

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Кафедра машин и аппаратов химических и пищевых производств

РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ БАРАБАННОЙ СУШИЛКИ

Методические указания

Составитель
А.Н. Холодилин

Рекомендовано к изданию редакционно-издательским советом федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Оренбургский государственный университет» для обучающихся по образовательной программе высшего образования по направлениям подготовки 15.03.02 Технологические и машины и оборудование, 18.03.02. Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии

Оренбург
2021

УДК 664(076.5)
ББК 36.81 - 5я7
Р 24

Рецензент -доктор технических наук, профессор П.В. Медведев

Р 24 **Расчет основных параметров барабанной сушилки:**
методические указания / составитель А.Н. Холодилин;
Оренбургский гос. ун – т. – Оренбург: ОГУ, 2021. – 52 с.

Методические указания, содержат общие сведения о процессе сушки во вращающихся барабанах, методику технологических и конструктивных расчетов основных параметров и геометрических размеров барабанных сушилок.

Методические указания предназначены для проведения практических занятий, выполнения контрольных и курсовых работ, курсовых проектов и самостоятельной работы.

УДК 664(076.5)
ББК 36.81 -5 я7

© Холодилин А.Н.,
составление, 2021
© ОГУ, 2021

Содержание

Введение	4
1 Схема процесса сушки материала в барабанной сушилке.....	5
1.1 Основы теории сушки в барабанной сушилке	5
1.2 Исходные данные для расчетов	7
2 Расчет основных параметров барабанной сушилки	10
2.1 Техническое задание	10
2.2 Расчет параметров газов, подаваемых в сушильную камеру	11
2.3 Определение параметров отработанных газов, расхода сушильного агента и расхода тепла на сушку	16
2.4 Определение конструктивных и технологических параметров сушильной установки.....	20
3 Прочностной расчет элементов сушильной установки.....	26
3.1 Расчет на прочность барабана.....	26
3.2 Проверка на прочность опорных роликов	31
3.3 Расчет на прочность бандажа.....	32
3.4 Проверка на прочность упорного ролика	34
Список использованных источников	37
Приложение А.....	38
Приложение Б	49
Приложение В.....	51

Введение

Методические указания написаны в дополнение к основной литературе и курсам лекций «Процессы и аппараты химической технологии» и «Процессы и аппараты пищевых производств»

Эти изучаемые дисциплины являются переходными курсами от общеинженерных дисциплин, к специальным. Позволяют:

- закрепить и применить на практике, знания, полученные при изучении общеинженерных дисциплинах, способствующих изучению различных факторов, позволяющих управлять технологическими процессами;

- детально и более подробно разобраться в технологических процессах химических и пищевых производств, что позволит в дальнейшем лучше изучить и разобраться в технологическом оборудовании данных производств.

Методические указания предназначены для проведения практических занятий, выполнения контрольных и курсовых работ, курсовых проектов. Пояснительные записки по перечисленным видам работ, должны оформляться в строгом соответствии с стандартом организации СТО 02069024.101-2015. «Работы студенческие». Общие требования и правила оформления.

В процессе выполнения работ, студенты изучают нормативную и справочную литературу, приобретают навыки анализа изучаемых материалов, технологических и конструктивных расчетов, оформления конструкторской документации.

1 Схема процесса сушки материала в барабанной сушилке

1.1 Основы теории сушки в барабанной сушилке

Тепловой сушкой называется процесс удаления влаги из твердых материалов ее испарением и отвода водяных паров. Во время сушки из материала удаляется летучий компонент в виде пара.

Процесс сушки применяют, как правило, для повышения физико-механических свойств материала, способных обеспечить длительное хранение продукта без существенного снижения его качества или при проведении промежуточных технологических операциях, позволяющих в конечном итоге повысить качество выпускаемой продукции.

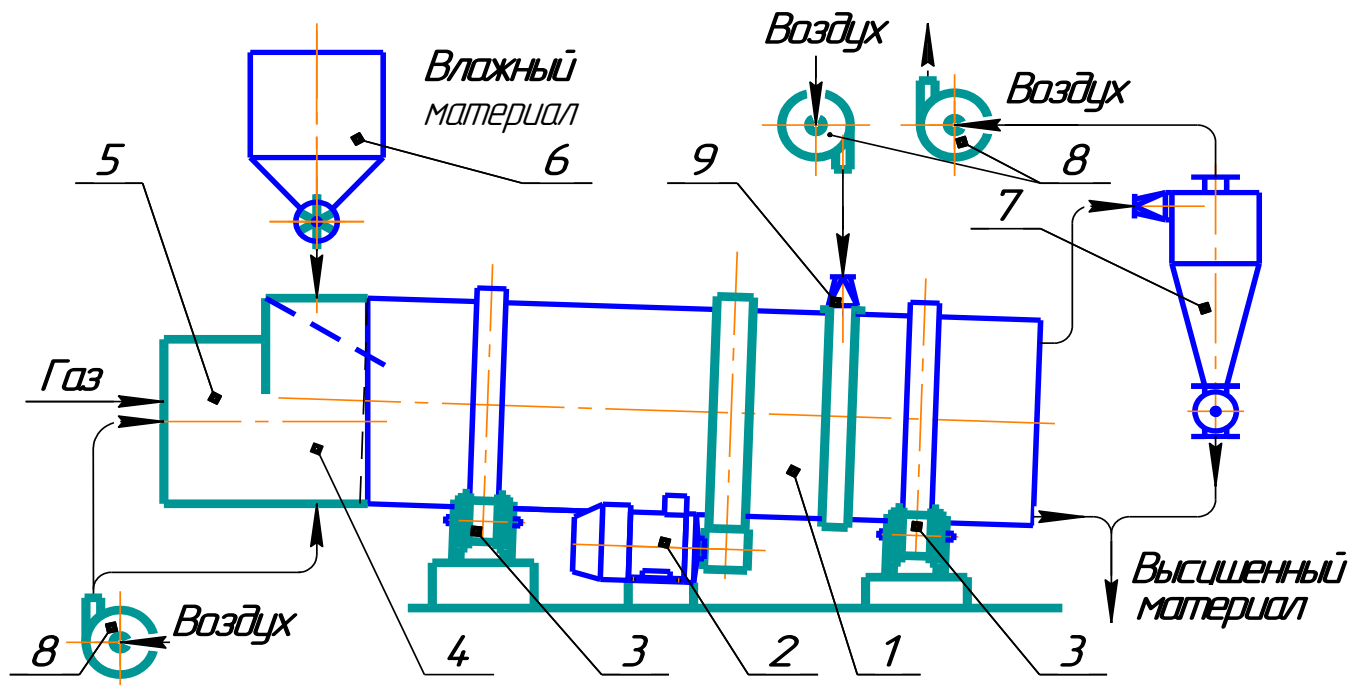
Существует несколько способов [7] подвода тепла к высушиваемому материалу, однако, наиболее распространенным является непосредственный контакт сушильного агента и высушиваемого материала. Такой процесс сушки называется конвективным и в качестве сушильного агента используется горячий воздух, предварительно нагретый в калорифере или смесь воздуха с продуктами сгорания различных видов топлива.

Для проведения процесса конвективной сушки материалов широко применяют барабанные сушильные установки различных конструкций, которые обеспечивают сушку материала во вращающихся цилиндрах. Цилиндры, в основном, изготавливают диаметром от 1,0 м до 2,8 м, при этом отношение [3;6] длины цилиндра к его диаметру выбирают в пределах от 3,5 до 7.

Цилиндр, барабанной сушилки 1, исходя из рисунка 1, расположен под углом к горизонту, с наклоном в сторону перемещения высушиваемого материала, и, опирается бандажами на две пары опорных катков 3. Приводная станция 2 обеспечивает вращение барабана со скоростью, не более 1 - 8 об/мин.

Из бункера-питателя 6, влажный материал подается в сушильную установку. В случае прямочного движения сушильного агента, со стороны подачи продукта, к

торцу барабана, присоединяется топочное устройство 5, подающее в барабан топочные газы, которые смешиваются в камере смешения 4 с подогретым воздухом. Сушильная установка состоит из двух секций - сушильной и охлаждающей.



- 1 – барабанная сушилка; 2 – приводная станция; 3 – опорные катки;
 4 – камера смешения; 5 – топочное устройство; 6 – бункер-питатель;
 7 – циклон; 8 – вентилятор; 9 – патрубок.

Рисунок 1.1 – Схема барабанной сушилки

Для интенсивного перемешивания материала в зоне сушки устанавливают различного типа перевалочные устройства, которые кроме того обеспечивают перемещение материала к зоне выгрузки. Вентилятор 8 через патрубок 9 подает воздух в зону охлаждения высушенного материала.

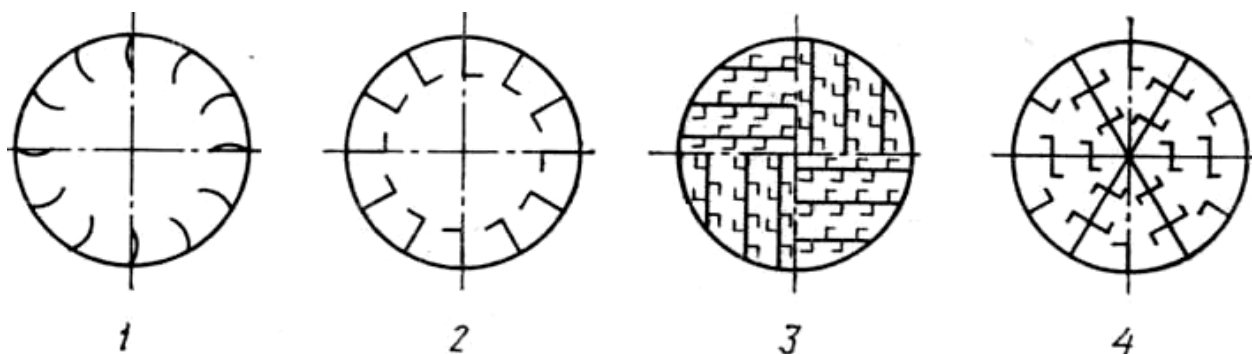
Высушенный материал выводится из зоны охлаждения выгрузным шнеком или отсасывается по трубопроводам и выгружается с помощью циклона разгрузителя 7, отделяющего легкий высушенный продукт от сушильного агента, который затем выбрасывается в атмосферу или направляется на дальнейшую очистку от пыли-

видных частиц.

Температура топочных газов зависит от высушиваемого материала (жом, мезга, опилки, сахар-песок, соль, пшеница, уголь, песок, мел и др.) и его влажности и может колебаться в широком диапазоне изменения температур.

Степень заполнения барабана высушиваемым материалом ψ для разных конструкций перевалочных устройств различна. Наиболее распространенные перевалочные устройства показаны на рисунке 1.2.

Процесс сушки осуществляется при атмосферном давлении, т. е. при $P_0 = 101,3 \text{ кПа}$. Парциальное давление водяных паров в сушильном барабане, определяют, как среднеарифметическую величину, между парциальными давлениями на входе газа в сушилку и на выходе из нее.



1 - подъемно-лопастные, $\psi = 12 \%$; 2 - подъемно-лопастные, $\psi = 14 \%$;

3 - распределительные, $\psi = 20,6 \%$; 4 - распределительные с закрытыми ячейками, $\psi = 27,5 \%$.

Рисунок 1.2 - Типы перевалочных устройств, применяемых в барабанных сушилках, и степень заполнения барабана ψ

1.2 Исходные данные для расчетов

Таблица 1.1 - Техническое задание для расчетов

№ п/п	G_K , кг/с	ψ , %	Эквивалентный диаметр $d_{\text{э}}$, частиц, мм, %	Плотность материала, ρ_M , кг/м ³	W_H , %	W_K , %	T_W , °C	t_1 , °C	t_2 , °C	t_0 , °C	φ , %	T_K , °C	C_M , кДж/(кг·К)	A_V , кг/(м ³ ·ч)
1	0,56	12	3,5	2050	24	9,6	22	400	120	16	68	85	0,47	55
2	0,41	14	8,0	2200	16	4,5	20	580	130	20	72	94	0,53	60
3	0,63	20	6,0	1950	14	0,8	22	450	120	22	75	102	0,68	40
4	0,208	27	4,4	1800	26	8,7	18	300	108	18	70	89	0,79	35
5	0,347	13	7,0	2400	20	6,2	17	370	105	17	76	85	1,30	50
6	0,486	15	1,0	1970	18	2,9	21	390	97	21	72	98	1,45	45
7	0,625	20	0,8	1700	15	0,7	20	420	112	20	70	84	1,20	85
8	0,76	27	2,8	2260	13	1,0	23	540	120	23	67	99	0,88	25
9	0,9	26	6,3	1850	17	2,2	19	460	125	19	71	104	0,72	64
10	0,97	20	6,6	1970	21	8,0	17	330	118	17	68	100	0,50	57
11	0,83	12	2,2	1950	24	6,0	20	300	90	20	75	83	0,67	25
12	0,69	14	1,9	1370	26	8,2	22	350	102	22	62	74	0,59	40
13	0,56	20	3,7	1650	24	4,7	18	570	110	18	80	95	0,80	55
14	0,41	27	4,8	1460	26	4,8	19	480	115	19	60	90	0,49	70
15	0,28	13	4,0	1850	27	9,8	21	330	98	21	66	75	1,10	30
16	0,83	15	2,4	1250	24	6,0	20	400	100	20	80	85	1,05	45
17	0,63	20	3,8	1750	16	0,8	22	320	105	22	64	74	1,03	70

Для получения топочных газов могут использоваться следующие виды топлива:

