

Методическая разработка. **Расчёт барабанной сушилки,** **обогреваемой воздухом.**

Щёлковский Политехнический техникум.

Предмет: Процессы и аппараты.

Стрункина Е.М. Стрункин С.Е.

Методическая разработка для преподавателя и студентов, по предмету «Процессы и аппараты», для курсового проектирования по теме: «Сушка».

Состоит: 1) Презентация.
2) Методика расчёта.
3) Справочные таблицы.
4) Компьютерная программа.



2012 год.

Содержание :

<u>Бланк задания</u>	3
<u>Задание на курсовой проект</u>	4
<u>Введение</u>	5
<u>2.1.Материальный баланс</u>	7
<u>2.2.Технологический расчёт аппарата</u>	7
<u>2.3.Тепловой баланс аппарата</u>	9
<u>2.3.2.Определяем потери тепла в окружающую среду</u>	9
<u>2.3.4.Определяем удельный расход тепла на нагревание высушенного материала</u>	12
<u>2.3.6.Летние условия</u>	13
<u>2.2.5.Технологический расчёт аппарата (продолжение)</u>	16
<u>Таблицы</u>	18
<u>Список литературы</u>	22

«ЩЁЛКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ТЕХНИКУМ»

Задание №_____ на курсовой проект по предмету:

«ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ»

Учащемуся (Ф.И.О.) _____

Наименование учебной группы _____ Шифр учащегося _____

Специальность _____

Тема курсового проекта: Расчёт Барабанной сушилки.

Исходные данные: Спроектировать барабанную сушилку непрерывного действия, для высушивания

Место установки сушилки, _____, летние условия.

Температура воздуха в цехе $t_0 =$ _____ (°), поверхность барабана-

1) Количество загружаемого материала $G =$ _____ (кг/ч). 2) Начальная $w_1 =$ _____ (%) и конечная $w_2 =$ _____ (%) влажность материала.

3) Температура воздуха после калорифера _____ (°). 4) Температура загружаемого (высушиваемого) $\vartheta_1 =$ _____ (°).

и выгружаемого (высушенного) материала $\vartheta_2 =$ _____ (°).

5) Относительная влажность воздуха при выходе из сушилки $\varphi =$ _____ (%). 6) Температура поверхности барабана $\theta_2 = 30^\circ$.

7) Абсолютное давление пара в калорифере _____ (атм).

Содержание и объём проекта Расчётно-пояснительная записка

1.Вводная часть

- 1.1 Краткое описание и сравнительная характеристика существующих аппаратов данного типа.
- 1.2 Краткое описание заданного процесса и физико-химическая характеристика сырья и продуктов.
- 1.3 Описание проектируемого аппарата, преимущества и недостатки выбранной конструкции аппарата.
- 1.4 Краткие сведения по обслуживанию проектируемого объекта.

2.Расчётная часть

- 2.1 Материальный расчёт аппарата.
- 2.2 Технологический расчёт аппарата.
- 2.3 Тепловой баланс аппарата.

3.Графическая часть (для технологов)

- 3.1 Лист №1. Конструктивный чертёж аппарата (с отдельными узлами и деталями, по указанию руководителя проекта).
- 3.2 Лист №2. Аппаратурная схема установки.

4.Литература и справочники

- 4.1. А.Н.Плановский, В.М.Рамм, С.З.Каган. Процессы и аппараты химической технологии. М.:Химия 1966г, 831 с.
- 4.2. М.Н.Кувшинский, А.П.Соболева. Процессы и аппараты химической промышленности. Высшая школа 1964г, 206с.
- 4.3. Ю.И.Дытнерский. Основные процессы и аппараты химической промышленности. М.:Химия 1983г, 272 с.

Преподаватель Стрункина Е.М. _____

Председатель предметной комиссии _____

«ЩЁЛКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ТЕХНИКУМ»

Задание №_____ на курсовой проект по предмету:

«ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ»

Учащемуся (Ф.И.О.) _____

Наименование учебной группы _____ Шифр учащегося _____

Специальность _____

Тема курсового проекта: Расчёт Барабанной сушилки.

