнении немеханизированных операций. Неблагоприятные метеорологические условия в виде высокой температуры и воздействия лучистого тепла отмечаются при плавке и заливке металла, а также нагреве металлических изделий в печах.

Основными вредными факторами, действующими на организм рабочих в литейных и термических цехах, являются: физические – повышенная температура воздуха, инфракрасное и ультрафиолетовое излучение, вибрация, шум, освещённость и химические пары, газы, пыль, туман, токсичные вещества.

Микроклимат в литейных и термических цехах завода определяется выделением большого количества конвекционного и лучистого тепла, в связи с чем он и относится к группе горячих цехов, а удельная тепловая нагрузка в нем достигает от 840 до 1880 кДж/(м³ч). Показатели, характеризующие микроклимат: температура воздуха, относительная влажность воздуха, скорость движения воздуха, интенсивность теплового излучения. В кабинах, на пультах и постах управления технологическим процессом и др. производственных помещениях при выполнении работ операторского типа, связанных с нервно-эмоциональным напряжением, соблюдаются оптимальные величины температуры воздуха 22–24 °С, его относительная влажность 60–40 % и скорость движения не более 0,1 м/с. Оптимальные микроклиматические условия для литейного цеха не должны выходить более чем на 2 °С за пределы допустимых величин температуры воздуха. Перепад температуры воздуха по высоте рабочей зоны при всех категориях работ – до 3 °С. Колебания температуры воздуха по горизонтали в рабочей зоне, а также в течение смены – до 5 °С при средней тяжести работ.

Допустимая интенсивность теплового облучения работающих от нагретых поверхностей технологического оборудования, осветительных приборов на постоянных и не постоянных рабочих местах 35 Вт/м² при облучении 50 % поверхности тела и более, 70 Вт/м² – при величине облучаемой поверхности от 25 до 50 % и 100 Вт/м² – при облучении не более 25 % поверхности тела согласно ГОСТ 12.1.005-88.

Допустимая интенсивность теплового облучения от открытых источников (нагретый металл) равна 140 Вт/м^2 , при этом облучению должно подвергаться не более 25 % поверхности тела и обязательным является использование средств индивидуальной защиты (в том числе лица и глаз).

Мероприятия по нормализации микроклимата – это механизация и автоматизация процесса загрузки печей, разливки металла, поддержка режима плавки и т.п. В борьбе с избыточным теплом и теплоизлучениями используется: дистанционное управление трудовым процессом, вынос оборудования на открытые площадки, устройство защитных экранов, применение вентиляции механической и естественной, рационализация режимов труда и отдыха, рациональный питьевой режим, применение средств индивидуальной защиты, профилактика охлаждения и переохлаждения. В помещениях во избежание резких потоков воздуха на рабочих местах входы оборудуются шлюзами, двери воздушными завесами, используется двойное остекление окон, утепление ограждений, пола, воздушное и лучистое отопление, предусматриваются перерывы для обогрева, закаливание, применение средств индивидуальной защиты.

Воздушное душирование наиболее эффективное мероприятие для создания на постоянных рабочих местах или участках, на которых параметры воздуха отличаются от средних в рабочей зоне, требуемых по санитарно-гигиеническим нормам метеорологических условий температуры, влажности и скорости движения воздуха.

Воздушное душирование используется в следующих случаях:

- для борьбы с лучистой теплотой;
- для борьбы с конвективной теплотой при невозможности обеспечения нормативных параметров общеобменной вентиляции;
- для борьбы с газовыми выбросами при невозможности устройства локализирующей вентиляции.

Наиболее распространено ВД в литейных, кузнечных и термических цехах, там где тепловой поток составляет $175\text{--}350 \text{ Вт/м}^2$ и более.

Душирование рабочих мест осуществляется в зависимости от поверхностной плотности лучистого теплового потока внутренним и наружным воздухом. Если плотность лучистого теплового потока находится в пределах $175\text{--}380 \text{ Вт/м}^2$ в пределах рабочего места площадью более $0,2 \text{ м}^2$ применяется внутренний воздух. При этом температура и скорость воздуха на рабочем месте должны соответствовать СНиПу.

Воздушное душирование рабочих мест или участках осуществляют с помощью установок стационарного или переносного типа (рис. 5.1). Они имеют приспособления для регулирования направления и скорости подаваемого воздуха от 2 до 5 м/с, чтобы обдувалась наибольшая поверхность тела рабочего. В холодный период года воздух подогревается, в теплый — охлаждается распылением воды или с помощью холодильных установок (при интенсивности теплового потока на рабочих местах более $0,88 \text{ МДж}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ и температуре воздуха $28 \text{ }^\circ\text{C}$, у печей, прессов, молотов – $5\text{--}7,6 \text{ МДж}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$, у мест складирования поковок, пультов управления, в кабинах крановщиков $1,26\text{--}5 \text{ МДж}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$). Рекомендуются

мые температуры и скорости движения воздуха при воздушном душировании в зависимости от интенсивности теплового потока, определяемой как средняя в течение часа.