Таблица 1.2 - Состав и теплота сгорания некоторых газообразных топлив

№	Газопровод	Состав газа по объему, %							Теплота сгорания Q_v , кДж/м ³	Плотность ρ_T , кг/м ³
		CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	H ₂	CO	N ₂		
Природные газы										
1	Уренгой-Ужгород	98,90	0,12	0,01	0,01	-	0,06	0,90	35590	0,724
2	Уренгой-Надым-Пунга	98,70	0,12	0,01	0,01	-	0,16	1,00	35590	0,724
3	Уренгой-Новопсковк	98,90	0,13	0,01	0,01	-	0,08	0,87	35590	0,723
4	Уренгой-Сургут-Челябинск	98,20	0,29	0,20	0,09	0,04	0,18	1,00	35800	0,729
5	Н.Новгород-Иваново	99,00	0,24	0,04	0,02	-	0,10	0,60	35750	0,725
6	Саратов-Москва	90,30	2,80	1,30	0,74	0,34	0,32	4,20	37010	0,807
7	Мострангаз	96,60	1,40	0,40	0,18	0,07	0,15	1,20	36300	0,747
8	Оренбург-Александров Гай	86,40	3,90	1,72	0,87	0,30	0,11	6,70	36800	0,828
9	Надым-Пунга-Свердловск	98,60	0,23	0,08	0,01	-	0,08	1,00	35750	0,725
Попутные газы										
10	Каменный Лог-Пермь	38,70	22,60	10,70	2,70	0,70	0,80	23,80	42370	1,196
11	Кулешовка-Самара	58,00	17,20	7,40	2,00	1,00	0,80	13,60	41740	1,052
12	Безенчук-Чапаевск	42,70	20,40	12,60	5,10	1,30	1,00	16,90	46980	1,196
13	Барса-Гельмес-Вышка	93,90	3,40	1,30	0,70	0,20	0,40	0,10	38100	0,778
14	Вознесенская-Грозный	76,70	13,20	5,40	2,50	2,20	-	-	47020	1,052
15	Тэбук-Сосновка	48,20	18,20	11,90	3,30	1,00	0,90	16,50	45130	1,164
16	Таймазы-Уфа	50,00	22,00	9,80	1,20	0,40	-	16,60	43040	1,095
17	Казань-Бугульма	53,60	22,80	6,50	0,90	0,20	0,20	15,80	40610	1,046

2 Расчет основных параметров барабанной сушилки

2.1 Техническое задание

Рассчитать прямоточную барабанную сушилку для высушивания сыпучего продукта топочными газами, при атмосферном давлении $P = 101,3$ кПа, производительностью $G_K = 0,83 \text{ кг/с}$, по высушенному материалу и коэффициентом заполнения барабана $\psi = 14\%$.

Исходный материал состоит из частиц различной формы и размеров, с эквивалентным диаметром - $d_{\text{э}} = 3,0$, мм, и плотностью $\rho_M = 1860$ кг/м³.

Начальная влажность материала $W_H = 16\%$, конечная $W_K = 1,5\%$, температура влажного материала $T_W = 20^\circ\text{C}$, температура топочных газов на входе в барабан $t_1 = 300^\circ\text{C}$, на выходе из барабана $t_2 = 90^\circ\text{C}$. Температура газообразного топлива, равна температуре воздуха окружающей среды $t_{\Gamma} = t_0 = 20^\circ\text{C}$, относительная влажность воздуха $\varphi = 70\%$.

Конечная температура высушенного материала $T_K = 63^\circ\text{C}$, а его удельная теплоемкость $C_M = 0,8$ кДж/(кг·К).

Удельные потери тепла в окружающую среду на 1 кг испаренной влаги $q_{\text{п}} = 22,6$ кДж/кг (что соответствует примерно 1 % тепла, затрачиваемого на испарение 1 кг воды), а объемное напряжение по испаряемой влаге составляет

$$A_V = 25,0 \text{ кг}/(\text{м}^3 \cdot \text{ч}).$$

Для высушивания материала применяются топочные газы, получаемые в результате сжигания природного сухого газа с газопровода Оренбург-Александров Гай следующего состава (в объемн. %): $CH_4 = 86,40\%$; $C_2H_6 = 3,90\%$; $C_3H_8 = 1,72\%$; $C_4H_{10} = 0,87\%$; $H_2 = 0,30\%$; $CO_2 = 0,11\%$; $N_2 = 6,7\%$.

Таблица 2.1 - Параметры горючих газов

Газ	Формула	Молекулярная масса, М, г/моль	Плотность, $\rho_{г.к.}, кг / м^3$	Теплоемкость, $C_i, кДж / (м^3 \cdot ^\circ C)$
Метан	CH_4	16	0,717	1,57
Этан	C_2H_6	30	1.342	2.78
Пропан	C_3H_8	44	1,976	3,14
Бутан	C_4H_{10}	58	2,598	4,13
Пентан	C_5H_{12}	72	3,219	5,13
Окись углерода	CO	28	1,25	1,29
Углекислый газ	CO_2	44	1,98	1,60
Азот	N_2	28	1.25	1.29
Кислород	O_2	32	1,43	1,30
Сероводород	H_2S	34	1.539	1.51
Водород	H_2	2	0.09	1.28

2.2 Расчет параметров газов, подаваемых в сушильную камеру

Теоретическое количество [4] сухого воздуха L_0 , которое затрачивается на сжигание 1 кг газообразного топлива, определяется по уравнению, при этом составы горючих газов выражены в объемных долях,

$$L_0 = 138 \cdot (0,179 \cdot CO + 0,248 \cdot H_2 + \sum \frac{m + (n/4)}{12 \cdot m + n} \cdot C_m \cdot H_n), \quad (2.1)$$

где $C_m H_n$ - объемная доля компонентов;

n и m – индексы, показывающие количество атомов содержащихся в молекулах углерода и водорода.

Подставляя соответствующие значения, находим,

$$L_0 = 138 \cdot (0,179 \cdot 0,0011 + 0,248 \cdot 0,003 + \frac{1 + (4/4)}{12 \cdot 1 + 4} \cdot 0,864 + \frac{2 + (6/4)}{12 \cdot 2 + 6} \times \\ \times 0,039 + \frac{3 + (8/4)}{12 \cdot 3 + 8} \cdot 0,0172 + \frac{4 + (10/4)}{12 \cdot 4 + 10} \cdot 0,0087) = 16,06 \text{ кг/кг.}$$

Количество тепла, выделяющееся при сжигании 1 кг топлива:

$$Q = \frac{Q_V}{\rho_T}, \quad (2.2)$$

где Q_V – теплота сгорания топлива, кДж/м³;

ρ_T – плотность топлива, кг/м³.

$$Q = 36800 / 0,828 = 44444,4 \text{ кДж/кг.}$$

Масса сухого газа, подаваемого в сушильный барабан, в расчете на 1 кг сжигаемого топлива определяется [2] общим коэффициентом избытка воздуха α , необходимого для сжигания топлива и разбавления топочных газов до температуры смеси $t_1 = 300^{\circ}\text{C}$. Значение α находят из уравнений материального и теплового балансов.

Уравнение материального баланса:

$$1 + L_0 = L_{C.G} + \sum \frac{9 \cdot n}{12 \cdot m + n} \cdot C_m H_n, \quad (2.3)$$

где $L_{C.G}$ - масса сухих газов, образующихся при сгорании 1 кг топлива, кг/кг;

$C_m H_n$ - объемная доля компонентов.

Уравнение теплового баланса:

$$Q \cdot \eta + C_G \cdot t_G + \alpha \cdot L_0 \cdot I_0 = [L_{C.G} + L_0 \cdot (\alpha - 1)] \cdot i_{C.G} + \left[\alpha \cdot L_0 \cdot x_0 + \sum \frac{9 \cdot n}{12 \cdot m + n} C_m H_n \right] \cdot i_{II}, \quad (2.4)$$

где $\eta = 0,95$ - общий коэффициент полезного действия, учитывающий эффективность работы топки (полноту сгорания топлива и т. д.) и потери тепла топкой в окружающую среду;

C_G - теплоемкость газообразного топлива, кДж/(кг·К);

$$C_G = \sum (V_i \cdot C_i) / 100, \quad (2.5)$$

где V_i - объем компонентов составляющих газообразное топливо, %;

C_i - теплоемкость компонентов составляющих газообразное топливо, $\text{кДж} / (\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C})$.

$$C_{\Gamma} = 1,57 \cdot 86,4 + 2,78 \cdot 3,9 + 3,14 \cdot 1,72 + 4,13 \cdot 0,87 + 1,28 \cdot 0,3 + \\ + 1,6 \cdot 0,11 + 1,29 \cdot 6,7 = 1,65 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{K})$$

α - коэффициент избытка воздуха;

I_0 - энтальпия свежего воздуха, $\text{кДж}/\text{кг}$,

$$I_0 = C_{C.\Gamma} \cdot t_0 + (r_0 + C_{\Pi} \cdot t_0) \cdot x_0, \quad (2.6)$$

где $C_{C.\Gamma} = 1,005 \text{ кДж} / (\text{кг} \cdot \text{K})$ - теплоемкость сухих газов;

$t_0 = 20^\circ\text{C}$, - температура воздуха окружающей среды.

$r_0 = 2500 \text{ кДж} / \text{кг}$ - теплота испарения воды при температуре 0°C ;

$C_{\Pi} = 1,8 \text{ кДж} / (\text{кг} \cdot \text{K})$ - средняя теплоемкость водяных паров;

x_0 - влагосодержание влажного воздуха, $\text{кг}/\text{кг}$ содержащегося в нем су-

хого воздуха, при температуре воздуха $t_0 = 20^\circ\text{C}$, и относительной влажности $\varphi_{\text{Воз.}} = 70\%$, рассчитываем по формуле,

$$x_0 = 0,622 \frac{P_W}{P - P_W}, \quad (2.7)$$

где P – атмосферное давление, кПа ;

P_W – давление пара при температуре влажного воздуха, кПа , определяем по таблице А3 или А4, приложения А.

$$x_0 = 0,622 \frac{2,34}{101,3 - 2,34} = 0,014 \text{ кг}/\text{кг}.$$

или можем определить по таблице А 5, приложения А.

Энтальпия свежего воздуха,

$$I_0 = 1,005 \cdot 20 + (2500 + 1,8 \cdot 20) \cdot 0,014 = 55,6 \text{ кДж / кг.}$$

$i_{C.G} = C_{C.G} \cdot t_{C.G}$ - энтальпия сухих газов, кДж/кг;

$t_{C.G} = 300^0 \text{C}$ - температура сухих газов;

$i_{II} = r_0 + C_{II} \cdot t_{II}$ - энтальпия водяных паров, кДж/кг;

$t_{II} = t_{C.G} = t_{CM} = 300^0 \text{C}$ - температура водяных паров.

Решая совместно уравнения (2.3) и (2.4), получим:

$$\alpha = \frac{Q \cdot \eta + C_G \cdot t_G - i_{C.G} \cdot (1 - \sum \frac{9 \cdot n}{12 \cdot m + n} \cdot C_m H_n) - i_{II} \sum \frac{9 \cdot n}{12 \cdot m + n} \cdot C_m H_n}{L_0 \cdot (i_{C.G} + i_{II} \cdot x_0 - I_0)} \quad (2.8)$$

Пересчитаем содержание компонентов топлива, при сгорании которых образуется вода, из объемных долей в массовые,

$$C_m H_n = \frac{V_{Г.К.} \cdot M \cdot T_0}{22,4 \cdot \rho_T \cdot (T_0 + t_T)}, \quad (2.9)$$

где $V_{Г.К.}$ – объемная доля газового компонента;

M – молекулярная масса, г/моль;

$22,4 \text{ м}^3/\text{кмоль}$, условный мольный объем любого газа, при нормальных условиях, $T_0 = 273^0 \text{K}$, и атмосферном давлении $P = 101,3 \text{ кПа}$;

ρ_T – плотность газообразного топлива, $\text{кг}/\text{м}^3$,

$$C H_4 = \frac{0,864 \cdot 16 \cdot 273}{22,4 \cdot 0,828 \cdot (273 + 20)} = 0,694;$$

$$C_2 H_6 = \frac{0,039 \cdot 30 \cdot 273}{22,4 \cdot 0,828 \cdot (273 + 20)} = 0,059;$$

$$C_3 H_8 = \frac{0,0172 \cdot 44 \cdot 273}{22,4 \cdot 0,828 \cdot (273 + 20)} = 0,038;$$

$$C_4H_{10} = \frac{0,0087 \cdot 58 \cdot 273}{22,4 \cdot 0,828 \cdot (273 + 20)} = 0,025;$$

$$H_2 = \frac{0,003 \cdot 2 \cdot 273}{22,4 \cdot 0,828 \cdot (273 + 20)} = 0,0003;$$

Количество влаги, выделяющейся при сгорании 1 кг топлива, равно:

$$\begin{aligned} \sum \frac{9 \cdot n}{12 \cdot m + n} \cdot C_m H_n &= \frac{9 \cdot 4}{12 \cdot 1 + 4} \cdot 0,694 + \frac{9 \cdot 6}{12 \cdot 2 + 6} \cdot 0,059 + \\ &+ \frac{9 \cdot 8}{12 \cdot 3 + 8} \cdot 0,038 + \frac{9 \cdot 10}{12 \cdot 4 + 10} \cdot 0,025 + \frac{9 \cdot 2}{12 \cdot 0 + 2} \cdot 0,0003 = 1,77 \text{ кг/кг.} \end{aligned}$$

Коэффициент избытка воздуха находим по уравнению (2.8):

$$\alpha = \frac{44444,4 \cdot 0,95 + 1,65 \cdot 20 - 1,005 \cdot 300 \cdot (1 - 1,77) - (2500 + 1,8 \cdot 300) \cdot 1,77}{16,06 \cdot [1,005 \cdot 300 + (2500 + 1,8 \cdot 300) \cdot 0,014 - 55,6]} = 9,11$$

Общая удельная масса сухих газов, получаемая при сжигании 1 кг топлива и разбавлении топочных газов воздухом до температуры смеси 300 °С, равна,

$$G_{C.G} = 1 + \alpha \cdot L_0 - \sum \frac{9 \cdot n}{12 \cdot m + n} \cdot C_m H_n, \quad (2.10)$$

$$G_{C.G} = 1 + 9,11 \cdot 16,06 - 1,77 = 145,54 \text{ кг/кг.}$$

Удельная масса водяных паров в газовой смеси при сжигании 1 кг топлива:

$$G_{II} = \sum \frac{9 \cdot n}{12 \cdot m + n} \cdot C_m H_n + \alpha \cdot x_0 \cdot L_0, \quad (2.11)$$

$$G_{II} = 1,77 + 9,11 \cdot 0,014 \cdot 16,06 = 3,82 \text{ кг/кг.}$$

Влагосодержание газов на входе в сушилку ($x_1 = x_{CM}$) равно,

$$x_1 = \frac{G_{II}}{G_{C.G}}, \quad (2.12)$$

откуда $x_1 = \frac{3,82}{145,54} = 0,0262 \text{ кг / кг}$.