Исходные данные: Спроектировать барабанную сушилку непрерывного действия, для высушивания аммиачной селитры. Место установки сушилки, район Москвы, летние условия. Температура воздуха в цехе $t_0 = 18^\circ$, поверхность барабана- масляная краска.

1) Количество загружаемого материала $G = 1800$ (кг/ч). 2) Начальная $w_1 = 1.5$ (%) и конечная $w_2 = 0.5$ (%). 3) Температура воздуха после калорифера 110° . 4) Температура загружаемого (высушиваемого) $\vartheta_1 = 18^\circ$ и выгружаемого (высушенного) $\vartheta_2 = 50^\circ$.

5) Относительная влажность воздуха при выходе из сушилки $\phi = 80\%$. 6) Температура поверхности барабана $\theta_2 = 30^\circ$.

7) Абсолютное давление пара в калорифере 2 (атм).

Содержание и объём проекта Расчётно-пояснительная записка

1.Вводная часть

- 1.1 Краткое описание и сравнительная характеристика существующих аппаратов данного типа.
- 1.2 Краткое описание заданного процесса и физико-химическая характеристика сырья и продуктов.
- 1.3 Описание проектируемого аппарата, преимущества и недостатки выбранной конструкции аппарата.
- 1.4 Краткие сведения по обслуживанию проектируемого объекта.

2.Расчётная часть

- 2.1 Материальный расчёт аппарата.
- 2.2 Технологический расчёт аппарата.
- 2.3 Тепловой баланс аппарата.

3.Графическая часть (для технологов)

- 3.1 Лист №1. Конструктивный чертёж аппарата (с отдельными узлами и деталями, по указанию руководителя проекта).
- 3.2 Лист №2. Аппаратурная схема установки.

4.Литература и справочники

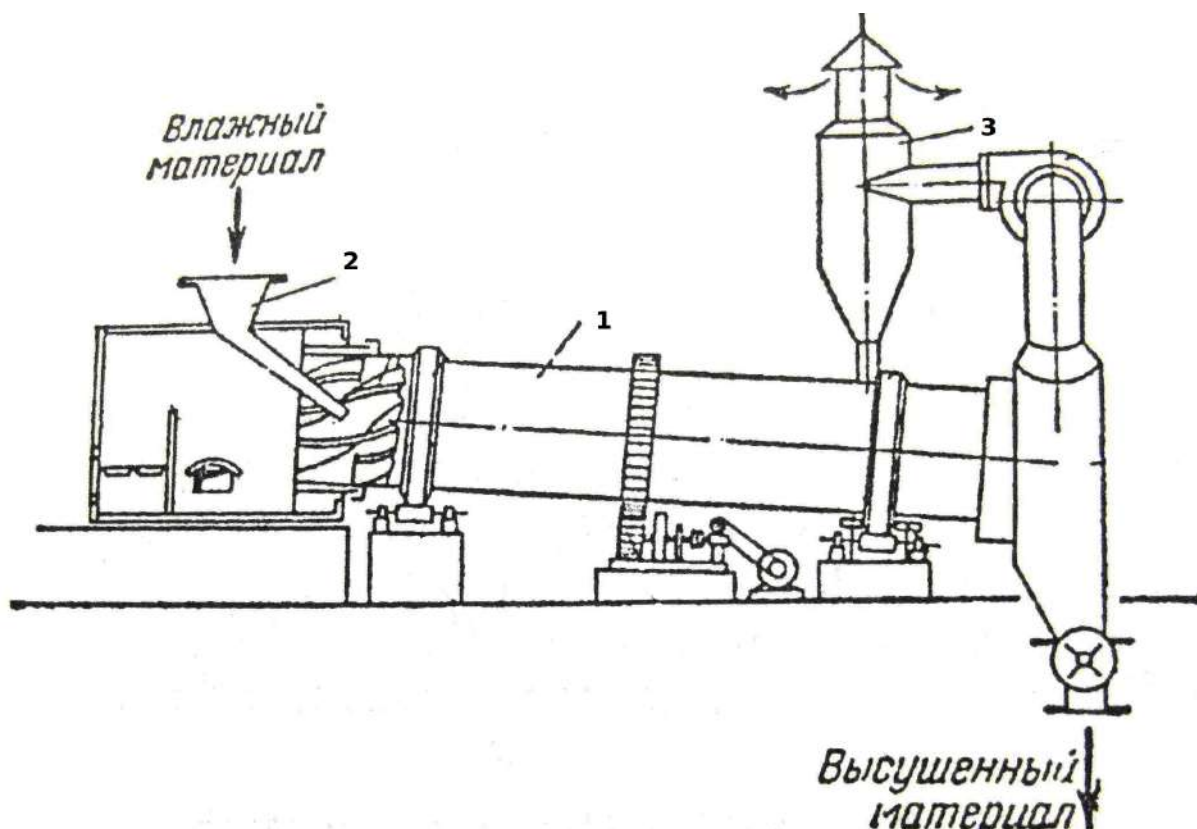
- 4.1. А.Н.Плановский, В.М.Рамм, С.З.Каган. Процессы и аппараты химической технологи. М.:Химия 1966г. 831 с.
- 4.2. М.Н.Кувшинский, А.П.Соболева. Процессы и аппараты химической промышленности. Высшая школа 1964г. 206с.
- 4.3. Ю.И.Дытнерский. Основные процессы и аппараты химической промышленности. М.:Химия 1983г. 272 с.