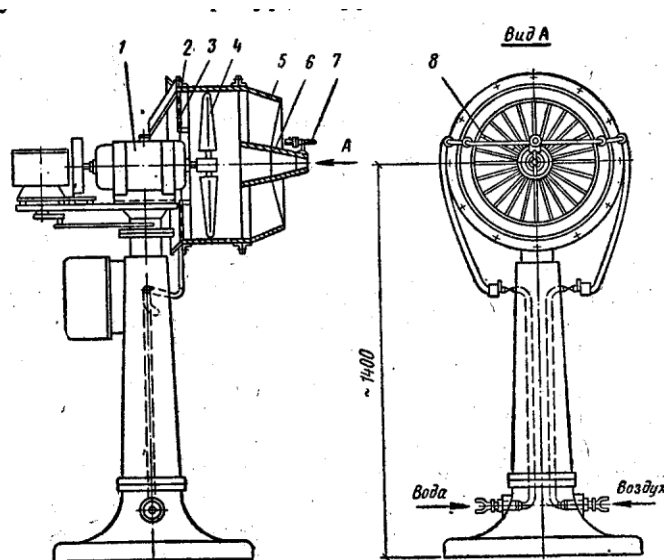


Рис. 5.1. Воздушный душ

1 – электродвигатель; 2 – обечайка; 3 – сетка; 4 – осевой вентилятор;
5 – конфузор; 6 – обтекатель; 7 – пневматическая форсунка;
8 – направляющие лопатки

Скорость и температуру воздуха на рабочем месте при применении воздушных душей назначают в зависимости от интенсивности теплового облучения человека, длительности непрерывного пребывания его под облучением и температуры окружающего воздуха.

Ось воздушного потока направлена на грудь человека горизонтально или сверху под углом 45° при обеспечении на рабочем месте заданных температур и скоростей движения воздуха, а также в лицо (зону дыхания) горизонтально или сверху под углом 45° при обеспечении допустимых концентраций вредных выделений.

Расстояние от душирующего патрубка до рабочего места 1 м. Ширина рабочей площадки принимается равной 1 м.

Агрегат состоит из чугунной станины, на которой смонтирован осевой вентилятор № 5 типа МЦ с электродвигателем, обечайки с коллектором и сеткой, конфузора с направляющими лопатками и обтекателем, пневматической форсунки типа ФП-1 или ФП-2 и трубопроводов с арматурой и гибкими шлангами для подвода воды и сжатого воздуха. Агрегат изготавливается с поворотом вентилятора вокруг оси станины до 60° и подъемом ствола по вертикали на 200–600 мм.

При борьбе с тепловым облучением для систем воздушного душирования, работающих на наружном воздухе, принимаются расчетные параметры наружного воздуха категории Б, а в остальных случаях — расчетные параметры наружного воздуха категории А.

Пример. Рассчитаем воздушный душ на рабочем термиста диаметром $d_p = 1$ м, где требуется поддерживать скорость движения воздуха $v_p = 3$ м/с и температуру $t_p = 21$ °С. Температура воздуха в рабочей зоне $t_{p.з} = 30$ °С. Наружный воздух путем охлаждения в камере (адиабатически) приобретает температуру $t_{охл} = 17,5$ °С. Расстояние от душирующего патрубка до рабочего места $x = 1$ м.

Принимая нагрев воздуха в вентиляторе и воздуховодах $\Delta t_{\pi} = 1,5$ °С, определяем разность температур P_{τ} по формуле

$$P_{\tau} = \frac{t_{p.з} - t_p}{t_{p.з} - t_0}, \quad (5.1)$$

где $t_{p.з}$ – температура в рабочей зоне; °С;

t_p – нормальная температура воздуха на рабочем месте, °С;

t_0 – температура воздуха на выходе из душирующего патрубка, °С;

$t_0 = t_{охл} + \Delta t$ (здесь $t_{охл}$ – температура воздуха на выходе оросительной камеры после адиабатического охлаждения, °С; Δt – нагрев воздуха в вентиляторе и воздуховодах между оросительной камерой и душирующим патрубком).

$$P_{\tau} = \frac{30 - 21}{30 - 17,5 + 1,5} = 0,818.$$

Так как $P_{\tau} > 0,6$, расчет ведем по формулам

$$F_0 = \left(\frac{1 + 5,3 P_{\tau} - 3,2}{0,75 n} \right)^2; \quad (5.2)$$

$$v_0 = \frac{v_p}{0,7 + 0,1 \frac{P_{\tau}}{0,8 m \sqrt{F_0} - x}}. \quad (5.3)$$

Принимаем к установке душирующий патрубок ППД, находим коэффициенты $n = 4,5$ и $m = 6,3$ [12].

Определяем площадь выходного сечения патрубка, F_0 , по формуле (5.2):

$$F_0 = \left(\frac{1 + 5,3 \cdot 0,818 - 3,2}{0,75 \cdot 4,5} \right)^2 = 0,4 \text{ м}^2.$$

Устанавливаем ближайший патрубок ППД – 10 с $F_0 = 0,41 \text{ м}^2$.

Определяем скорость движения воздуха на выходе из патрубка по формуле (5.3):

$$v_0 = \frac{3}{0,7 + 0,1 \frac{0,818}{0,8 \cdot 6,3 \sqrt{0,41} - 1}} = 3,25 \text{ м/с}.$$

Объемный расход воздуха, L , выходящего из душирующего патрубка, составит

$$L = 3600 F_0 v_0, \quad (5.4)$$

$$L = 3600 \cdot 0,41 \cdot 3,25 = 4798 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Задание для самостоятельного выполнения работы принимается по табл. 5.1.