Энтальпия газов на входе в сушилку:

$$I_1 = \frac{Q \cdot \eta + C_{\Gamma} \cdot t_{\Gamma} + \alpha \cdot L_0 \cdot I_0}{G_{с.Г}}, \quad (2.13)$$

$$I_1 = \frac{44444,4 \cdot 0,95 + 1,65 \cdot 20 + 9,11 \cdot 16,06 \cdot 55,6}{145,54} = 346,22 \text{ кДж/кг}.$$

Полученные расчетные данных показывают, что свойства газовой смеси, используемой в качестве сушильного агента, идентичны физическим свойствам воздуха, что дает возможность использовать в расчетах $I-x$ диаграмму состояния влажного воздуха.

2.3 Определение параметров отработанных газов, расхода сушильного агента и расхода тепла на сушку

Из уравнения материального баланса сушилки определим массовый расход влаги W , удаляемый из высушиваемого материала:

$$W = G_K \cdot \frac{W_H - W_K}{100 - W_H}, \quad (2.14)$$

W_H и W_K – начальная и конечная влажность материала, %,

$$W = 0,83 \cdot \frac{16 - 1,5}{100 - 16} = 0,143 \text{ кг/с}.$$

Запишем уравнение внутреннего теплового баланс сушилки,

$$\Delta = C \cdot T_W + q_{\text{ДОП}} - (q_T + q_M + q_{\text{П}}), \quad (2.15)$$

$C = 4,19 \text{ кДж} / (\text{кг} \cdot \text{К})$, теплоемкость влаги во влажном материале, при температуре T_w , которая практически не изменяется, в диапазоне температур от 10°C до 90°C ;

$T_w = 20^\circ\text{C}$, - температура влажного материала;

$q_{\text{доп}}$ - удельный дополнительный подвод тепла в сушилку $\text{кДж} / \text{кг}$ влаги, при работе сушилки по нормальном сушильному варианту $q_{\text{доп}} = 0$;

q_T - удельный расход тепла в сушилке с транспортными средствами, $\text{кДж} / \text{кг}$ влаги; в рассматриваемом случае - $q_T = 0$;

q_M - удельный расход тепла в сушильном барабане с высушиваемым материалом, $\text{кДж} / \text{кг}$ влаги,

$$q_M = G_K \cdot C_M \cdot (T_K - T_w) / W \quad (2.16)$$

$C_M = 0,8 \text{кДж} / (\text{кг} \cdot \text{К})$ - теплоемкость высушенного материала;

$T_K = 63^\circ\text{C}$ - конечная температура высушенного материала,

$$q_M = 0,83 \cdot 0,8 \cdot (63 - 20) / 0,143 = 199,66 \text{кДж} / \text{кг},$$

$q_{\text{п}} = 22,6 \text{кДж} / \text{кг}$ - удельные потери тепла в окружающую среду, влаги.

Подставив соответствующие значения, получим:

$$\Delta = 4,19 \cdot 20 - 199,7 - 22,6 = -138,5 \text{ кДж/кг влаги.}$$

Запишем уравнение рабочей линии сушки,

$$\Delta = (I - I_1) / (x - x_1), \text{ или } I = I_1 + \Delta \cdot (x - x_1) \quad (2.17)$$

Для построения рабочей линии сушки на диаграмме $I - x$. необходимо знать координаты (x и I) минимум двух точек. Координаты одной точки известны: $x_1 = 0,0262$, $I_1 = 346,22 \text{кДж} / \text{кг}$. Для нахождения координат второй точки зададимся произвольным значением x и определим соответствующее значение I .

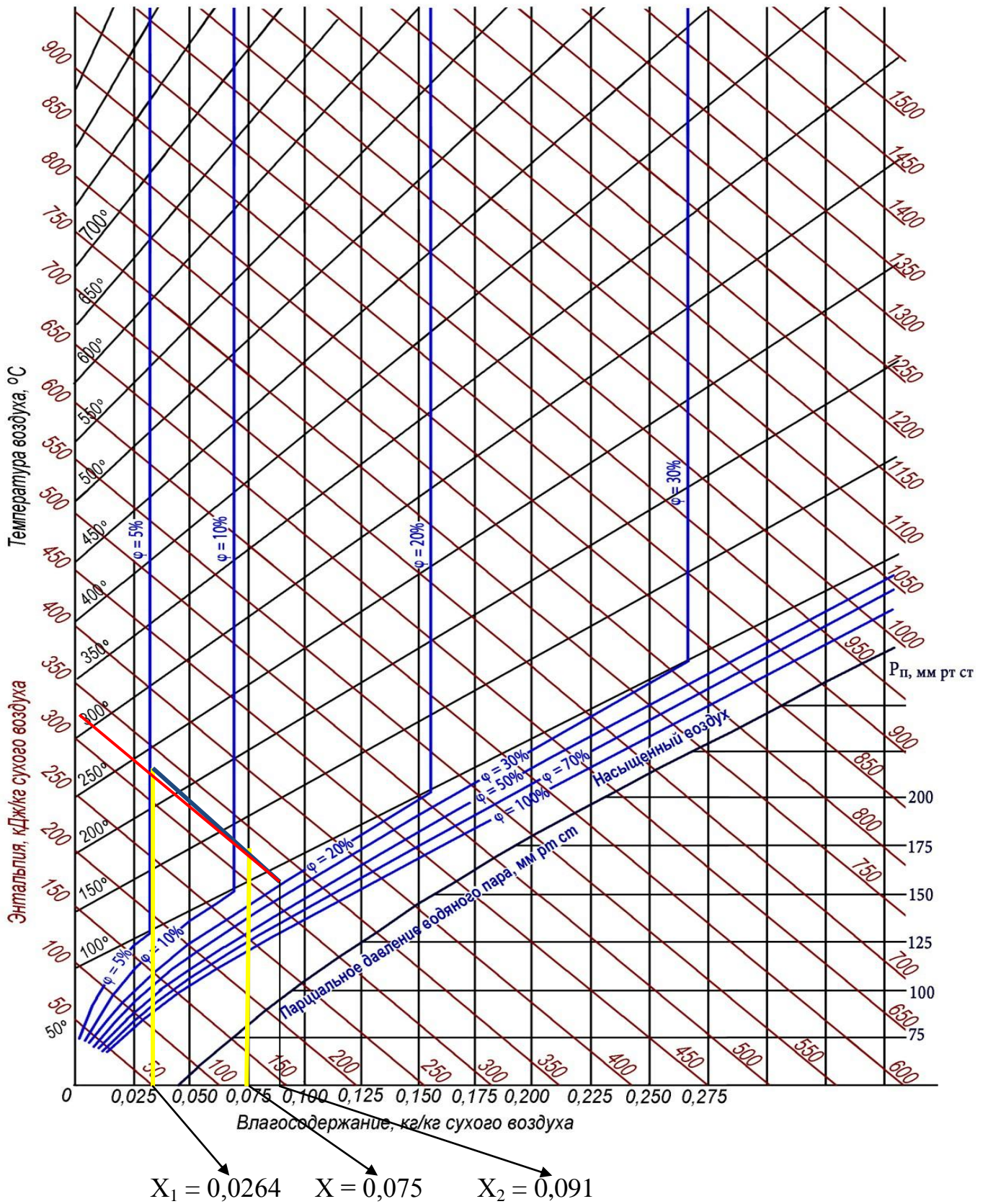


Рисунок 2.1 - Диаграмма $I-x$, состояния влажного воздуха при высоких температурах и влагосодержании.

Пусть $x = 0,075$ кг влаги/кг сухого воздуха.

Тогда энтальпия сухого воздуха,

$$I = 346,22 - 138,5 \cdot (0,1 - 0,0262) = 336 \text{ кДж/кг.}$$

Через две точки на диаграмме $I - x$, как изображено на рисунке 2.1, с координатами x_1, I_1 и x, I проводим линию сушки до пересечения с заданным конечным параметром - $t_2 = 90^0\text{C}$.

В точке пересечения линии сушки с изотермой t_2 находим параметры отработанного сушильного агента: $x_2 = 0,091 \text{ кг} / \text{кг}$, $I_2 = 320 \text{ кДж} / \text{кг}$.

Расход сухого газа $L_{C.G}$ равен:

$$L_{C.G} = \frac{W}{x_2 - x_1}, \quad (2.18)$$

где W – массовый расход влаги, кг/с,

$$L_{C.G} = \frac{0,143}{0,091 - 0,0262} = 2,21 \text{ кг/с.}$$

Расход сухого воздуха L ,

$$L = \frac{W}{x_2 - x_0}, \quad (2.19)$$

$$L = \frac{0,143}{0,091 - 0,014} = 1,86 \text{ кг/с.}$$

Расход тепла на сушку Q_C ,

$$Q_C = L_{C.G} \cdot (I_1 - I_0), \quad (2.20)$$

$$Q_C = 2,21 \cdot (346 - 55,6) = 641,78 \text{ кДж/с или } 641,78 \text{ кВт.}$$

Расход топлива на сушку,

$$G_T = \frac{Q_C}{Q} = \frac{641,78}{44444,4} = 0,0144 \text{ кг/с.}$$

2.4 Определение конструктивных и технологических параметров сушильной установки

2.4.1 Требуемый объем барабана сушилки

$$V_B = 3600 \cdot \frac{W}{A_V}, \text{ м}^3 \quad (2.21)$$

где W – массовый расход влаги, кг/с;

A_V - объемное напряжение по испаряемой влаге, кг/(м³·ч).

$$V_B = 3600 \cdot \frac{0,143}{25} = 20,59 \text{ м}^3.$$

2.4.2 Диаметр и длина барабана, м

Отношение длины барабана к его диаметру должно находиться в пределах $L_B / D_B = 3,5 - 7$, принимаем $L_B / D_B = 5$, тогда,

$$D_B = \sqrt[3]{\frac{V_B}{3,925}}, \text{ м.} \quad (2.22)$$

$$D_B = \sqrt[3]{\frac{20,59}{3,925}} = 1,74 \text{ м.}$$

Длина барабана, м,

$$L_B = 5 \cdot D_B, \quad (2.23)$$

$$L_B = 5 \cdot 1,74 = 8,69 \text{ м.}$$

По таблице 1 (приложение Б) определяем, предварительно, размеры барабана – длину $L_B = 10000$ мм и диаметр $D_B = 1600$ мм.

Уточняем объем выбранного барабана, м³,

$$V_B = \frac{\pi \cdot D_B^2}{4} \cdot L_B, \quad (2.24)$$

$$V_B = \frac{3,14 \cdot 1,6^2}{4} \cdot 10,0 = 20,096 \text{ м}^3.$$

Уточняем объемное напряжение по испарившейся влаге, кг/(м³·ч),

$$A_V = \frac{W}{V_B}, \quad (2.25)$$

Переводим $W = 0,143$ кг/с, - количество влаги удаляемой в сушильном барабане, в $W = 514,8$ кг/ч.

$$A_V = \frac{514,8}{20,096} = 25,62.$$

2.4.3 Действительная скорость газов в барабане.