Преподаватель Стрункина Е.М. _____

Председатель предметной комиссии _____

ведение.
Барабанные сушилки.

Эти сушилки широко применяются для непрерывной сушки при атмосферном давлении кусковых, зернистых и сыпучих материалов. Барабанная сушилка имеет цилиндрический барабан **1**, установленный с небольшим наклоном к горизонту. Барабан приводится во вращение электродвигателем через зубчатую передачу и редуктор. Число оборотов барабана обычно не превышает 5 – 8 об/мин. Материал подается в барабан питателем **2** приемно-винтовой насадки, а затем поступает на внутреннюю насадку, расположенную вдоль почти всей длины барабана. Насадка обеспечивает равномерное распределение и хорошее перемешивание материала по сечению барабана, а также его тесное соприкосновение при пересыпании с сушильным агентом – воздухом. Перед выбросом в атмосферу отработанные газы очищаются от пыли в циклоне **3**.

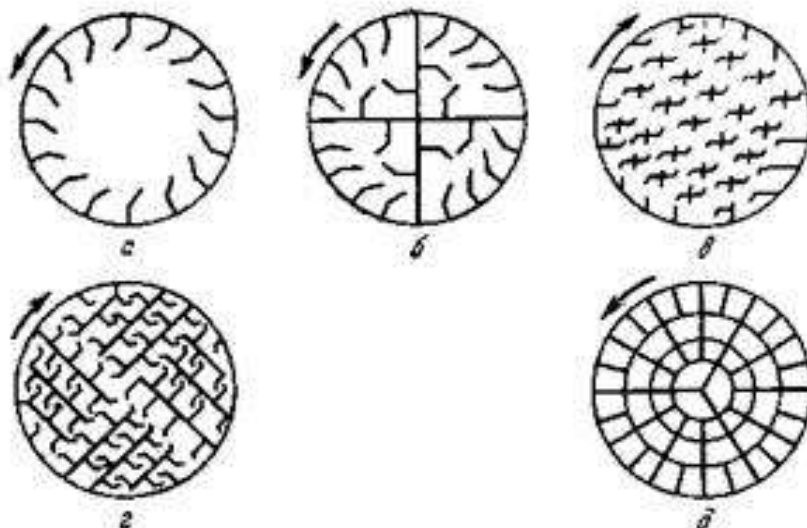


Устройство внутренней насадки барабана зависит от размера кусков и свойств высушиваемого материала.

Подъемно-лопастная насадка используется для сушки крупнокусковых и склонных к налипанию материалов, секторная насадка – для крупнокусковых материалов с большой плотностью. Для сильно сыпучих материалов широко применяются распределительные насадки. Сушка пылящих материалов производится в барабанах, имеющих перевалочную насадку с закрытыми ячейками. Иногда используют комбинированные насадки, например подъемно-лопастную (в передней части аппарата) и распределительную.