Таблица 5.1

Исходные данные

| Вариант | Поддерживаемая скорость движения воздуха v_p , м/с | Поддерживаемая температура t_p , °С | Температура воздуха в рабочей зоне $t_{p.з}$, °С. | Температура наружного воздуха $t_{охл}$, °С. | Расстояние от душирующей патрубка до рабочего места x , м |
|---------|--|---------------------------------------|--|---|---|
| 1 | 2,1 | 21 | 30,1 | 17,5 | 1 |
| 2 | 2,2 | | | | |
| 3 | 2,3 | | | | |
| 4 | 2,5 | | 29 | 17 | |
| 5 | 2,4 | | | | |
| 6 | 2,6 | | | | |
| 7 | 2,4 | 21,5 | 29,5 | 17,3 | 1,1 |
| 8 | 2,7 | | | | |
| 9 | 2,8 | | | | |
| 10 | 2,9 | | | | |
| 11 | 3 | | | | |
| 12 | 3,11 | 22 | 29,8 | 18 | 0,9 |
| 13 | 3,15 | | | | |
| 14 | 2,95 | | | | |
| 15 | 3 | | | | |

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 Федеральный закон от 21 июля 1997 г. № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов». – М. : Энергия, 2014. – 40 с.
- 2 Техносферная безопасность. Расчеты : учеб. пособие для вузов / В.Л. Гапонов, В.В. Киреева, В.И. Гаршин [и др.] ; под ред. проф. В.Л. Гапонова. – Ростов н/Д : Изд. центр ДГТУ, 2012. – 131 с.
- 3 **Иванова, Е.С.** Поверочный расчет парового котла : метод. указания / Е.С. Иванова, Л.В. Артеева. – Ухта : УГТУ, 1997. – 51 с. ил.с.
- 4 Справочник по котельным установкам малой производительности / К.Ф. Роддатис, А.Н. Полтарецкий – М. : Энергоатомиздат, 1989. – 487 с.

Термодинамические свойства воды и водяного пара
в состоянии насыщения (аргумент – давление)

| p , бгр | t , °C | v' , м ³ /кг | v'' , м ³ /кг | h' , кДж/кг | h'' , кДж/кг | r , кДж/кг | s' , кДж/(кг*К) | s'' , кДж/(кг*К) |
|-----------|----------|------------------------------|-------------------------------|------------------|-------------------|-----------------|----------------------|-----------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| | | 0,0010001 | 129,208 | 29,33 | 2513,8 | 2484,5 | 0,1060 | 8,9756 |
| | | 0,0010006 | 87,982 | 54,71 | 2525,0 | 2470,3 | 0,1956 | 8,8278 |
| | | 0,0010012 | 67,006 | 73,45 | 2533,2 | 2459,8 | 0,2606 | 8,7236 |
| 0,025 | 21,094 | 0,0010020 | 54,256 | 88,44 | 2539,7 | 2451,3 | 0,3119 | 8,6431 |
| 0,030 | 24,098 | 0,0010027 | 45,668 | 101,00 | 2545,2 | 2444,2 | 0,3543 | 8,5776 |
| 0,035 | 26,692 | 0,0010033 | 39,480 | 111,84 | 2549,9 | 2438,1 | 0,3907 | 8,5224 |
| 0,040 | 28,981 | 0,0010040 | 34,803 | 121,41 | 2554,1 | 2432,7 | 0,4224 | 8,4747 |
| 0,045 | 31,034 | 0,0010046 | 0,010 | 6,982 | 2557,8 | 2427,8 | 0,4507 | 8,4327 |
| 0,050 | 32,90 | 0,0010052 | 0,015 | 13,034 | 2561,2 | 2423,4 | 0,4762 | 8,3952 |
| 0,055 | 34,60 | 0,0010058 | 0,020 | 17,511 | 2564,2 | 2419,3 | 0,4995 | 8,3613 |
| 0,060 | 36,18 | 0,0010064 | 23,742 | 151,50 | 2567,1 | 2415,6 | 0,5209 | 8,3305 |
| 0,065 | 37,65 | 0,0010069 | 22,017 | 157,64 | 2669,7 | 2412,1 | 0,5401 | 8,3022 |
| 0,070 | 39,02 | 0,0010074 | 20,532 | 163,38 | 2572,2 | 2408,8 | 0,5591 | 8,2760 |
| 0,075 | 40,32 | 0,0010079 | 19,241 | 168,77 | 2574,5 | 2405,7 | 0,5763 | 8,2517 |
| 0,089 | 41,53 | 0,0010084 | 18,106 | 173,87 | 2576,7 | 2402,8 | 0,5926 | 8,2289 |
| 0,085 | 42,69 | 0,0010089 | 17,102 | 178,69 | 2578,8 | 2400,1 | 0,6079 | 8,2076 |
| 0,090 | 43,79 | 0,0010094 | 16,206 | 183,28 | 2580,8 | 2397,5 | 0,6224 | 8,1875 |
| 0,095 | 44,83 | 0,0010098 | 15,402 | 187,66 | 2582,6 | 2394,9 | 0,6361 | 8,1685 |
| 0,100 | 45,83 | 0,0010102 | 14,676 | 191,84 | 2584,4 | 2392,6 | 0,6493 | 8,1505 |
| 0,11 | 47,71 | 0,0010111 | 13,418 | 199,68 | 2587,8 | 2388,1 | 0,6738 | 8,1171 |
| 0,12 | 49,45 | 0,0010119 | 12,364 | 206,94 | 2590,9 | 2384,0 | 0,6963 | 8,0867 |
| 0,13 | 51,06 | 0,0010126 | 11,467 | 213,70 | 2593,7 | 2380,0 | 0,7172 | 8,0588 |
| 0,14 | 52,58 | 0,0010133 | 10,696 | 220,03 | 2596,4 | 2376,4 | 0,7367 | 8,0330 |
| 0,15 | 54,00 | 0,0010140 | 10,025 | 225,98 | 2598,9 | 2372,9 | 0,7549 | 8,0089 |
| 0,16 | 55,34 | 0,0010147 | 9,4348 | 231,60 | 2601,3 | 2369,7 | 0,7721 | 7,9865 |
| 0,17 | 56,62 | 0,0010154 | 8,9128 | 236,93 | 2603,5 | 2366,6 | 0,7883 | 7,9655 |
| 0,18 | 57,83 | 0,0010160 | 8,4470 | 242,00 | 2605,7 | 2363,7 | 0,8036 | 7,9456 |