Скорость газов в барабане, м/с,

$$\omega_D = \frac{V_\Gamma}{0,785 \cdot D_B^2}, \quad (2.26)$$

где V_Γ - объемная производительность по газу, м³/с,

$$V_\Gamma = \frac{L}{\rho_\Gamma}, \quad (2.27)$$

где L – расход сухого воздуха, кг/с;

ρ_Γ - плотность воздуха при средней температуре в барабане t_{CP} кг/м³,

$$t_{CP} = \frac{t_1 + t_2}{2}, \quad (2.28)$$

$$t_{CP} = \frac{300 + 90}{2} = 195 \text{ } ^\circ\text{C},$$

$$\rho_\Gamma = 1,293 \cdot \frac{273}{273 + t_{CP}}, \quad (2.29)$$

$$\rho_\Gamma = 1,293 \cdot \frac{273}{273 + 195} = 0,754 \text{ кг / м}^3.$$

$$V_{\Gamma} = \frac{1,86}{0,754} = 2,47 \text{ м}^3 / \text{с}.$$

$$\omega_{\text{Д}} = \frac{2,47}{0,785 \cdot 1,6^2} = 1,23 \text{ м} / \text{с}.$$

Проверим возможность уноса частиц материала из барабана с учетом скорости свободного витания частицы, которую определяют из уравнения,

$$\omega_{\text{СВ}} = \frac{\mu_{\text{СВ}}}{d_{\text{Э}} \cdot \rho_{\Gamma}} \cdot \left(\frac{Ar}{18 + 0,575 \cdot \sqrt{Ar}} \right), \quad (2.30)$$

где $\mu_{\text{СВ}} = 25,83 \cdot 10^{-6}$ Па·с, - вязкость сушильного агента при средней температуре $t_{\text{СР}} = 195$ °С (определяем по таблице 2, приложение А);

$d_{\text{Э}}$ – эквивалентный диаметр частиц материала, м;

Ar - критерий Архимеда.

$$Ar = \frac{d_{\text{Э}}^3 \cdot \rho_{\text{М}} \cdot \rho_{\Gamma} \cdot g}{\mu_{\text{СВ}}^2}, \quad (2.31)$$

где $\rho_{\text{М}}$ - плотность частиц материала, кг/м³,

$$Ar = \frac{0,003^3 \cdot 1860 \cdot 0,754 \cdot 9,81}{(25,83 \cdot 10^{-6})^2} = 55,68 \cdot 10^4.$$

$$\omega_{\text{СВ}} = \frac{25,83 \cdot 10^{-6}}{0,003 \cdot 0,754} \cdot \left(\frac{55,68 \cdot 10^4}{18 + 0,575 \cdot \sqrt{55,68 \cdot 10^4}} \right) = 14,2 \text{ м/с}.$$

Действительная скорость сушильного агента в барабане $\omega_{\text{Д}} = 1,23 \text{ м} / \text{с}$, меньше, чем скорость уноса частиц материала, $\omega_{\text{СВ}} = 14,2 \text{ м} / \text{с}$, поэтому расчет основных размеров сушильного барабана заканчиваем. В противном случае, уменьшают принятую в расчете скорость сушильного агента за счет изменения диаметра и объема барабана, и, повторяют расчет.

2.4.4 Продолжительность процесса сушки

Время процесса сушки $\tau_{\text{СУШ}}$, в секундах, находим из условия,

$$\tau_{СУШ} = \frac{G_M}{G_K + (W / 2)}, \quad (2.32)$$

где G_M – масса материала находящегося в барабане, кг;

G_K – производительность по высушенному материалу, кг/с;

W - количество влаги удаляемой в сушильном барабане, кг/с,

$$G_M = V_B \cdot \psi \cdot \rho_M. \quad (2.33)$$

где $\psi = 0,14\%$ - коэффициент заполнения барабана материалом, для подъемно-лопастной насадки.

$$G_M = 20,096 \cdot 0,14 \cdot 1860 = 5232,998 \text{ кг.}$$

$$\tau_{СУШ} = \frac{5232,998}{0,83 + (0,143 / 2)} = 5804,76 \text{ с} \approx 97 \text{ мин.}$$

2.4.5 Скорость вращения и угол наклона барабана

При максимальном коэффициенте заполнения барабана ψ , до 27 % частота вращения, как правило, не превышает 5 - 8 об/мин.

$$n = \frac{m \cdot k \cdot L_B}{\tau_{СУШ} \cdot D_B \cdot \text{tg} \alpha}, \quad (2.34)$$

m, k - коэффициенты, зависящие от типа насадки и направления движения теплоносителя:

- для подъемно-лопастных и распределительных насадок $m = 0,75 - 1,0$, а $k \geq 0,7$ для прямоточного движения теплоносителя и $k \leq 2,0$ для противоточного движения теплоносителя;

$\tau_{СУШ}$ - время пребывания материала в барабане, мин;

$\beta = 1^0 - 4^0$ - возможный угол наклона барабана сушильной установки, причем, чем больше диаметр барабана, тем больше угол наклона.

Предварительно принимаем угол наклона барабана $\beta = 2,5^0$, тогда,

$$n = \frac{0,75 \cdot 0,7 \cdot 10,0}{5804,76 \cdot 1,6 \cdot \text{tg} 2,5^0} = 0,0129 \text{ с}^{-1} = 0,78 \text{ об / мин.}$$

Расчетное значение угла наклона барабана β , град, находим по следующей формуле,

$$\beta = \left(\frac{30 \cdot L_B}{D_B \cdot n \cdot \tau_{СУШ}} + 0,007 \cdot \omega_D \right) \cdot \frac{180}{\pi}, \quad (2.35)$$

где n - число оборотов барабана в минуту.

$$\beta = \left(\frac{30 \cdot 10,0}{1,6 \cdot 0,78 \cdot 5804,76} + 0,007 \cdot 0,98 \right) \cdot \frac{180}{3,14} = 2,76^{\circ}.$$

Если полученное значение угла наклона барабана меньше $0,5^{\circ}$, то число оборотов барабана уменьшают и расчет повторяют заново.

В нашем случае полученный результат полностью соответствует предъявляемым требованиям.

2.4.6 Расчетное значение мощности привода барабана

Мощность, затрачиваемую на вращения барабана, определяем по эмпирическому уравнению,

$$N = 0,0078 \cdot D_B \cdot L_B \cdot \rho_M \cdot \xi \cdot n, \quad (2.36)$$

где $D_B = 1,6$ м – диаметр барабана;

$L_B = 10,0$ м – длина барабана;

$\rho_M = 1860$ кг/м³ – плотность частиц материала;

$n = 0,78$ об/мин – частота вращения барабана;

$\xi = 0,053$ – коэффициент, зависящий от вида насадки и степени заполнения барабана (таблица А.6 приложение А)

$$N = 0,0078 \cdot 1,6 \cdot 10,0 \cdot 1860 \cdot 0,053 \cdot 0,78 = 9,6 \text{ кВт.}$$

Исходя из конструктивных соображений, принимаем, ориентировочно, диаметр делительной окружности ведущей шестерни $d_{ДО} = 200$ мм. Находим передаточное отношение между ведущей шестерней и зубчатым венцом.

$$U = \frac{D_{Д.О.}}{d_{ДО}}, \quad (2.37)$$

где $D_{Д.О.} = 2376$ мм – диаметр делительной окружности зубчатого венца.

$$U = \frac{2376}{200} = 11,88,$$

следовательно, частота вращения ведущей шестерни должна быть равной,

$$n_{III} = n \cdot U, \quad (2.38)$$

$$n_{III} = 0,78 \cdot 11,88 = 9,27 \text{ об / мин.}$$

Исходя из полученных данных, подбираем редуктор, способный обеспечить поученное значение скорости вращения ведущей шестерни и передаваемой мощности.

Находим [9] трехступенчатый редуктор КЦ2-1300, с передаточным отношением $U_P = 103$, передаваемой мощностью порядка 10 кВт и частотой вращения быстрого вала $n_{ЭД} = 1000$ об/мин.

Уточняем диаметр ведущей шестерни,

$$d_{Д.О.} = \frac{D_{Д.О.} \cdot U_P \cdot n}{n_{ЭД}}, \quad (2.39)$$

$$d_{Д.О.} = \frac{2376 \cdot 103 \cdot 0,78}{1000} = 190,88 \text{ мм.}$$

С учетом полученных данных, принимаем [1] электродвигатель АИР-160S6, мощностью 11 кВт, с частотой вращения 1000 об/мин.

3 Прочностной расчет элементов сушильной установки

3.1 Расчет на прочность барабана

С учетом полученных расчетных данных и данных отраслевого стандарта, приведенных в таблицах приложения, составим расчетную схему корпуса барабанной сушилки.

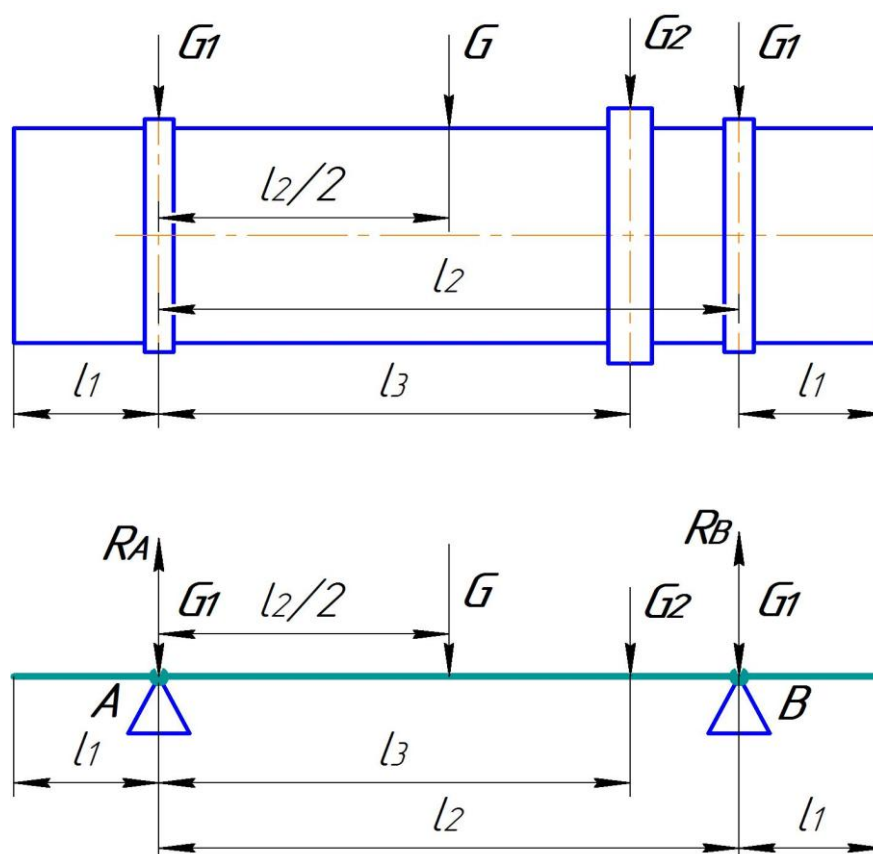


Рисунок 3.1 - Расчетная схема корпуса барабанной сушилки

На корпус, изображенный на рисунке 3.1, действуют:

G – сила тяжести от веса барабана G_B и материала G_M , находящегося в нем, Н;

G_1 – сила тяжести от веса бандаж, Н;

G_2 – сила тяжести, возникающая от зубчатого венца, Н.

Силу тяжести G , Н, определим по формуле,

$$G = (M_B + M_M) \cdot g, \quad (3.1)$$

где $M_B = 17600$ кг – масса барабана, (таблица Б.1, приложение Б);

$M_M = 5232,9$ кг – масса материала в барабане;

$g = 9,81$ м/с² ускорение свободного падения.

$$G = (17600 + 5232,998) \cdot 9,8 = 223763 \text{ Н.}$$

Для определения силы тяжести G_1 , определим вес бандаж через его объем,

$$G_1 = \left[\frac{D_1 + (D_B + 2 \cdot \delta + 2 \cdot h)}{2} \right] \cdot [D_1 - (D_B + 2 \cdot \delta + 2 \cdot h)] \cdot \pi \cdot B \cdot \rho_{СТ} \cdot g, \quad (3.2)$$

где $D_1 = 1,99$ м – диаметр бандаж, (таблица 2, приложение Б);

$D_B = 1,6$ м – диаметр барабана;

$h = 0,07$ м – толщина башмаков;

$\delta = 0,008$ м – толщина стенки барабана;

$B = 0,14$ м ширина бандаж;

$\pi = 3,14$;

$\rho_{СТ} = 7800$ кг/м³ – средняя плотность стали.

$$G_1 = \left[\frac{1,99 + (1,6 + 0,016 + 0,14)}{2} \right] \cdot [1,99 - (1,6 + 0,016 + 0,14)] \times \\ \times 3,14 \cdot 0,14 \cdot 7800 \cdot 9,81 = 14743 \text{ Н.}$$

Сила тяжести G_2 , от веса зубчатого венца,

$$G_2 = M_B \cdot g, \quad (3.3)$$

где $M_B = 1095$ кг – масса зубчатого венца, (таблица В.1, приложение В).

$$G_2 = 1095 \cdot 9,81 = 10742 \text{ Н.}$$

С учетом принятых обозначений и данных таблицы 1, приложения Б,

$l_1 = 2,050$ м, - расстояние от края барабана до оси бандаж;

$l_2 = 5,9$ м, - расстояние между осями бандажей;

$l_3 = 2,275$ м, - расстояние между осью бандаж и осью зубчатого венца.

Рассчитываем реакции опор R_A и R_B в точках А и В, исходя из равенства нулю суммы моментов всех сил $\Sigma M = 0$:

1) сумма моментов относительно точки В,

$$R_A \cdot l_2 - G_1 \cdot l_2 - G \cdot \frac{l_2}{2} - G_2 \cdot (l_2 - l_3) = 0. \quad (3.4)$$

Решая уравнение (3.4) относительно R_A , получим,

$$R_A = G_1 + \frac{G}{2} + \frac{G_2 \cdot (l_2 - l_3)}{l_2}, \quad (3.5)$$

$$R_A = 14743 + 111881,5 + \frac{10742 \cdot 3,625}{5,9} = 133224,5 \text{ Н.}$$

2) сумма моментов относительно точки А,

$$-R_B \cdot l_2 + G_1 \cdot l_2 + G \cdot \frac{l_2}{2} + G_2 \cdot l_3 = 0. \quad (3.6)$$

Решая уравнение (2.37) относительно R_B , получим,

$$R_B = G_1 + \frac{G}{2} + G_2 \cdot \frac{l_3}{l_2}. \quad (3.7)$$

$$R_B = 14743 + 111881,5 + 4142,0 = 130766,5 \text{ Н.}$$

Цилиндрический барабан расположен на двух опорах А и В. Прогиб цилиндра происходит под действием двух сил G и G_2 , определим максимальный изгибающий момент,

$$M_{II} = G \cdot \frac{l_2}{2} + G_2 \cdot l_3, \quad (3.8)$$

$$M_{II} = 223763 \cdot 2,95 + 10742 \cdot 2,275 = 684539 \text{ Н} \cdot \text{м} = 684,5 \text{ кН} \cdot \text{м.}$$

Условие прочности барабана, имеет следующий вид,

$$\sigma_{II} = \frac{M_{II}}{W_C} \leq [\sigma]_{II}, \quad (3.9)$$

где M_{II} - приведенный момент инерции, МН·м;

W_C - момент сопротивления барабана, м³.