Типы промышленных барабанных сушилок разнообразны: сушилки, работающие при противотоке сушильного агента и материала, с использованием воздуха в качестве сушильного агента, контактные барабанные сушилки и др.

Режимы сушки для различных материалов меняются в зависимости от влажности сырья на входе в барабан и требуемой влажности готового материала на выходе из барабана, фракционного состава материала подлежащего сушке и свойств материала.



Типы насадок барабанных сушилок:

а – подъемно лопастная; **б** – секторная; **в, г** – распределительная; **д** – перевалочная.



Барабан сушилки, с (**а**) – подъемно лопастной насадкой. Диаметр барабана больше 2 метров.

Достоинства барабанных сушилок:

- 1) Интенсивная и равномерная сушка вследствие тесного контакта материала и сушильного агента.
- 2) Барабанный тип сушилки наиболее надёжен и проверен годами, гарантирует простоту в эксплуатации и обслуживании.
- 3) Большое напряжение по влаге.

2.1 Материальный баланс.

2.1.1 Определяем количество влаги, испаряемой в сушилке.

$$W = G1 \frac{w1 - w2}{100 - w2} = 1800 \frac{1.5 - 0.5}{100 - 0.5} = 18.0905 (\text{кг/ч}) = 0.006 (\text{кг/с})$$

где: $G1$ - количество загружаемого материала (кг/ч).

$w1$ и $w2$ - начальная и конечная влажность высушиваемого материала (%).

2.1.2 Определяем производительность сушилки по высушенному материалу.

$$G2 = G1 - W = 1800 - 18.0905 = 1781.91 (\text{кг/ч}) = 0.5 (\text{кг/с})$$

[содержание](#)

2.2 Технологический расчёт аппарата.

2.2.1 Определяем объём барабана.

$$V_6 = \frac{W}{A} = \frac{18.0905}{5.5} = 3.28917 (\text{м}^3)$$

где: A - напряжение барабана по влаге ($\text{кг/м}^3 \cdot \text{ч}$).

2.2.2 Определяем диаметр барабана.

Итак, объём барабана мы нашли, теперь надо определить его диаметр и длину. Для этого, мы примем отношение длины барабана к его диаметру, (от 3.5 до 7) равным 5.

То есть:

$$\frac{L}{D} = 5$$

где: L - длина барабана (м), а D - диаметр (м).

Из курса геометрии формула объёма барабана выглядит так:

$$V_6 = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot L}{4}$$

Из отношения длины к диаметру, находим длину $L = 5 \cdot D$ и подставляем в формулу объёма барабана.

$$V_6 = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot 5 \cdot D}{4} \quad \text{или} \quad V_6 = \frac{5 \cdot \pi \cdot D^3}{4}$$

Теперь выразим диаметр (а точнее его куб).

$$D^3 = \frac{4 \cdot V_6}{5 \cdot \pi}$$

Диаметр нашего барабана есть кубический корень из выражения $\frac{4 \cdot V_6}{5 \cdot \pi}$ то есть:

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot V_6}{5 \cdot \pi}}$$

Но проще будет посчитать D^3 , а потом извлечь кубический корень из единственного числа. Давайте так и сделаем:

$$D^3 = \frac{4 \cdot V_6}{5 \cdot \pi} = \frac{4 \cdot 3.28917}{5 \cdot 3.14159} = \frac{13.157}{15.71} = 0.84 \text{ отсюда } D = \sqrt[3]{0.84} = 0.943 (\text{м})$$

Кстати, кубический корень из числа n , можно посчитать возведя n в степень обратную, степени корня (то есть в нашем случае обратную 3). Число обратное 3, есть $1/3$ или $0.33333\dots$, таким образом $\sqrt[3]{n} = n^{1/3}$ или $n^{0.33333\dots}$:)

2.2.3 Определяем уточнённый диаметр и длину барабана.