Продолжение прил.

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|------|--------|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 0,19 | 58,98 | 0,0010166 | 8,0288 | 246,83 | 2607,7 | 2360,9 | 0,8182 | 7,9269 |
| 0,20 | 60,09 | 0,0010172 | 7,6515 | 251,46 | 2609,6 | 2358,1 | 0,8321 | 7,9092 |
| 0,21 | 61,15 | 0,0010178 | 7,3091 | 255,89 | 2611,5 | 2355,6 | 0,8454 | 7,8923 |
| 0,22 | 62,16 | 0,0010183 | 6,9967 | 260,14 | 2613,2 | 2353,1 | 0,8581 | 7,8762 |
| 0,23 | 63,14 | 0,0010189 | 6,7110 | 264,24 | 2614,9 | 2350,7 | 0,8703 | 7,8609 |
| 0,24 | 64,08 | 0,0010194 | 6,4483 | 268,18 | 2616,6 | 2348,4 | 0,8820 | 7,8462 |
| 0,25 | 64,99 | 0,0010199 | 6,2060 | 271,99 | 2618,1 | 2346,1 | 0,8932 | 7,8321 |
| 0,26 | 65,87 | 0,0010204 | 5,9819 | 275,68 | 2619,7 | 2344,0 | 0,9041 | 7,8186 |
| 0,27 | 66,72 | 0,0010209 | 5,7739 | 279,24 | 2621,1 | 2341,9 | 9,9146 | 7,8057 |
| 0,28 | 67,55 | 0,0010214 | 5,5804 | 282,70 | 2622,6 | 2339,9 | 0,9248 | 7,7932 |
| 0,29 | 68,35 | 0,0010219 | 5,3998 | 286,05 | 2624,0 | 2337,9 | 0,9346 | 7,7811 |
| 0,30 | 69,12 | 0,0010223 | 5,2308 | 289,31 | 2625,3 | 2336,0 | 0,9441 | 7,7695 |
| 0,32 | 70,62 | 0,0010232 | 4,9238 | 295,55 | 2627,8 | 2332,2 | 0,9623 | 7,7474 |
| 0,34 | 72,03 | 0,0010241 | 4,6518 | 301,48 | 2630,3 | 2328,8 | 0,9795 | 7,7266 |
| 0,36 | 73,37 | 0,0010249 | 4,4092 | 307,12 | 2632,5 | 2325,4 | 0,9958 | 7,7070 |
| 0,38 | 74,66 | 0,0010257 | 4,1915 | 312,50 | 2634,7 | 2322,2 | 1,0113 | 7,6886 |
| 0,40 | 75,89 | 0,0010265 | 3,9949 | 317,65 | 2636,8 | 2319,2 | 1,0261 | 7,6711 |
| 0,42 | 77,06 | 0,0010272 | 3,8165 | 322,60 | 2638,8 | 2316,2 | 1,0403 | 7,6544 |
| 0,44 | 78,19 | 0,0010280 | 3,6537 | 327,36 | 2640,7 | 2313,3 | 1,0539 | 7,6386 |
| 0,46 | 79,28 | 0,0010287 | 3,5047 | 331,95 | 2642,5 | 2310,5 | 1,0669 | 7,6234 |
| 0,48 | 80,33 | 0,0010294 | 3,3678 | 335,35 | 2644,3 | 2308,9 | 1,0794 | 7,6090 |
| 0,50 | 81,35 | 0,0010301 | 3,2415 | 340,57 | 2646,0 | 2305,4 | 1,0912 | 7,5951 |
| 0,55 | 83,74 | 0,0010317 | 2,9648 | 350,61 | 2650,0 | 2299,4 | 1,1194 | 7,5627 |
| 0,60 | 85,95 | 0,0010333 | 2,7329 | 359,93 | 2653,6 | 2293,7 | 1,1454 | 7,5332 |
| 0,65 | 88,02 | 0,0010347 | 2,5357 | 368,62 | 2657,0 | 2288,4 | 1,1696 | 7,5061 |
| 0,70 | 89,96 | 0,0010361 | 2,3658 | 376,77 | 2660,2 | 2283,4 | 1,1921 | 7,4811 |
| 0,75 | 91,78 | 0,0010375 | 2,2179 | 384,45 | 2663,2 | 2278,8 | 1,2132 | 7,4577 |
| 0,80 | 93,51 | 0,0010387 | 2,0879 | 391,72 | 2666,0 | 2274,3 | 1,2330 | 7,4360 |
| 0,85 | 95,14 | 0,0010400 | 1,9728 | 398,63 | 2668,6 | 2270,0 | 1,2515 | 7,4155 |
| 0,90 | 96,71 | 0,0010412 | 1,8701 | 405,21 | 2671,1 | 2265,9 | 1,2696 | 7,3963 |
| 0,95 | 98,20 | 0,0010423 | 1,7779 | 411,49 | 2673,5 | 2262,0 | 1,2865 | 7,3781 |
| 1,00 | 99,63 | 0,0010434 | 1,6946 | 417,51 | 2675,7 | 2258,2 | 1,3027 | 7,3608 |
| 1,1 | 102,32 | 0,0010455 | 1,5501 | 428,84 | 2680,0 | 2251,2 | 1,3330 | 7,3288 |
| 1,2 | 104,81 | 0,0010476 | 1,4289 | 439,36 | 2683,8 | 2244,4 | 1,3609 | 7,2996 |
| 1,3 | 107,13 | 0,0010495 | 1,3258 | 449,19 | 2687,4 | 2238,2 | 1,3868 | 7,2728 |
| 1,4 | 109,32 | 0,0010513 | 1,2370 | 458,42 | 2690,8 | 2232,4 | 1,4109 | 7,2480 |
| 1,6 | 111,37 | 0,0010530 | 1,1597 | 467,13 | 2693,9 | 2226,8 | 1,4336 | 7,2248 |