Допускаемое напряжение принимаем для СтЗсп по ГОСТ 14249-89 - $[\sigma]_{II} = 105$ МПа.

$$M_{II} = 0,35 \cdot M_{II} + 0,65 \cdot \sqrt{M_{II}^2 + M_{KP}^2}, \quad (3.10)$$

где M_{KP} - крутящий момент, кН·м.

$$M_{KP} = \frac{N}{2000 \cdot \pi \cdot n}, \quad (3.11)$$

где $N = 9,6$ кВт - расчетное значение мощности привода барабана;

$n = 0,0129$ с⁻¹ - частота вращения барабана.

$$M_{KP} = \frac{9,6}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,0129} = 118,5 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

$$M_{II} = 0,35 \cdot 684,5 + 0,65 \cdot \sqrt{468540,2 + 14042,3} = 691,1 \text{ кН} \cdot \text{м} = 0,619 \text{ МН} \cdot \text{м}.$$

Момент сопротивления барабана

$$W_C = 0,785 \cdot D_B^2 \cdot S_B, \quad (3.12)$$

где S_B - толщина стенки барабана, м, которую определяем из соотношения,

$$S_B = (0,007 - 0,011) D_B, \quad (3.13)$$

$$S_B = 0,007 \cdot 1,6 = 0,011 \text{ м}.$$

С учетом рекомендуемых размеров (приложение Б, таблица Б.1), толщину стенки барабана принимаем равной 10 мм.

$$W_C = 0,785 \cdot 1,6^2 \cdot 0,01 = 0,02 \text{ м}^3.$$

Подставляя полученные выражения в (3.9), получим,

$$\sigma_{II} = \frac{0,691}{0,02} \leq [\sigma]_{II}$$

$$\sigma_{II} = 34,6 \text{ МПа.}$$

Условие $\sigma_{II} \leq [\sigma]_{II}$ выполняется.

Затем барабан проверяем на прогиб. Для нормальной работы допускается прогиб не более 1/3 мм на 1 м длины.

$$f \leq 0,0003 \cdot l_2, \quad (3.14)$$

где l_2 – расстояние между опорами - бандажами, м;

f – общий прогиб, м.

$$f \leq 0,0003 \cdot 5,9 = 1,77 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

$$f = f_1 + f_2, \quad (3.15)$$

где f_1 – прогиб, возникающий от распределенной нагрузки, возникающей в результате веса барабана и материала, находящегося в нем, мм;

f_2 – прогиб, возникающий от распределенной нагрузки, возникающей в результате веса барабана и материала, находящегося в нем, мм

$$f_1 = \frac{5 \cdot q \cdot l_2}{384 \cdot E \cdot J}, \quad (3.16)$$

где $E = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}$ - модуль упругости материала, МПа;

q – погонная нагрузка от массы барабана и материала находящегося в нем, МН/м;

J - осевой момент инерции для поперечного сечения барабана, м⁴.

$$q = \frac{G}{L_B}, \quad (3.17)$$

$$q = \frac{223763}{10} = 22376,3 \text{ Н / м} = 0,022 \text{ МН / м.}$$

$$J = \frac{\pi \cdot D_{CP}^3 \cdot S_B}{8}, \quad (3.18)$$

где D_{CP} – средний диаметр барабана, м,

$$D_{CP} = D_B + S_B, \quad (3.19)$$

$$D_{CP} = 1,6 + 0,01 = 1,61 \text{ м.}$$

$$J = \frac{3,14 \cdot 1,61^3 \cdot 0,01}{8} = 0,016 \text{ м}^4.$$

$$f_1 = \frac{5 \cdot 0,022 \cdot 5,9}{384 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 0,016} = 0,053 \cdot 10^{-5} \text{ м.}$$

$$f_2 = \frac{G_2 \cdot l_2^2}{48 \cdot E \cdot J}, \quad (3.20)$$

где G_2 – вес венцовой шестерни, МН.

$$f_2 = \frac{0,011 \cdot 5,9^2}{48 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 0,016} = 0,25 \cdot 10^{-5} \text{ м.}$$

$$f = 0,053 \cdot 10^{-5} + 0,25 \cdot 10^{-5} = 0,303 \cdot 10^{-5} = 0,003 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

$$0,003 \cdot 10^{-3} \leq 1,77 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Условие на прогиб выполняется.

3.2 Проверка на прочность опорных роликов

Проверку на прочность проводим с учетом максимального значения реакции опоры $R_A = 133224,5$ Н и угла расположения ролика $\varphi_P = 30^\circ$.

Определим реакцию опоры одного ролика,

$$R_1 = \frac{R_A}{2 \cdot \cos \varphi_P}, \quad (3.21)$$

$$R_1 = \frac{133224,5}{2 \cdot 0,866} = 76919 \text{ Н} = 0,077 \text{ МН.}$$

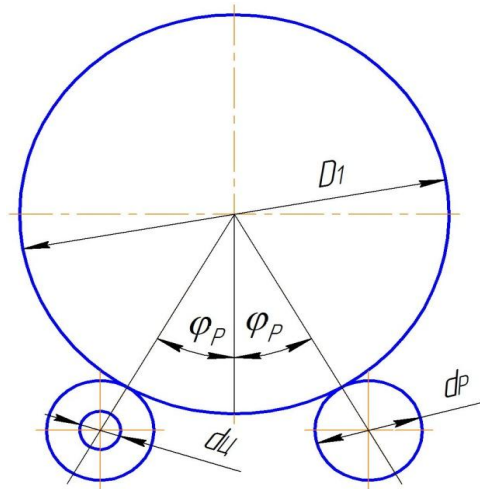


Рисунок 3.2 – Схема расположения роликовых опор

Проверим условие прочности в месте соприкосновения ролика и бандажа, где происходит их сжатие,

$$\sigma_{СЖ} = 0,418 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot R_1 \cdot E}{B} \cdot \frac{D_1 + d_P}{D_1 \cdot d_P}}, \quad (3.22)$$

где $E = 1,99 \cdot 10^5$ МПа, - для углеродистой стали 45Л, таблица В.2, приложение В;

$D_1 = 1,99$ м – диаметр бандажа;

$d_P = 0,5$ м – диаметр опорного ролика;

$B = 0,14$ м ширина опорного ролика.

Размеры бандажа и опорных роликов принимаем в соответствии с отраслевым стандартом ОСТ 26.260.445-92 (таблица Б.2, приложение Б) и рекомендациями [6],

$$\sigma_{СЖ} = 0,418 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 0,077 \cdot 1,99 \cdot 10^5}{0,14} \cdot \frac{1,99 + 0,5}{1,99 \cdot 0,5}} = 309,38 \text{ МПа.}$$

Предел текучести для стали 45Л (приложение В, таблица В.2) $\sigma_T = 314$ МПа, что больше расчетного, следовательно условие выполняется.

3.3 Расчет на прочность бандажа

Бандаж диаметром D_1 , м, опирается на 8 башмаков (приложение Б, таблица 3), расстояние l_B , м, между которыми определяется,

$$l_B = \frac{\pi \cdot D_1}{m_B}, \quad (3.23)$$

где $m_B = 8$ – количество башмаков.

$$l_B = \frac{3,14 \cdot 1,99}{8} = 0,781 \text{ м.}$$

На участке, расположенном между двумя башмаками, как изображено на рисунке 3.2, действует сила $R_1 = 0,077$ МН, от реакции опоры ролика.

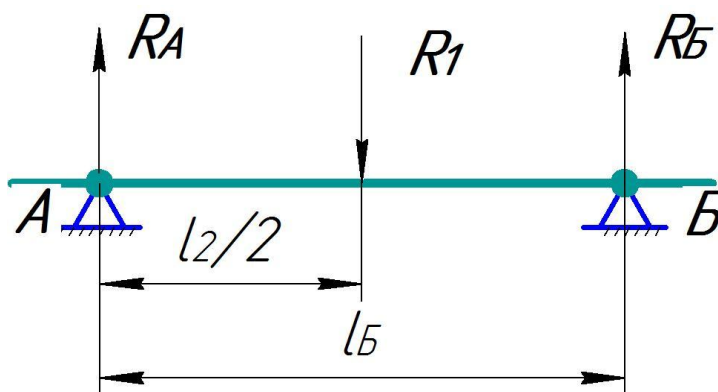


Рисунок 3.3 – Расчетная схема бандажа

Максимальный изгибающий момент в месте касания бандажа с роликом,

$$M_{\max}^I = R_1 \cdot \frac{l_2}{2}, \quad (3.24)$$

а условие прочности бандажа, будет иметь следующий вид,

$$\sigma_{II} = \frac{M_{\max}^I}{W_{BA}} \leq [\sigma]_{II}, \quad (3.25)$$

где W_{BA} – момент сопротивления бандажа, м^3 .

$$W_{BA} = \frac{B \cdot h_{BA}}{6}, \quad (3.26)$$

где $B = 0,14$ м – ширина бандажа, (приложение Б, таблица Б.2);

$h_{БА}$ – толщина бандажа, м.

$$h_{БА} = \frac{[D_1 - (D_B + 2 \cdot \delta + 2 \cdot h)]}{2}, \quad (3.27)$$

где $D_1 = 1,99$ м – диаметр бандажа;

$D_B = 1,6$ м – диаметр барабана;

$h = 0,07$ м – толщина башмаков;

$\delta = 0,008$ м – толщина стенки барабана.

Подставляя полученные значения в уравнение (3.24), находим,

$$h_{БА} = \frac{[1,99 - (1,6 + 0,16 + 0,14)]}{2} = 0,117 \text{ м.}$$

следовательно,

$$W_{БА} = \frac{0,14 \cdot 0,117^2}{6} = 0,00032 \text{ м}^3.$$

Максимальный изгибающий момент,

$$M_{\max}^И = 0,077 \cdot \frac{0,781}{2} = 0,03 \text{ МН} \cdot \text{м.}$$

$$\sigma_{И} = \frac{0,03}{0,00032} \leq [\sigma]_{И}$$

$$\sigma_{И} = 93,9 \leq [150]_{И}$$

Условие выполняется, расчетное значение напряжения значительно меньше допустимого.

3.4 Проверка на прочность упорного ролика

Определим радиальную силу, действующую на упорный ролик, которая складывается из сил тяжести барабана и материала, находящегося в нем, веса бандажей и зубчатого венца,

$$F = (G + 2 \cdot G_1 + G_2) \cdot \sin \beta, \quad (3.28)$$

где $G = 223763 \text{ Н}$ – сила тяжести от веса барабана и материала, находящегося в нем;

$G_1 = 14743 \text{ Н}$ – вес бандажа;

$G_2 = 10742 \text{ Н}$ - вес зубчатого венца;

$\beta = 2,76^\circ$ – угол наклона барабана.

$$F = (223763 + 2 \cdot 14743 + 10742) \cdot 0,048 = 12672 \text{ Н} = 0,013 \text{ МН} \cdot \text{м}.$$

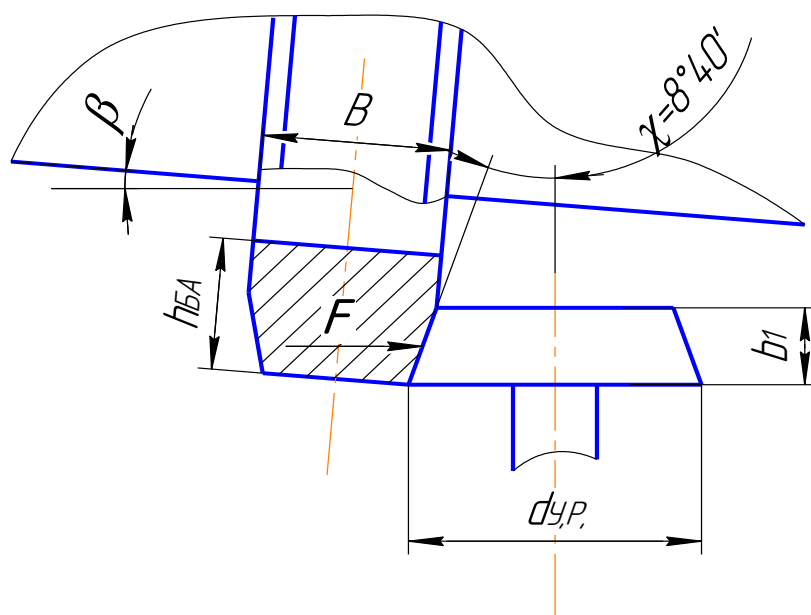


Рисунок 3.4 – Расчетная схема упорного ролика

Прочность упорного ролика на смятие, определяют из условия,

$$\sigma_{CM} = 0,418 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot F \cdot E}{d_{УР} \cdot b_1 \cdot \cos \chi}}, \quad (3.29)$$

где E – модуль упругости материала упорного ролика, МПа;

$d_{ур}$ – диаметр упорного ролика, м;

b_1 – высота упорного ролика, м;

χ – угол конусности упорного ролика, град.

$$\sigma_{CM} = 0,418 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 0,013 \cdot 1,99 \cdot 10^5}{0,298 \cdot 0,07 \cdot 0,98}} = 210 \text{ МПа.}$$

Условие для стали 50Л выполняется, если условие $\sigma_{CM} \leq [\sigma]_{CM}$, не выполняется, то увеличивают высоту упорного ролика.