И так, диаметр барабана мы нашли, теперь надо проверить его соответствие нормам (то есть сравнить с барабанами, выпускаемыми конкретным заводом), чтобы узнать дополнительную информацию.

В нашем случае это будет барабан с **ближайшим большим** диаметром, чем наш расчётный. Из таблицы мы видим, что такой барабан имеет диаметр 1200 мм, или 1.2 метра.

Значения коэффициента α

Насадка	Значения α при диаметре барабана, мм				
	1200	1600	2000	2400	2800
Подъемно-лопастная	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
Полочная	0,6	0,5	0,43	0,375	0,336
Ячейковая	0,656	0,437	0,332	0,328	0,325

Теперь зная точный диаметр барабана, мы находим его длину. Как мы с вами помним, мы решили, что $L = 5 \cdot D$ (если мы получим (L) не целое число, то необходимо округлить его до ближайшего большего целого числа):

$$L = 5 \cdot D = 5 \cdot 1.2 = 6 (\text{м})$$

Зная **точную длину и диаметр**, находим **точный объём** барабана.

$$V_6 = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot L}{4} = \frac{3.14159 \cdot 1.2^2 \cdot 6}{4} = 6.79 (\text{м}^3)$$

2.2.4 Определяем боковую поверхность барабана.

$$F_{\text{бок}} = \pi \cdot D \cdot L = 3.14159 \cdot 1.2 \cdot 6 = 22.62 (\text{м}^2)$$

2.3 Тепловой баланс аппарата.

2.3.1 Определяем продолжительность сушки.

$$\tau = \frac{Vб \cdot \rho_n \cdot \psi}{G_{ср}}$$

где: τ - время пребывания материала в барабане (часы или секунды).

ρ_n - Насыпная плотность материала ($\text{кг}/\text{м}^3$) (берётся из таблицы):

Параметры сушки и характеристика различных материалов.

	t1	A	c сух.	ρ	α	Насадка барабана.	Начальная влажность.	Конечная влажность.
Аммиачная селитра.	100 - 120	4 — 6	1600	800 — 850	4	Полочная	1,5	0,5
Поваренная соль.	150	7 — 9	900	700 — 750	4	Полочная	1,5	0,5
Сернокислый аммоний.	120	9 — 11	1380	900 — 1000	4	Полочная	1,5	0,5
Флотационный колчедан.	600 - 650	60 — 70	545	3300	3	Подъёмно-лопастная	12 — 16	2 — 4
Азотнокислый натрий	105	8	600	1300	3	Полочная	8	0,1

t1 – предельная температура сушильного агента, °C;

A – напряжение барабана по влаге, $\text{кг}/(\text{м}^3 \cdot \text{ч})$;

c сух. – удельная теплоёмкость абсолютно сухого материала, $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$;

ρ - насыпная плотность материала, $\text{кг}/\text{м}^3$;

α - угол наклона барабана, град°.

Начальная влажность, (%).

Конечная влажность, (%).

ψ - степень заполнения барабана (выбираем из таблицы):

в нашем случае пусть будет 0.2.

Значения коэффициента σ

Насадка	Значения σ при степени заполнения барабана			
	0,1	0,15	0,20	0,25
Подъёмно-лопастная	0,038	0,053	0,063	0,071
Полочная	0,013	0,026	0,038	0,044
Ячейковая	0,006	0,008	0,01	0,011

$G_{ср}$ - средняя масса материала проходящего через барабан.

$$G_{ср} = \frac{G1 + G2}{2} = \frac{1800 + 1781.91}{2} = 1791 (\text{кг}/\text{ч})$$

Теперь, когда нам всё стало известно, определяем продолжительность сушки.

$$\tau = \frac{Vб \cdot \rho_n \cdot \psi}{G_{ср}} = \frac{6.79 \cdot 850 \cdot 0.2}{1791} = 0.644 (\text{часа}) \text{ или } 0.644 \cdot 3600 = 2319 (\text{с})$$

[содержание](#)

2.3.2 Определяем потери тепла в окружающую среду.

$$Q0 = F_{бок} \cdot (\theta_2 - t_0) \cdot a_2$$

где: $Q0$ - потери в окружающую среду ($\text{ккал}/\text{ч}$).