Продолжение прил.

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|-----|---------|-----------|---------|--------|----------|----------|----------|---------|
| 1,6 | 113,32 | 0,0010547 | 1,0917 | 475,38 | 2696,8 | 2221,4 | 1,4550 | 7,2032 |
| 1,7 | 115,17 | 0,0010563 | 1,0315 | 483,22 | 2699,5 | 2216,3 | 1,4752 | 7,1829 |
| 1,8 | 116,93 | 0,0010579 | 0,97775 | 490,70 | 2702,1 | 2211,4 | 1,4944 | 7,1638 |
| 1,9 | 118,62 | 0,0010594 | 0,92951 | 497,85 | 2704,6 | 2206,8 | 1,5127 | 7,1458 |
| 2,0 | 120,23 | 0,0010608 | 0,88592 | 504,7 | 2706,9 | 2202,2 | 1,5301 | 7,1286 |
| 2,1 | 121,78 | 0,0010623 | 0,84636 | 511,3 | 2709,2 | 2197,9 | 1,5468 | 7,1123 |
| 2,2 | 123,27 | 0,0010636 | 0,81027 | 517,6 | 2711,3 | 2193,7 | 1,5628 | 7,0967 |
| 2,3 | 124,71 | 0,0010650 | 0,77724 | 523,7 | 2713,3 | 2189,6 | 1,5781 | 7,0819 |
| 2,4 | 126,09 | 0,0010663 | 0,74684 | 529,6 | 2715,3 | 2185,7 | 1,5929 | 7,0676 |
| 2,5 | 127,43 | 0,0010675 | 0,71881 | 535,4 | 2717,2 | 2181,8 | 1,6072 | 7,0540 |
| 2,6 | 128,73 | 0,0010688 | 0,66288 | 540,9 | 2719,0 | 2178,1 | 1,6209 | 7,0409 |
| 2,7 | 129,98 | 0,0010700 | 0,66878 | 546,2 | 2720,7 | 2174,5 | 1,6342 | 7,0282 |
| 2,8 | 131,20 | 0,0010712 | 0,64636 | 551,4 | 2722,3 | 2170,9 | 1,6471 | 7,0161 |
| 2,9 | 132,39 | 0,0010724 | 0,62544 | 556,5 | 2723,9 | 2167,4 | 1,6596 | 7,0044 |
| 3,0 | 133,54 | 0,0010735 | 0,60586 | 561,4 | 2725,5 | 2164,1 | 1,6717 | 6,9930 |
| 3,1 | 134,66 | 0,0010746 | 0,58750 | 566,2 | 2727,0 | 2160,8 | 1,6834 | 6,9820 |
| 3,2 | 135,76 | 0,0010757 | 0,57027 | 570,9 | 2728,4 | 2157,5 | 1,6948 | 6,9714 |
| 3,3 | 136,82 | 0,0010768 | 0,55402 | 575,5 | 2729,8 | 2154,3 | 1,7059 | 6,9611 |
| 3,4 | 137,8'6 | 0,0010779 | 0,53871 | 579,9 | 2731,2 | 2151,3 | 1,7168 | 6,9511 |
| 3,5 | 138,88 | 0,0010789 | 0,52425 | 584,3 | 2732,5 | 2148,2 | 1,7273 | 6,9414 |
| 3,6 | 139,87 | 0,0010799 | 0,51656 | 588,5 | 2733,8 | 2145,3 | 1,7376 | 6,9320 |
| 3,7 | 140,84 | 0,0010809 | 0,49758 | 592,7 | 2735,0 | 2142,3) | 1,7476 | 6,9228 |
| 3,8 | 141,79 | 0,0010819 | 0,48527 | 596,8 | 2736,2 | 2139,4 | 1,7575 | 6,9138 |
| 3,9 | 142,72 | 0,0010829 | 0,47357 | 600,8 | 2737,4 | 2136,6 | 1,7670 | 6,9051 |
| 4,0 | 143,62 | 0,0010839 | 0,46242 | 604,7 | 2738,5 | 2133,8 | 1,7764 | 6,8966 |
| 4,1 | 144,52 | 0,0010848 | 0,45181 | 608,5 | 2739,7 | 2131,2 | 1,7856 | 6,8883 |
| 4,2 | 145,39 | 0,0010858 | 0,44168 | 612,3 | 2740,7 | 2128,4 | 1,7946 | 6,8802 |
| 4,3 | 146,25 | 0,0010867 | 0,43201 | 616,0 | 2741,8 | 2125,8 | 1,8034 | 6,8723 |
| 4,4 | 147,09 | 0,0010876 | 0,42276 | 619,6 | 2742,8 | 2123,2 | 1,8120 | 6,8645 |
| 4,5 | 147,92 | 0,0010885 | 0,41392 | 623,2 | 2743,8 | 2120,6 | 1,8204 | 6,8570 |
| 4,6 | 148,73 | 0,0010894 | 0,40544 | 626,7 | 2744,8 | 2118,1 | 1,8287 | 6,8496 |
| 4,7 | 149,53 | 0,0010903 | 0,39731 | 630,1 | 2745,8 | 2115,7 | 1,8368 | 6,8424 |
| 4,8 | 150,31 | 0,0010911 | 0,38950 | 633,5 | 2746,7 | 2113,2 | 1,8448 | 6,8352 |
| 4,9 | 151,09 | 0,0010920 | 0,38202 | 636,8 | 2747,6 | 2110,8 | 1,8527 | 6,8283. |
| 5,0 | 151,85 | 0,0010928 | 0,37481 | 640,1 | 2748,5 | 2108,4 | 1,8604 | 6,8215 |
| 5,2 | 153,33 | 0,0010945 | 0,36120 | 646,5. | 2750,2 | 2103,7 | 1,8754 | 6,8083 |
| 5,4 | 154,77 | 0,0010961 | 0,34857 | 652,8 | 2751,9 | 2099,1 | 1,8899 | 6,7955 |
| 5,5 | 155,47 | 0,0010969 | 0,34259 | 655,8 | 2752,7 | 2096,9 | 1,8970 | 6,7893 |
| 5,6 | 156,16 | 0,0010977 | 0,33681 | 658,8 | 2753,4 | 2094,6 | 1,9040 . | 6,7832 |
| 5,8 | 157,52 | 0,0010993 | 0,32583 | 664,7 | 2755,0 | 2090,3 | 1,9176 | 6,7713 |
| 6,0 | 158,84 | 0,0011009 | 0,31556 | 670,4 | 2756,, 4 | 2086,0 | 1,9308 | 6,7598 |
| 6,2 | 160*12 | 0,0011024 | 0,30593 | 676,0 | 2757,8 | 2081,8 | 1,9437 | 6,7487 |
| 6,4 | 161,38 | 0,0011039 | 0,29689 | 681,5 | 2759,2 | 2077,7 | 1,9562 | 6,7379 |
| 6,5 | 161,99 | 0,0011046 | 0,29257 | 684,2 | 2759,9 | 2075,7 | 1,9623 | 6,7326 |
| 6,6 | 162,60 | 0,0011053 | 0,28837 | 686,8 | 2760,6 | 2073,7 | 1,9684 | 6,7274 |

Продолжение прил.