Список использованных источников

1. Анурьев, В.И. Справочник конструктора машиностроителя: В 3 т / В.И. Анурьев, – под ред. И.Н. Жестковой. – 8-е изд. перераб. и доп. – М.: Машиностроение. 2001. – 864 с. - ISBN 5-217-02965-X
2. Касаткин, А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии: Учебник для вузов / А.Г. Касаткин. – 10-е изд. стереотипное, доработанное. - М.: ООО ТИД «Альянс», 2004. - 753 с. - ISBN 5-98535-004-5
3. Криворот, А.С. Конструкция и основы проектирования машин и аппаратов химической промышленности: Учеб. пособие для учащихся техникумов по специальности № 0529 "Хим., компрессорное и холодильное машиностроение"] / А. С. Криворот. - Москва : Машиностроение, 1976. - 376 с.
4. Лыков, М. В. Сушка в химической промышленности./М.В. Лыков. - М.: Химия, 1970. - 429 с.
5. Марочник сталей и сплавов / В. Г. Сорокин, А. В. Волосникова, С. А. Вяткин и [др.]; Под общ. ред. В. Г. Сорокина. - М.: Машиностроение, 1989. - 640 с.
6. Поникаров, И.И. Расчёты машин и аппаратов химических производств и нефтегазопереработки (примеры и задачи): Учебное пособие / И.И. Поникаров, С.И. Поникаров, С.В. Рачковский. - М.: Альфа-М, 2008. - 720 с.- ISBN 978-5-98281-132-5
7. Плаксин, Ю.М. Процессы и аппараты пищевых производств / Ю.М. Плаксин, Н.Н. Малахов, В.А. Ларин. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: КолосС, 2006. – 760 с. - ISBN 5-9532-0265-2
8. Расчеты и задачи по процессам и аппаратам пищевых производств / С.М. Гребенюк, Н.С.Михеева, Ю.П. Грачев и [др.] – М.: Агропромиздат, 1987. – 304 с.
9. Редукторы: Справочное пособие / Краузе Г.Н., Кутилин Н.Д., Сыцко Л.А., Л.: Машиностроение, 1972. - 144 с.

Приложение А

(справочное)

Таблица А.1 - Соотношение между единицами давления

Величина	Па	бар	тех. атм.	мм рт. ст	мм вод.ст.
$1Н / м^2 = 1Па$	1	10^{-5}	$1,02 \cdot 10^{-5}$	$7,5 \cdot 10^{-3}$	0,102
1 бар	10^5	1	1,02	750	$1,02 \cdot 10^4$
$1тех.атм = 1кгс / см^2$	$9,81 \cdot 10^{-4}$	10,981	1	735,6	10^4
1 мм рт. ст.	133,3	$133,3 \cdot 10^{-5}$	$1,36 \cdot 10^{-3}$	1	13,6
1 мм вод.ст.=1 кгс/м	9,81	$9,81 \cdot 10^{-5}$	10^{-4}	$7,356 \cdot 10^{-2}$	1

Таблица А.2 – Физические свойства воздуха при $P = 101,3$ кПа

$t, ^\circ\text{C}$	$\rho, \text{кг} / \text{м}^3$	$C, \text{кДж} / \text{кг}$	$\lambda \cdot 10^{-2},$ $\text{Вт} / (\text{м} \cdot \text{К})$	$\mu \cdot 10^{-6},$ $\text{Па} \cdot \text{с}$	$\nu \cdot 10^{-6},$ $\text{м}^2 / \text{с}$	Pr
-20	1,395	1,009	2,28	16,2	12,79	0,716
-10	1,342	1,009	2,36	16,7	12,43	0,712
0	1,293	1,005	2,44	17,2	13,28	0,707
10	1,247	1,005	2,51	17,6	14,16	0,705
20	1,205	1,005	2,59	18,1	15,06	0,703
30	1,165	1,005	2,67	18,6	16,00	0,701
40	1,128	1,005	2,76	19,1	16,96	0,699
50	1,093	1,005	2,83	19,6	17,95	0,698
60	1,060	1,005	2,90	20,1	18,97	0,696
70	1,029	1,009	2,96	20,6	20,02	0,694
80	1,000	1,009	3,05	21,1	21,09	0,692
90	0,972	1,009	3,13	21,5	22,10	0,690
100	0,946	1,009	3,21	21,9	23,13	0,688
120	0,898	1,009	3,34	22,8	25,45	0,686
140	0,854	1,013	3,49	23,7	27,8	0,684
160	0,815	1,017	3,64	24,5	30,09	0,682
180	0,779	1,022	3,78	25,3	32,49	0,681
200	0,746	1,026	3,93	26,0	34,85	0,680
250	0,674	1,38	4,27	27,4	40,61	0,677
300	0,615	1,047	4,60	29,7	48,33	0,674
350	0,566	1,059	4,91	31,4	55,46	0,676
400	0,524	1,068	5,21	33,6	63,09	0,678
500	0,456	1,093	5,74	36,2	79,38	0,687

Таблица А.3 – Физические свойства водяного пара в состоянии насыщения

$t, ^\circ\text{C}$	$P \cdot 10^{-5},$ Па	$\rho,$ кг / м ³	$r,$ кДж / кг	$C_p,$ кДж / (кг · К)	$\lambda \cdot 10^{-2},$ Вт / (м · К)	$\nu \cdot 10^{-6},$ м ² / с.	Pr
0,01	0,0061	0,00485	2500	1,861	1,697	1888	1,00
10	0,0123	0,00939	2477	1,869	1,770	1011	1,00
20	0,0234	0,01729	2453	1,877	1,824	563,7	1,00
30	0,0424	0,03037	2430	1,885	1,883	328,9	1,00
40	0,0738	0,05117	2406	1,895	1,953	200,7	1,00
50	0,1233	0,08303	2382	1,907	2,034	127,5	0,99
60	0,1992	0,1302	2358	1,923	2,122	83,88	0,99
70	0,3116	0,1981	2333	1,942	2,214	56,90	0,99
80	0,4736	0,2932	2309	1,967	2,309	39,63	0,99
90	0,7011	0,4232	2283	1,997	2,407	28,26	0,99
100	1,013	0,598	2256,8	2,135	2,372	20,02	1,08
110	1,43	0,826	2230,0	2,177	2,489	15,07	1,09
120	1,98	1,121	2202,8	2,206	2,593	11,46	1,09
130	2,70	1,496	2174,3	2,257	2,686	8,85	1,11
140	3,61	1,966	2145,0	2,315	2,791	6,89	1,12
150	4,76	2,547	2114,3	2,395	2,884	5,47	1,16
160	6,18	3,258	2092,6	2,479	3,012	4,39	1,18
170	7,92	4,122	2049,5	2,583	3,128	3,57	1,21
180	10,03	5,157	2015,2	2,709	3,268	2,93	1,25
190	12,551	6,397	1978,8	2,856	3,419	2,44	1,30
200	15,55	7,862	1940,7	3,023	3,547	2,03	1,36
210	19,08	9,588	1900,5	3,199	3,722	1,71	1,41
220	23,20	11,62	1857,8	3,408	3,896	1,45	1,47
230	27,98	13,99	1813,0	3,634	4,094	1,24	1,54
240	33,48	16,76	1765,6	3,881	4,291	1,06	1,61
250	39,78	19,98	1715,8	4,158	4,512	0,913	1,68
260	46,94	23,72	1661,4	4,468	4,803	0,794	1,75
270	55,05	28,09	1604,4	4,815	5,106	0,688	1,82
280	64,19	33,19	1542,9	5,234	5,489	0,600	1,90
290	74,45	39,15	1476,3	5,694	5,827	0,526	2,01
300	85,92	46,21	1404,3	6,280	6,268	0,461	2,13
310	98,70	54,58	1325,2	7,118	6,838	0,403	2,29
320	112,90	64,72	1238,1	8,206	7,513	0,353	2,50
330	128,90	77,10	1139,7	9,881	8,257	0,310	2,86

Таблица А.4 - Водяной пар в состоянии насыщения (по температуре)

$t, ^\circ\text{C}$	$P \cdot 10^{-3}, \text{Па}$	$r, \text{кДж} / \text{кг}$	$i^H, \text{кДж} / \text{кг}$	$i^K, \text{кДж} / \text{кг}$	$\rho, \text{кг} / \text{м}^3$
10	1,23	2476,9	2518,7	41,99	0,0094
11	1,31	2474,3	2520,4	46,19	0,0100
12	1,40	2472,3	2522,5	50,38	0,0106
13	1,50	2469,7	2524,2	54,57	0,0113
14	1,59	2467,6	2526,3	58,75	0,0120
15	1,71	2465,1	2527,9	62,94	0,0128
16	1,82	2462,6	2529,6	67,13	0,0136
17	1,94	2460,1	2531,3	71,31	0,0144
18	2,06	2457,6	2532,9	75,50	0,0153
19	2,19	2455,5	2535,0	79,68	0,0163
20	2,34	2453,0	2536,7	83,86	0,0173
21	2,49	2450,5	2538,4	88,04	0,0183
22	2,64	2448,4	2540,5	92,22	0,0194
23	2,82	2445,9	2542,2	96,41	0,0205
24	2,98	2443,8	2544,3	100,59	0,0217
25	3,17	2441,3	2546,9	104,77	0,0230
26	3,36	2438,8	2547,6	108,95	0,0243
27	3,56	2436,7	2549,7	113,13	0,0257
28	3,78	2434,2	2551,4	117,31	0,0272
29	4,00	2432,1	2553,5	121,48	0,0287
30	4,24	2429,6	2555,1	125,66	0,0304
31	4,46	2427,0	2556,8	129,84	0,0320
32	4,86	2424,9	2558,9	134,02	0,0338
33	5,10	2422,4	2560,6	138,20	0,0356
34	5,33	2419,9	2562,3	142,38	0,0376
35	5,63	2417,8	2564,3	146,56	0,0396
36	5,95	2415,3	2566,0	150,74	0,0417
37	6,27	2412,8	2567,7	154,92	0,0439
38	6,63	2410,7	2569,8	159,09	0,0462
39	6,99	2408,2	2571,5	163,27	0,0486
40	7,35	2405,7	2573,1	167,45	0,0511
41	7,75	2403,6	2575,2	171,63	0,0538
42	8,20	2401,1	2576,9	175,81	0,0565
43	8,64	2398,6	2578,6	179,99	0,0594
44	9,10	2396,1	2580,2	184,17	0,0623
45	9,57	2393,6	2581,9	188,35	0,0654
46	10,10	2391,0	2583,6	192,53	0,0686

Продолжение таблицы А.4

$t, ^\circ\text{C}$	$P \cdot 10^{-3}, \text{Па}$	$r, \text{кДж} / \text{кг}$	$i^H, \text{кДж} / \text{кг}$	$i^K, \text{кДж} / \text{кг}$	$\rho, \text{кг} / \text{м}^3$
47	10,62	2388,9	2585,7	196,71	0,0721
48	11,15	2386,4	2587,4	200,89	0,0756
49	11,75	2383,9	2598,0	205,07	0,0792
50	12,35	2381,8	2591,1	209,26	0,0830
51	12,99	2379,3	2592,8	213,44	0,0869
52	13,61	2376,8	2594,5	217,62	0,0911
53	14,40	2374,7	2596,6	221,80	0,0953
54	15,01	2372,2	2598,2	225,98	0,0997
55	15,75	2369,7	2599,9	230,17	0,1043
56	16,38	2367,6	2602,0	234,35	0,1092
57	17,30	2365,1	2603,7	238,54	0,1141
58	18,20	2362,6	2605,4	242,72	0,1193
59	19,05	2360,1	2607,0	246,92	0,1246
60	19,92	2357,6	2608,7	251,09	0,1301
61	20,84	2355,0	2610,4	255,28	0,1359
62	21,81	2352,5	2612,1	259,46	0,1419
63	22,81	2350,0	2613,7	263,65	0,1481
64	23,88	2347,5	2615,4	267,84	0,1545
65	25,01	2345,0	2617,1	272,02	0,1611
66	26,20	2342,5	2618,8	276,21	0,1681
67	27,38	2340,0	2620,4	280,40	0,1752
68	28,31	2337,5	2622,1	284,59	0,1826
69	29,80	2335,4	2624,2	289,78	0,1902
70	31,10	2332,9	2625,9	292,97	0,1979
71	32,45	2330,3	2627,6	297,16	0,2063
72	34,10	2327,8	2629,2	301,36	0,2147
73	35,45	2325,3	2630,9	305,55	0,2234
74	37,00	2322,8	2632,6	309,74	0,2325
75	38,45	2320,3	2634,2	313,94	0,2416
76	40,17	2317,8	2635,9	318,13	0,2514
77	41,90	2315,3	2637,6	322,33	0,2614
78	43,60	2312,8	2639,3	326,52	0,2716
79	45,50	2310,3	2640,9	330,72	0,2823
80	47,40	2307,7	2642,6	334,92	0,2929
81	49,40	2305,2	2644,3	339,11	0,3045
82	51,49	2302,7	2646,0	343,31	0,3162
83	53,40	2300,2	2647,5	347,51	0,3281
84	55,70	2297,7	2649,3	351,71	0,3406