θ_2 - температура стенки барабана с внешней стороны ($^{\circ}\text{C}$).

t_0 - температура воздуха, окружающего барабан (цеха) ($^{\circ}\text{C}$).

a_2 - коэффициент отдачи от стенки барабана ($\text{ккал}/\text{м}^2 \cdot \text{град}$).

$$a_2 = a_k + a_u \left(\text{ккал}/\text{м}^2 \cdot \text{град} \right)$$

где: a_k - коэффициент конвективной теплоотдачи от стенки барабана в окружающую среду ($\text{ккал}/\text{м}^2 \cdot \text{час} \cdot \text{град}$).

$$a_k = \frac{c \cdot (Pr \cdot Gr)^n \cdot \lambda}{h}$$

где: c - коэффициент равный 0.135.

Pr - критерий Прандтля для температуры воздуха, окружающего барабан (выбираем из таблицы):

Температура, плотность, удельная теплоемкость, объемный коэффициент теплового расширения, кинематическая вязкость, и число (критерий) Прандтля для сухого воздуха при атмосферном давлении в диапазоне -150 / $+400$ $^{\circ}\text{C}$.

Температура ($^{\circ}\text{C}$)	Плотность ($\text{кг}/\text{м}^3$)	Удельная теплоемкость c_p , $\text{кДж}/(\text{кг} \cdot \text{K})$	Теплопроводность $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{K})$	Кинематическая вязкость ($\text{м}^2/\text{с}$) $\times 10^{-6}$	Объемный коэффициент теплового расширения ($1/\text{K}$) $\times 10^{-3}$	Число (критерий) Прандтля
-150	2.793	1.026	0.0116	3.08	8.21	0.76
-100	1.980	1.009	0.0160	5.95	5.82	0.74
-50	1.534	1.005	0.0204	9.55	4.51	0.725
0	1.293	1.005	0.0243	13.30	3.67	0.715
20	1.205	1.005	0.0257	15.11	3.43	0.713
40	1.127	1.005	0.0271	16.97	3.20	0.711
60	1.067	1.009	0.0285	18.90	3.00	0.709
80	1.000	1.009	0.0299	20.94	2.83	0.708
100	0.946	1.009	0.0314	23.06	2.68	0.703
120	0.898	1.013	0.0328	25.23	2.55	0.70
140	0.854	1.013	0.0343	27.55	2.43	0.695
160	0.815	1.017	0.0358	29.85	2.32	0.69
180	0.779	1.022	0.0372	32.29	2.21	0.69
200	0.746	1.026	0.0386	34.63	2.11	0.685
250	0.675	1.034	0.0421	41.17	1.91	0.68
300	0.616	1.047	0.0454	47.85	1.75	0.68
350	0.566	1.055	0.0485	55.05	1.61	0.68
400	0.524	1.068	0.0515	62.53	1.49	0.68

Gr - число Грасгофа:

$$Gr = \frac{h^3 \cdot g \cdot (\theta_2 - t_0)}{\nu^2 \cdot T_{cm}}$$

где: h - определяющий размер (в данном случае диаметр барабана D) (для обеих формул).

g - ускорение свободного падения равно 9.81 ($\text{м}/\text{с}^2$).

ν - кинематическая вязкость воздуха (выбираем из таблицы выше)

$$\text{для средней температуры } \frac{\theta_2 + t_0}{2} = \frac{30 + 20}{2} = 25 \text{ } (^{\circ}\text{C}).$$

Т.к. значения ν для температуры 25(С°) нет, то мы берём ближайшее к нему значение.

T_{cm} - температура стенки барабана с внешней стороны в градусах Кельвина (К°), т.е. $T_{cm}=273.15+\theta=273.15+30=303.15$.