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|------|--------|-----------|---------|-------|---------|--------|--------|--------|
| 6,8 | 163,79 | 0,0011068 | 0,28033 | 692,0 | 2761,7 | 2069,7 | 1,9803 | 6,7173 |
| 7,0 | 164,96 | 0,0011082 | 0,27274 | 697,1 | 2762,9 | 2065,8 | 1,9918 | 6,7074 |
| 7,2 | 166,10 | 0,0011096 | 0,26556 | 702,0 | 3784* I | 2062,1 | 2,0031 | 6,6978 |
| 7,4 | 167,21 | 0,0011110 | 0,25875 | 706,9 | 2765,2 | 2058,3 | 2,0141 | 6,6884 |
| 7,5 | 167,76 | 0,0011117 | 0,25548 | 709,3 | 2765,8 | 2056,5 | 2,0195 | 6,6838 |
| 7,7 | 168,30 | 0,0011123 | 0,25228 | 711,7 | 2766,3 | 2054,6 | 2,0249 | 6,6793 |
| 7,8 | 169,37 | 0,0011137 | 0,24614 | 716,4 | 2767,4 | 2051,0 | 2,0354 | 6,6704 |
| 8,0 | 170,42 | 0,0011150 | 0,24030 | 720,9 | 2768,4 | 2047,5 | 2,0457 | 6,6618 |
| 8,2 | 171,44 | 0,0011163 | 0,23472 | 725,4 | 2769,3 | 2043,9 | 2,0558 | 6,6532 |
| 8,4 | 172,45 | 0,0011176 | 0,22941 | 729,8 | 2770,3 | 2040,5 | 2,0657 | 6,6450 |
| 8,5 | 172,95 | 0,0011182 | 0,22685 | 732,0 | 2770,8 | 2038,8 | 2,0705 | 6,6409 |
| 8,6 | 173,44 | 0,0011188 | 0,22434 | 734,2 | 2771,2 | 2037,0 | 2,0753 | 6,6369 |
| 8,8 | 174,40 | 0,0011201 | 0,21948 | 738,4 | 2772,1 | 2033,7 | 2,0848 | 6,6289 |
| 9,0 | 175,36 | 0,0011213 | 0,21484 | 742,6 | 2773,0 | 2030,4 | 2,0941 | 6,6212 |
| 9,2 | 176,29 | 0,0011228 | 0,21038 | 746,8 | 2773,8 | 2027,0 | 2,1033 | 6,6136 |
| 9,4 | 177,21 | 0,0011238 | 0,20612 | 750,8 | 2774,7 | 2023,9 | 2,1122 | 6,6062 |
| 9,6 | 178,12 | 0,0011250 | 0,20202 | 754,8 | 2775,5 | 2020,7 | 2,1210 | 6,5989 |
| 9,8 | 179,01 | 0,0011262 | 0,19809 | 758,7 | 2776,2 | 2017,5 | 2,1297 | 6,5917 |
| 10,0 | 179,88 | 0,0011274 | 0,19430 | 762,6 | 2777,0 | 2014,4 | 2,1382 | 6,5847 |
| 10,5 | 182,01 | 0,0011303 | 0,18546 | 772,0 | 2778,7 | 2006,7 | 2,1588 | 6,5677 |
| 11,0 | 184,06 | 0,0011331 | 0,17739 | 781,1 | 2780,4 | 1999,3 | 2,1786 | 6,5515 |
| 11,5 | 186,04 | 0,0011359 | 0,17000 | 789,9 | 2782,0 | 1992,1 | 2,1976 | 6,5359 |