Продолжение таблицы А.4

$t, ^\circ\text{C}$	$P \cdot 10^{-3}, \text{Па}$	$r, \text{кДж} / \text{кг}$	$i^H, \text{кДж} / \text{кг}$	$i^K, \text{кДж} / \text{кг}$	$\rho, \text{кг} / \text{м}^3$
85	57,60	2295,2	2651,0	355,92	0,3531
86	60,20	2292,7	2652,7	360,12	0,3665
87	62,40	2290,2	2654,3	364,32	0,3800
88	65,00	2287,6	2656,0	368,53	0,3941
89	67,50	2284,7	2657,3	378,73	0,4085
90	71,00	2282,2	2658,9	376,94	0,4229
91	72,70	2279,7	2660,6	381,15	0,4386
92	75,70	2277,2	2662,7	385,36	0,4543
93	78,40	2274,7	2664,4	389,57	0,4705
94	82,50	2272,2	2666,1	393,78	0,4871
95	84,50	2269,2	2667,3	397,99	0,5039
96	87,70	2266,7	2669,0	402,20	0,5218
97	91,00	2264,2	2670,7	406,42	0,5400
98	94,30	2261,7	2672,3	410,63	0,5586
99	97,70	2258,8	2673,6	414,85	0,5777
100	101,30	2256,3	2675,3	419,06	0,5974
101	104,99	2254,6	2677,9	423,28	0,6177
102	108,78	2252,0	2679,5	427,50	0,6384
103	112,67	2249,3	2681,0	431,73	0,6597
104	116,68	2246,6	2682,6	435,95	0,6817
105	120,80	2243,9	2684,1	440,17	0,7036
106	125,04	2241,3	2685,7	444,40	0,7273
107	129,41	2238,6	2687,2	448,63	0,7510
108	133,90	2235,9	2688,8	452,85	0,7754
109	138,52	2233,2	2690,3	457,08	0,8004
110	143,26	2230,5	2691,8	461,32	0,8254
111	148,14	2227,7	2693,3	465,55	0,8523
112	153,16	2225,0	2694,8	469,78	0,8793
113	158,32	2222,3	2696,3	474,02	0,9070
114	163,61	2219,5	2697,8	478,26	0,9354
115	169,05	2216,8	2699,3	482,50	0,9635
116	174,64	2214,1	2700,8	486,74	0,9942
117	180,38	2211,2	2702,2	490,98	1,0248
118	186,26	2208,5	2703,7	495,22	1,0561
119	192,33	2205,7	2705,2	499,47	1,0882
120	198,54	2202,9	2706,6	503,7	1,1199
121	204,91	2200,1	2708,1	508,0	1,1547

Продолжение таблицы А.4

$t, ^\circ\text{C}$	$P \cdot 10^{-3}, \text{Па}$	$r, \text{кДж} / \text{кг}$	$i^H, \text{кДж} / \text{кг}$	$i^K, \text{кДж} / \text{кг}$	$\rho, \text{кг} / \text{м}^3$
122	211,45	2197,3	2709,5	512,2	1,1892
123	218,15	2194,4	2710,3	516,5	1,2244
124	225,03	2191,6	2712,3	520,7	1,2606
125	232,09	2188,8	2713,3	525,0	1,2969
126	239,32	2186,0	2715,2	529,2	1,3354
127	246,74	2183,1	2716,6	533,5	1,3742
128	254,34	2180,1	2717,9	537,8	1,4138
129	263,13	2177,3	2719,3	542,0	1,4543
130	270,12	2174,4	2720,7	546,3	1,4959
131	278,30	2171,5	2722,1	550,6	1,5383
132	286,68	2168,6	2723,4	554,8	1,5817
133	295,27	2165,7	2724,8	559,1	1,6261
134	304,06	2162,7	2726,1	563,4	1,6715
135	313,06	2159,7	2727,4	567,7	1,7179
136	322,27	2156,8	2728,8	572,0	1,7653
137	331,71	2153,9	2730,1	576,2	1,8138
138	341,37	2150,9	2731,4	580,5	1,8632
139	351,25	2147,9	2732,7	584,8	1,9139
140	361,36	2144,9	2734,0	589,1	1,956
141	371,70	2141,8	2735,2	593,4	2,0184
142	382,28	2138,8	2736,5	597,7	2,0723
143	383,11	2135,8	2737,8	602,0	2,1275
144	404,18	2132,7	2739,0	606,3	2,1838
145	415,50	2129,7	2740,3	610,6	2,2491
146	427,07	2126,6	2741,5	614,9	2,2999
147	348,90	2123,5	2742,5	619,2	2,3598
148	450,99	2120,4	2743,9	623,5	2,4209
149	463,34	2117,3	2745,1	627,8	2,4833
150	475,97	2114,1	2746,3	632,2	2,5471
151	488,87	2111,0	2747,5	636,5	2,6121
152	502,05	2107,9	2748,7	640,8	2,6783
153	515,52	2104,7	2749,8	645,1	2,7460
154	529,26	2101,5	2751,0	649,5	2,8150
155	543,31	2098,3	2752,1	653,8	2,8855
156	557,64	2095,2	2753,3	658,1	2,9573
157	572,28	2092,0	2754,4	662,4	3,0305
158	587,22	2088,7	2755,5	666,8	3,1051

Продолжение таблицы А.4

$t, ^\circ\text{C}$	$P \cdot 10^{-3}, \text{Па}$	$r, \text{кДж} / \text{кг}$	$i^H, \text{кДж} / \text{кг}$	$i^K, \text{кДж} / \text{кг}$	$\rho, \text{кг} / \text{м}^3$
159	602,48	2085,5	2756,6	671,1	3.1813
160	618,04	2082,2	2757,7	675,5	3.2589
161	633,93	2079,0	2758,8	679,8	3.3381
162	650,14	2075,6	2759,8	684,2	3.4188
163	666,68	2072,4	12760,9	688,5	3,5010
164	683,55	2069,0	2761,9	692,9	3,5847
165	700,75	2065,7	2763,0	697,3	3,6702
166	718,30	2062,4	2764,0	701,6	3,7573
167	736ДО	2059,0	2765,0	706,0	3,8460
168	754,45	2055,6	2766,0	710,4	3,9364
169	773,05	2052,3	2767,0	714,7	4,0284
170	792,02	2048,9	2768,0	719,1	4,1222
171	811,39	2045,4	2768,9	723,5	4,2176
172	831,06	2042,0	2769,9	727,9	4,3148
173	851,14	2038,5	2770,8	732,3	4,4140
174	871,61	2035,1	2771,8	736,7	4,5149
175	892,46	^031,6	2772,7	741,1	4,6176
176	913,70	2028,1	2773,6	745,5	4,7236
177	935,34	2024,6	2774,6	749,9	4,8286
178	957,39	2021,0	2775,3	754,3	4,9374
179	979,84	I2017,5	2776,2	758,7	5,0474
180	1002,70	2014,0	2777,1	763,1	5,1596

Таблица А.5- Максимально допустимые скорости сушильного агента в барабане

Средний размер частиц, $d_{\text{ч}}$, мм	Значение скорости сушильного агента $V_{\text{ч}}$, м/с (при плотности материала ρ , кг/м ³)				
	$\rho_m = 350$	$\rho_m = 1000$	$\rho_m = 1400$	$\rho_m = 1800$	$\rho_m = 2200$
Менее 0,3	0,5	2,0	3,0	4,0	5,0
От 0,3 до 2,0	0,5 – 1,0	2,0 – 5,0	3,0 – 7,5	4,0 – 10,0	5,0 – 12,0
Более 2,0	1,3	5,3	8,0	10,5	13,0

Таблица А.6 – Значения коэффициента ξ

Насадка	Значения ξ при степени ψ заполнения барабана			
	0,1	0,15	0,20	0,25
Лопастная, периферийно-лопастная	0,038	0,053	0,063	0,071
Распределительная	0,013	0,026	0,038	0,044
Секторная	0,006	0,008	0,01	0,011

Таблица А.7 - Влагосодержание влажного воздуха (г/кг содержащегося в нем сухого воздуха при атмосферном давлении)

Температура, °С	Относительная влажность воздуха, $\varphi_{Воз.}$ %									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
10	0,77	1,54	2,31	3,09	3,87	4,65	5,43	6,21	7,00	7,78
15	1,07	2,14	3,22	4,30	5,38	6,47	7,36	8,66	9,76	10,86
20	1,47	2,94	4,42	5,91	7,41	8,91	10,42	11,94	13,46	15,00
25	1,99	3,99	6,01	8,04	10,08	12,14	14,21	26,29	18,39	20,50
30	2,67	5,36	8,08	10,82	13,59	16,37	19,19	22,03	24,89	27,78
35	3,55	7,13	10,76	14,43	18,14	21,90	25,70	29,54	33,43	37,37
40	4,66	9,40	14,20	19,07	24,03	29,95	34,16	39,35	44,62	49,98
45	6,07	12,27	18,58	25,03	31,60	38,31	45,15	52,14	59,28	66,57
50	7,84	15,88	24,13	32,60	41,29	50,21	59,30	68,79	78,47	88,42
55	10,05	20,43	31,15	42,24	53,70	65,57	77,86	90,69	103,80	117,50
60	12,78	26,10	39,98	54,48	69,61	85,44	102,00	119,35	137,54	156,64
65	16,14	33,15	51,06	70,02	89,96	111,26	133,71	157,69	183,15	210,31
70	20,27	41,90	65,03	89,83	116,33	145,16	176,15	209,73	246,27	285,99
75	25,30	52,74	82,60	115,21	150,99	190,31	233,85	282,25	335,37	397,29
80	28,89	66,15	104,77	147,96	196,55	251,62	314,53	387,06	471,60	571,34
85	38,84	82,83	133,07	190,95	258,35	337,78	432,75	584,25	691,72	874,65
90	47,81	103,54	169,34	248,12	344,13	463,62	615,33	814,24	1097,51	1508,85
95	58,8	129,5	216,75	326,60	469,12	661,27	934,27	1352,19	2071,68	3601,74
100-300	69,62	156,81	269,15	419,35	630,45	948,*9	1484,49	2574,24	5998,07	--