Кстати, по количеству теплоты, градус Цельсия равен градусу Кельвина. Различны их нулевые значения. Шкала (0°K) совпадает с абсолютным нулём, а за ноль по шкале Цельсия принимается точка плавления льда. За 100°(С)– принята точка кипения воды при стандартном атмосферном давлении. Изначально Цельсий за 100° принял температуру таяния льда, а за 0° – температуру кипения воды. И лишь позднее его современник Карл Линней «перевернул» эту шкалу. По шкале Цельсия абсолютному нулю соответствует температура -273,15°С. Абсолютный нуль на практике недостижим :)

$$Gr = \frac{h^3 \cdot g \cdot (\theta_2 - t_0)}{\nu^2 \cdot T_{cm}} = \frac{D^3 \cdot g \cdot (\theta_2 - t_0)}{\nu^2 \cdot T_{cm}} = \frac{1.2^3 \cdot 9.81 \cdot (30 - 20)}{(15.11 \cdot 10^{-6})^2 \cdot 303.15} = \frac{169.52}{0.000000069} = 2.45 \cdot 10^9$$

Произведение $(Pr \cdot Gr)$ равно $Pr \cdot Gr = 0.713 \cdot 2.45 \cdot 10^9 = 1.75 \cdot 10^9$.

λ - коэффициент теплопроводности воздуха (теплопроводность) (ккал/м·час·град) (выбираем из таблицы выше) для средней температуры $\frac{\theta_2 + t_0}{2} = \frac{30 + 20}{2} = 25$ (С°). Т.к. значения λ для

температуры 25(С°) нет, то мы берём ближайшее к нему значение.

Но это не всё, в таблице стоит размерность (Вт/м·К), а нам требуется (ккал/м·ч·К). Чтобы перевести (ватты) в (килокалории в час) надо ватты умножить на 0.86, то есть:

$$0.0257 \cdot 0.86 = 0.022102 \text{ (ккал/м·ч·град) } .$$

n - коэффициент равный 0.33.

Вернёмся к ak .

$$ak = \frac{c \cdot (Pr \cdot Gr)^n \cdot \lambda}{h} = \frac{0.135 \cdot (1.75 \cdot 10^9)^{0.33} \cdot 0.022102}{1.2} = 2.79 \text{ (ккал/м}^2 \cdot \text{час} \cdot \text{град)}$$

ai - коэффициент излучения (ккал/м²·час·град) .

$$ai = \frac{C \left(\frac{T_{cm}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_0}{100} \right)^4}{\theta_2 - t_0}$$

где: C - произведение коэффициента излучения ϵ (выбираем из таблицы: «Коэффициент излучения 'степень черноты'», для поверхности нашего барабана. У нас это будет масляная краска), на коэффициент излучения абсолютно чёрного тела C_s , который равен 5.68. Получается: $C = \epsilon \cdot C_s = 0.96 \cdot 5.68 = 5.4528 \text{ (вт/м}^2 \cdot \text{К}^4)$

Сурьма полированная	0.28 - 0.31
Масляная краска	0.92 — 0.96
Базальт	0.72

T_0 - это наша t_0 , переведённая в градусы Кельвина:

$$T_0 = t_0 + 273.15 = 20 + 273.15 = 293.15 \text{ (K)}.$$

Считаем a_1 .

$$a_1 = \frac{C \left(\left(\frac{T_{cm}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_0}{100} \right)^4 \right)}{\theta_2 - t_0} = \frac{5.4528 \left(\left(\frac{303.15}{100} \right)^4 - \left(\frac{293.15}{100} \right)^4 \right)}{30 - 20} = 5.7824 \text{ (ккал/м}^2 \cdot \text{град)}$$

Считаем a_2 .

$$a_2 = a_k + a_1 = 2.79 + 5.7824 = 8.6 \text{ (ккал/м}^2 \cdot \text{град) или } 36 \text{ (кДж/м}^2 \cdot \text{град)}$$

Теперь нам известны все коэффициенты нашей матрицы \rightarrow , и мы можем посчитать потери тепла в окружающую среду.

$$Q_0 = F_{бок} \cdot (\theta_2 - t_0) \cdot a_2 = 22.62 \cdot (30 - 20) \cdot 8.6 = 1939.1 \text{ (ккал/ч) или } 8117.1 \text{ (кДж/ч)}$$

Итак потери тепла в окружающую среду мы посчитали, но нам осталось посчитать ещё один вид потерь (нет не потери потерь \rightarrow), удельные потери.