| 12,0 | 187,96 | 0,0011386 | 0,16320 | 798,4 | 2783,4 | 1985,0 | 2,2160 | 6,5210 |
| 12,5 | 189,81 | 0,0011412 | 0,15693 | 806,7 | 2784,8 | 1978,1 | 2,2338 | 6,5066 |
| 13,0 | 191,60 | 0,0011438 | 0,15112 | 814,7 | 2786,0 | 1971,3 | 2,2509 | 6,4927 |
| 13,5 | 193,35 | 0,0011464 | 0,14574 | 822,5 | 2787,3 | 1964,8 | 2,2675 | 6,4794 |
| 14,0 | 195,04 | 0,0011489 | 0,14072 | 830,1 | 2788,4 | 1958,3 | 2,2836 | 6,4665 |
| 14,5 | 196,68 | 0,0011514 | 0,13603 | 837,5 | 2789,4 | 1951,9 | 2,2992 | 6,4539 |
| 15,0 | 198,28 | 0,0011538 | 0,13165 | 844,7 | 2790,4 | 1945,7 | 2,3144 | 6,4418 |
| 15,5 | 199,84 | 0,0011562 | 0,12754 | 851,7 | 2791,3 | 1939,6 | 2,3292 | 6,4300 |
| 16,0 | 201,37 | 0,0011586 | 0,12368 | 858,6 | 2792,2 | 1933,6 | 2,3436 | 6,4187 |
| 16,5 | 202,85 | 0,0011610 | 0,12004 | 865,3 | 2793,0 | 1927,7 | 2,3576 | 6,4075 |
| 17,0 | 204,30 | 0,0011633 | 0,11661 | 871,8 | 2793,8 | 1922,0 | 2,3712 | 6,3967 |
| 17,5 | 205,72 | 0,0011656 | 0,11338 | 878,3 | 2794,5 | 1916,2 | 2,3846 | 6,3862 |
| 18,0 | 207,10 | 0,0011678 | 0,11031 | 884,6 | 2795,1 | 1910,5 | 2,3976 | 6,3759 |
| 18,5 | 208,46 | 0,0011700 | 0,10740 | 890,7 | 2795,8 | 1905,1 | 2,4103 | 6,3659 |
| 19,0 | 209,79 | 0,0011722 | 0,10464 | 896,8 | 2796,4 | 1899,6 | 2,4227 | 6,3561 |
| 19,5 | 211,09 | 0,0011744 | 0,10202 | 902,7 | 2796,9 | 1894,2 | 2,4349 | 6,3466 |
| 20,0 | 212,37 | 0,0011766 | 0,09953 | 908,6 | 2797,4 | 1888,8 | 2,4468 | 6,3373 |
| 20,5 | 213,62 | 0,0011787 | 0,09715 | 914,3 | 2797,9 | 1883,6 | 2,4585 | 6,3281 |
| 21,0 | 214,85 | 0,0011808 | 0,09488 | 919,9 | 2798,3 | 1878,4 | 2,4699 | 6,3192 |
| 21,5 | 216,05 | «,0011830 | 0,09271 | 925,5 | 2798,7 | 1873,2 | 2,4812 | 6,3104 |
| 22,0 | 217,24 | 0,0011850 | 0,09064 | 930,9 | 2799,1 | 1868,2 | 2,4922 | 6,3018 |
| 22,5 | 218,40 | 0,0011871 | 0,08866 | 936,3 | 2799,5 | 1863,2 | 2,5030 | 6,2934 |
| 23,0 | 219,54 | 0,0011891 | 0,08676 | 941,6 | 2799,8 | 1858,2 | 2,5136 | 6,2851 |
| 23,5 | 220,67 | 0,0011912 | 0,08494 | 946,8 | 2800,1 | 1853,3 | 2,5240 | 6,2771 |

