

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 допускаемого 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 $Q_{тл.}, \frac{кДж}{кг}$

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

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.

$$Q_{\text{внш}} = \beta' (i_{26}^0 - i_{\text{хв}}^0); \quad (3.7)$$

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

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:

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

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_{e}^0 – энтальпия воздуха при температуре в котельной $t_{\text{хв}} = 30^\circ\text{C}$,

J_{e}^0 – энтальпии теоретических объёмов воздуха, определяется по формуле 3.11.

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

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

– теоретический объём воздуха

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

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 :

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

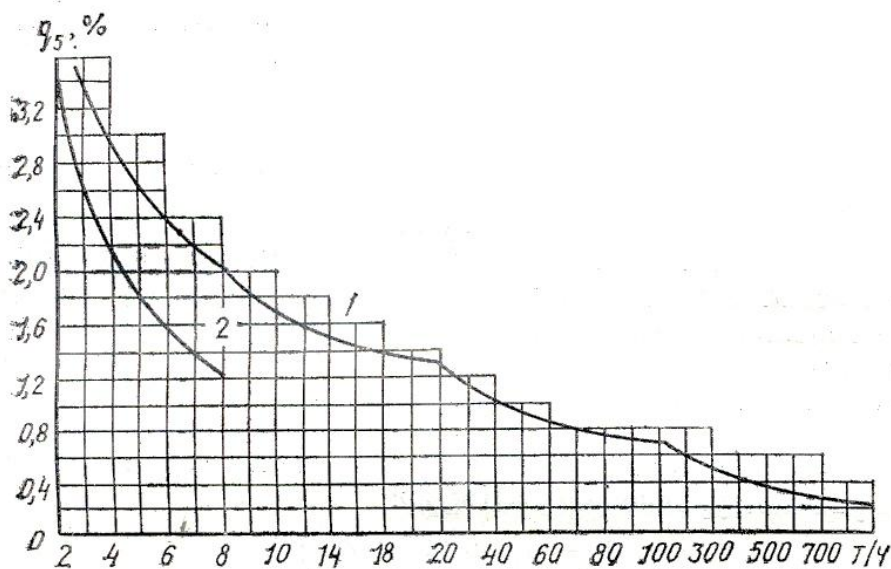


Рис. 3.1. Потери теплоты от наружного охлаждения котла в зависимости от паропроизводительности котла:

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 изготавливают 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, исключая 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.

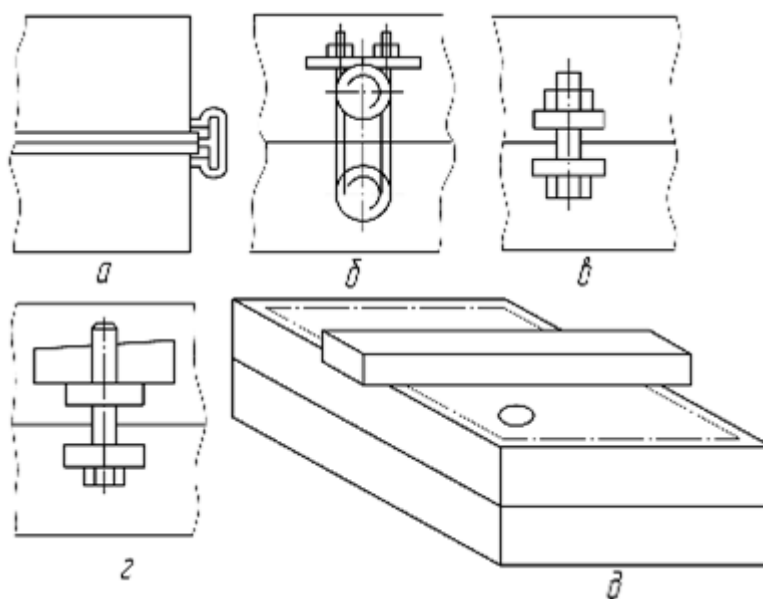


Рис. 4.1. Способы крепления полуформ:

а – 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				
3	2	6	3,5		1,5	
4	5	6				
5	6	8	5	2	2,5	Чугун
6	7	9				
7	5	6	6,5		3	
8	4	6				
9	6	9	5	1,5	2	Алюминий
10	4,5	5				
11	5,5	6	6		2,5	
12	6,5	8				
13	4,5	6	4	2,5	2	
14	3,5	7	3			
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.

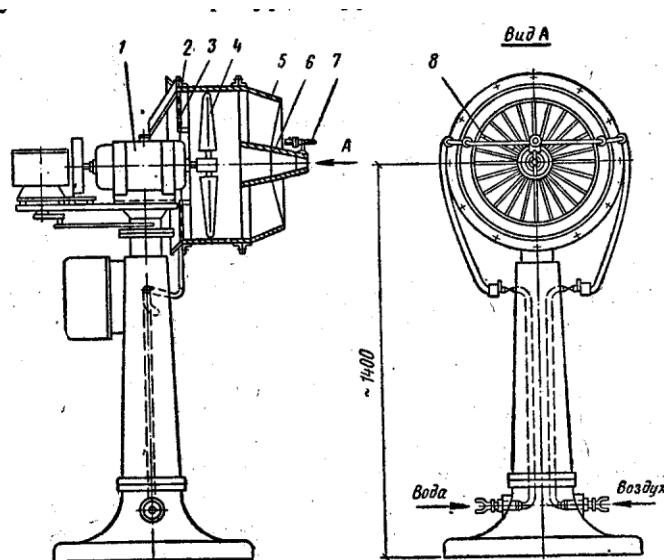


Рис. 5.1. Воздушный душ

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