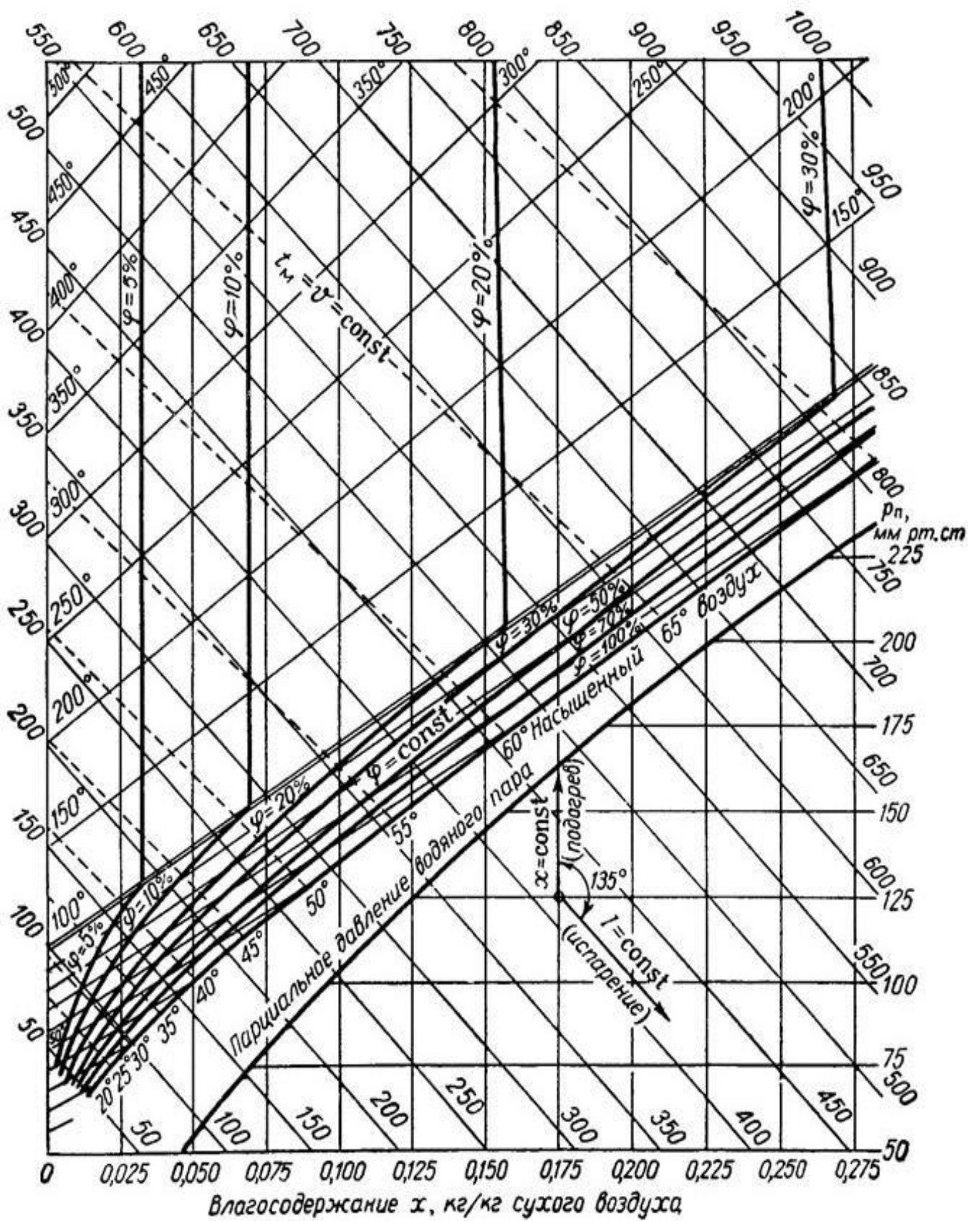


Рисунок А.1 - $I - X$ диаграмма влажного воздуха Л. К. Рамзина

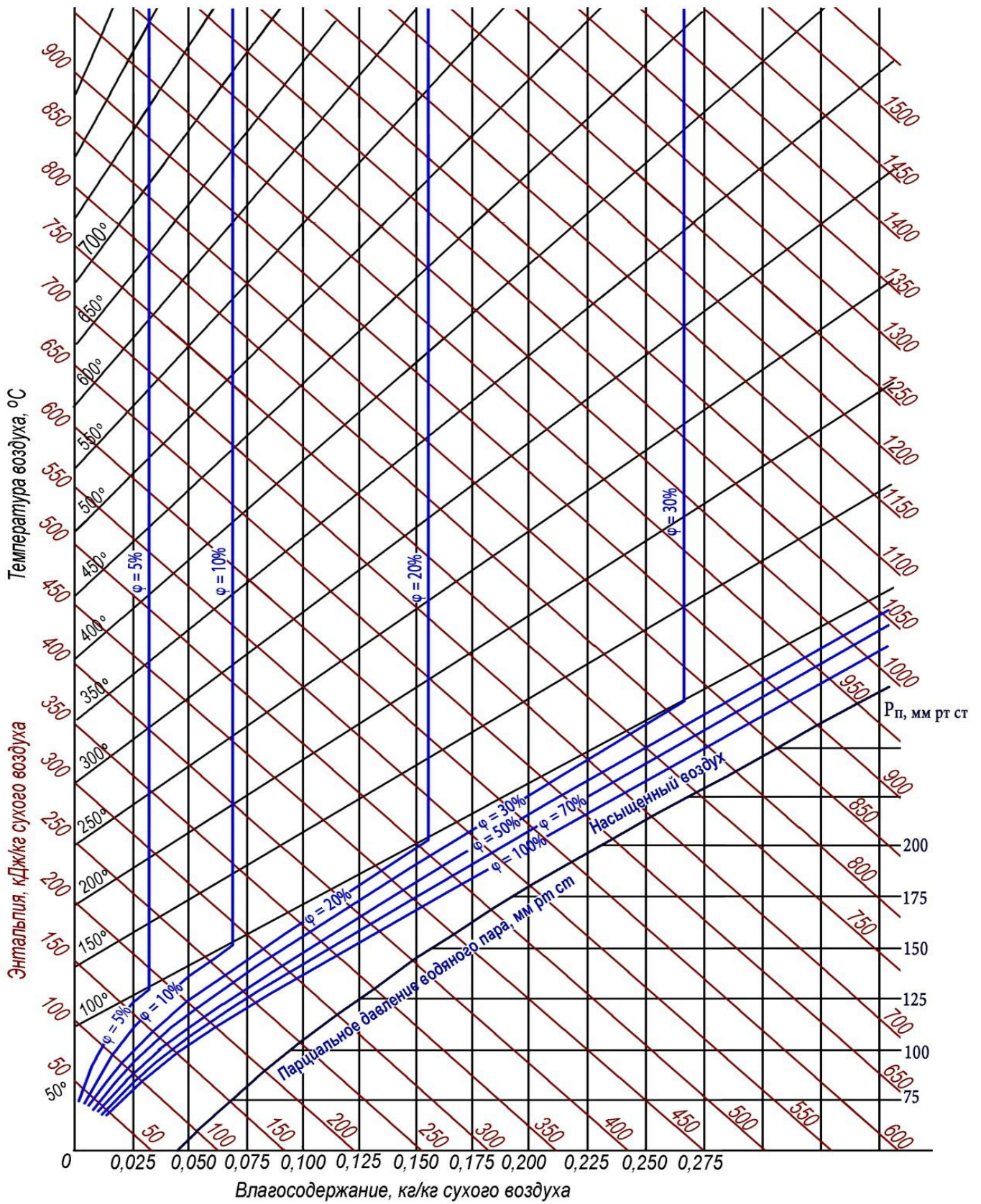


Рисунок А.2 - I – X диаграмма влажного воздуха при высоких температурах

Приложение Б

(справочное)

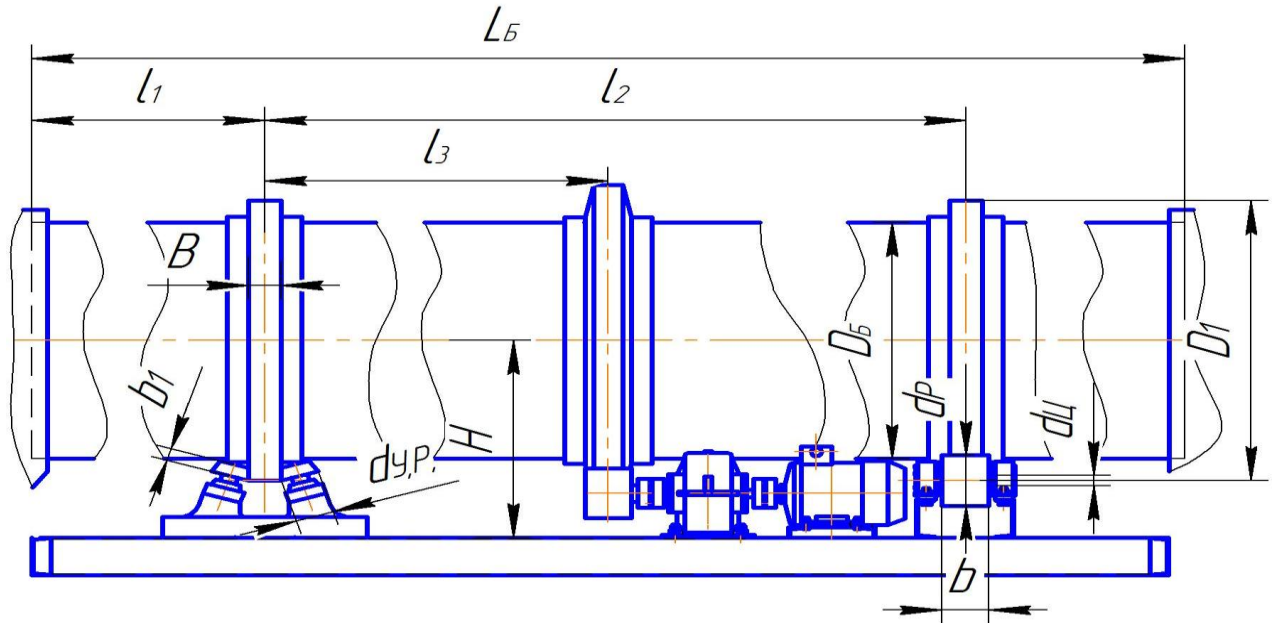


Рисунок Б.1 – Схема барабанной сушилки диаметром от 1000 до 2200 мм

Таблица Б.1 – Основные параметры барабанных сушилок

Диаметр и длина, мм		Толщина стенки, δ , мм	Основные размеры, мм					Масса, кг, не более
D_B , мм	L_B , мм		l_1	l_2	l_3	H	n^{-1}	
1000	4000	5	850	2300	1050	967	0,068- 0,135	5700
	6000		1250	3500	1450			6300
1200	6000	6	1650	4700	1475	1160		8300
	8000				1875			9100
1600	10000	8	2050	5900	2275	1453		9800
	8000				1875			16400
	12000				2775		19000	
2000	8000	10	1650	4700	1925	1783	24900	
	10000				2325		26800	
	12000				2775		28900	
2200	10000	12	2050	5900	2325	1892	31700	
	12000				2775		33800	
	14000				3175		36700	
	16000				3625		39000	
2500	14000	14	2900	8200	3175	2286	0,033- 0,10	75000
	18000	16	3750	10500	4125			88850
	20000		4150	11700	4575			94300

Продолжение таблицы Б.1

Диаметр и длина, мм		Толщина стенки, δ , мм	Основные размеры, мм					Масса, кг, не более
D_B , мм	L_B , мм		l_1	l_2	l_3	H	n^{-1}	
2800	14000	16	2900	8200	3625	2473	0,033-0,10	88500
	16000		3350	9300	3825			94500
	20000		4150	11700	4600			111610

Таблица Б.2 – Основные размеры элементов опорно-упорных станций (ОСТ 26.260.447. – 92)

Диаметр барабана D_B , мм	Нгрузка на опору Q, кН	Размеры бандажа, мм		Размеры опорных роликов, мм		Диаметр цапфы $d_{Ц}$, мм	Размеры упорных роликов, мм		Масса венцовой шестерни m_B , кг
		Диаметр D_1	Ширина B	Диаметр d_p	Ширина b		Диаметр $d_{y.p.}$	Ширина b_1	
1000	100	1310	100	300	120	70	196	50	500
1200	160	1530	120	400	150	90	230	55	750
1600	250	1990	140	500	190	110	298	70	1095
2000	400	2480	180	600	230	130	372	90	1860
2200	510	2730	200	600			410		2090
2500	630	3050	220	400	250	250	400	80	7200
2800	800	3350	300	500	340		500	100	9300

Таблица Б.3 – Количество башмаков под бандажом

Диаметр барабана D_B , мм	1000	1200	1600	2000	2200	2500	2800
Количество башмаков	6		8		12	16	
Толщина башмаков, h, мм	50		70		90	100	

Приложение В

(справочное)

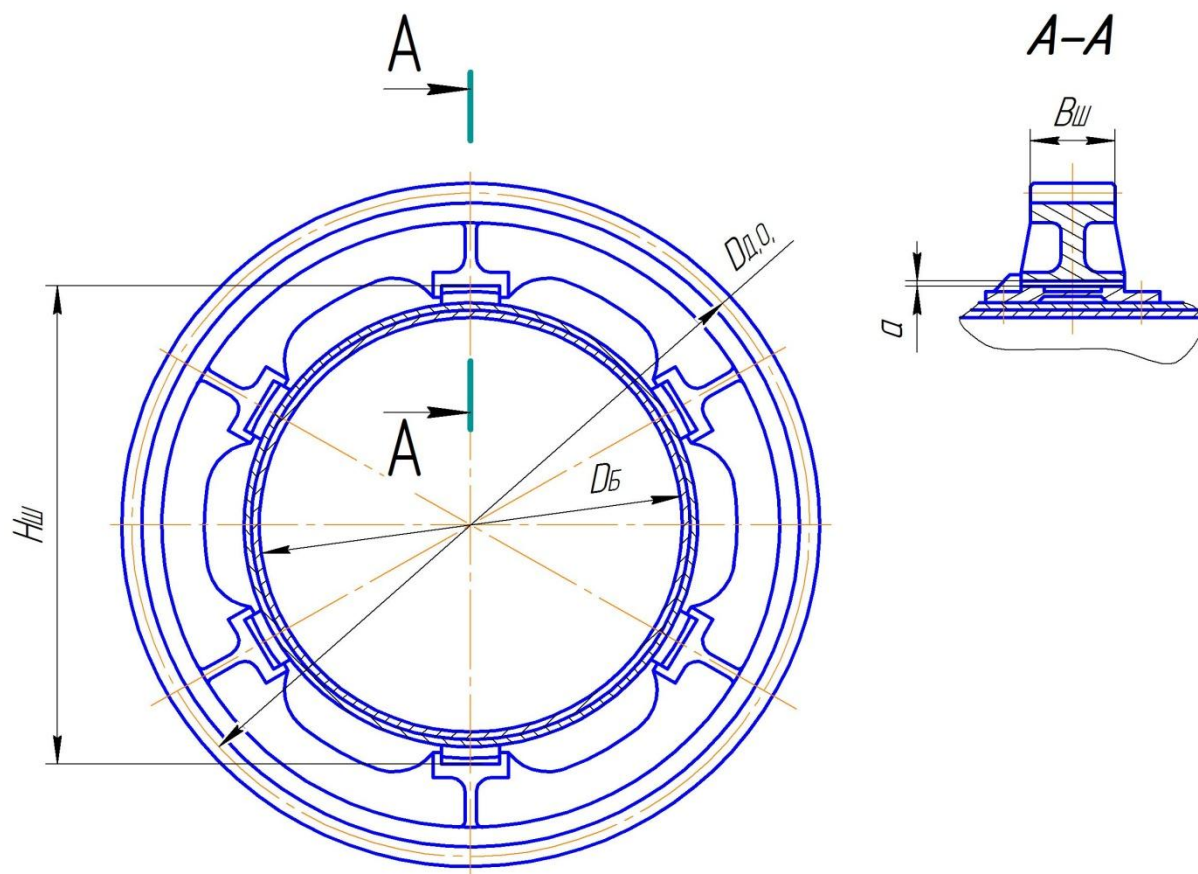


Рисунок В.1 – Венцовая шестерня

Таблица В.1 – Основные размеры зубчатых венцов с башмаками (ОСТ 26.60.445.- 92)

Размеры в мм					Число мест крепления	Масса кг, не более
$D_Б$	$D_{Д.О.}$	$B_Ш$	$H_Ш$	a		
1000	1584	100	1180	4	6	500
1200	1848	120	1380			
1600	2376	150	1814	6		
2000	2904	180	2220	8	8	1860
2200	3036	200	2424			
2500	3480	240	2730	10	12	5100
2800	3828	220	3046			

Таблица В.2 – Механические свойства и допускаемые напряжения для отливок из легированных сталей по ГОСТ 977-88

Марка стали	Временное сопротивление МПа, σ_B	Предел текучести, МПа, σ_T	Допускаемые напряжения, МПа				
			при растяжении, $[\sigma]_P$	при изгибе $[\sigma]_{И}$	при кручении, $[\sigma]_K$	при срезе, $[\sigma]_{CP}$	при смятии, $[\sigma]_{CM}$
20Л	412	216	90	110	63	50	135
25Л	441	235	95	115	65	52	145
30Л	471	255	100	120	70	55	150
35Л	491	275	110	130	75	60	165
40Л	520	294	117	140	80	65	175
45Л	540	314	125	150	87	70	190
50Л	569	334	140	170	100	75	210

Таблица В.3 – Значения модуля упругости, МПа, для углеродистых и низколегированных сталей

$t, ^\circ C$	20	100	150	200	250	300	350	400	450
$E \cdot 10^{-5},$ МПа	1,99	1,91	1,86	1,81	1,76	1,71	1,64	1,55	1,40