Окончание прил.

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|------|--------|-----------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 24,0 | 221,78 | 0,0011932 | 0,08319 | 951,9 | 2800,4 | 1848,5 | 2,5343 | 6,2691 |
| 24,5 | 222,86 | 0,0011952 | 0,08151 | 957,0 | 2800,6 | 1843,6 | 2,5444 | 6,2613 |
| 25,0 | 223,94 | 0,0011972 | 0,07990 | 962,0 | 2800,8 | 1838,8 | 2,5543 | 6,2536 |
| 25,5 | 224,99 | 0,0011991 | 0,07834 | 966,9 | 2801,0 | 1834,1 | 2,5640 | 6,2460 |
| 26,0 | 226,03 | 0,0012011 | 0,07685 | 971,7 | 2801,2 | 1829,5 | 2,5736 | 6,2386 |
| 26,5 | 227,06 | 0,0012030 | 0,07541 | 976,5 | 2801,4 | 1824,9 | 2,5831 | 6,2313 |
| 27,0 | 228,06 | 0,0012050 | 0,07402 | 981,2 | 2801,5 | 1820,3 | 2,5924 | 6,2241 |
| 27,5 | 229,06 | 0,0012069 | 0,07268 | 985,9 | 2801,6 | 1815,7 | 2,6016 | 6,2170 |
| 28,0 | 230,04 | 0,0012088 | 0,07138 | 990,5 | 2801,7 | 1811,2 | 2,6106 | 6,2101 |
| 28,5 | 231,01 | 0,0012107 | 0,07013 | 995,0 | 2801,8 | 1806,8 | 2,6195 | 6,2032 |
| 29,0 | 231,96 | 0,0012126 | 0,06892 | 999,5 | 2801,8 | 1802,3 | 2,6283 | 6,1964 |
| 29,5 | 232,91 | 0,0012145 | 0,06775 | 1004,0 | 2801,9 | 1797,9 | 2,6370 | 6,1898 |
| 30,0 | 233,84 | 0,0012163 | 0,06662 | 1008,4 | 2801,9 | 1793,5 | 2,6455 | 6,1832 |
| 31 | 235,66 | 0,0012200 | 0,06446 | 1017,0 | 2801,9 | 1784,9 | 2,6623 | 6,1703 |
| 32 | 237,44 | 0,0012237 | 0,06243 | 1025,5 | 2801,8 | 1776,3 | 2,6786 | 6,1577 |
| 33 | 239,18 | 0,0012273 | 0,06052 | 1033,7 | 2801,7 | 1768,0 | 2,6946 | 6,1454 |
| 34 | 240,88 | 0,0012310 | 0,05872 | 1041,8 | 2801,5 | 1759,7 | 2,7101 | 6,1335 |
| 35 | 242,54 | 0,0012345 | 0,05702 | 1049,8 | 2801,3 | 1751,5 | 2,7253 | 6,1218 |
| 36 | 244,16 | 0,0012381 | 0,05540 | 1057,6 | 2801,0 | 1743,4 | 2,7402 | 6,1103 |
| 37 | 245,75 | 0,0012416 | 0,05388 | 1065,3 | 2800,7 | 1735,4 | 2,7548 | 6,0992 |
| 38 | 247,31 | 0,0012451 | 0,05243 | 1072,8 | 2800,3 | 1727,5 | 2,7690 | 6,0883 |
| 39 | 248,84 | 0,0012486 | 0,05105 | 1080,2 | 2799,9 | 1719,7 | 2,7830 | 6,0775 |
| 40 | 250,33 | 0,0012521 | 0,04974 | 1087,5 | 2799,4 | 1711,9 | 2,7967 | 6,0670 |
| 41 | 251,80 | 0,0012555 | 0,04849 | 1094,6 | 2798,9 | 1704,3 | 2,8101 | 6,0566 |
| 42 | 253,24 | 0,0012589 | 0,04729 | 1101,7 | 2798,4 | 1696,7 | 2,8233 | 6,0465 |
| 43 | 254,66 | 0,0012623 | 0,04615 | 1108,6 | 2797,8 | 1689,2 | 2,8362 | 6,0366 |
| 44 | 256,05 | 0,0012657 | 0,04506 | 1115,5 | 2797,2 | 1681,7 | 2,8489 | 6,0268 |