2.3.3 Определяем удельные потери тепла в окружающую среду.

$$q_0 = \frac{Q_0}{W} = \frac{1939.1}{18.0905} = 107.2 \text{ (ккал/кг удаляемой влаги)}$$

Для дальнейших расчётов нам необходимо знать удельные потери в джоулях на килограмм (1 Кал = 4.186 Дж). Для этого умножим удельные потери на 4.186 - получим килоджоули, а затем, килоджоули умножим на 1000 - получим джоули.

$$107.2 \cdot 4.186 \cdot 1000 = 448739.2 \text{ (дж/кг удаляемой влаги)}$$

[содержание](#)

2.3.4 Определяем удельный расход тепла на нагревание высушенного материала.

$$q_m = \frac{G_2 \cdot c_2 \cdot (\theta_2 - \theta_1)}{W}$$

где: c_2 - Удельная теплоёмкость высушенного материала (дж/кг·град) (выбираем из таблицы):

Параметры сушки и характеристика различных материалов.

	t1	A	c сух.	p	α	Насадка барабана.	Начальная влажность.	Конечная влажность.
Аммиачная селитра.	100 - 120	4 — 6	1600	800 — 850	4	Полочная	1,5	0,5
Поваренная соль.	150	7 — 9	900	700 — 750	4	Полочная	1,5	0,5
Сернокислый аммоний.	120	9 — 11	1380	900 — 1000	4	Полочная	1,5	0,5
Флотационный колчедан.	600 - 650	60 — 70	545	3300	3	Подъёмно-лопастная	12 — 16	2 — 4
Азотнокислый натрий	105	8	600	1300	3	Полочная	8	0,1

t1 — предельная температура сушильного агента, °C;

A — напряжение барабана по влаге, кг/(м³·ч);

c сух. — удельная теплоёмкость абсолютно сухого материала, Дж/(кг·K);

p — насыпная плотность материала, кг/м³;

α — угол наклона барабана, град°.

Начальная влажность, (%).

Конечная влажность, (%).

ϑ_1 - Начальная температура высушиваемого материала.

ϑ_2 - Конечная температура высушенного материала.

$$q_m = \frac{G_2 \cdot c_2 \cdot (\vartheta_2 - \vartheta_1)}{W} = \frac{1781.91 \cdot 1600 \cdot (50 - 18)}{18.0905} = 5.0432 \cdot 10^6 \text{ (дж/кг)}$$

2.3.5 Определяем величину Δ , учитывая, что в сушилке отсутствуют транспортные устройства и не производится дополнительный подвод тепла в сушилку.

$$\Delta = c_w \cdot \vartheta_1 \cdot (q_m + q_0)$$

где: c_w - Удельная теплоёмкость воды, при температуре, равной температуре загружаемого

Температура °C	Удельная теплоёмкость воды кДж/(кг·K)
-60 (лёд)	1,64
-20 (лёд)	2,01
-10 (лёд)	2,22
0 (лёд)	2,11
0 (чистая вода)	4,218
10	4,192
20	4,182
40	4,178
60	4,184
80	4,196
100	4,216

материала (дж/кг·град) (выбираем из таблицы).

Нашей температуры здесь нет поэтому берём

значение, ближайшей температуры. Обратите

внимание, что в таблице удельная теплоёмкость

дана в (кдж/кг·град), а нам нужны

(дж/кг·град), поэтому надо табличное значение

умножить на 1000. У нас это:

$$4.182 \cdot 1000 = 4182 \text{ (дж/кг·град)}$$

$$\Delta = c_w \cdot \vartheta_1 \cdot (q_m + q_0) = 4182 \cdot 18 - (5.0432 \cdot 10^6 + 448739.2) = -5416663.2 \text{ (дж/кг)} = -1294 \text{ (ккал/кг)}$$

Дальнейший расчёт производится для летних условий.

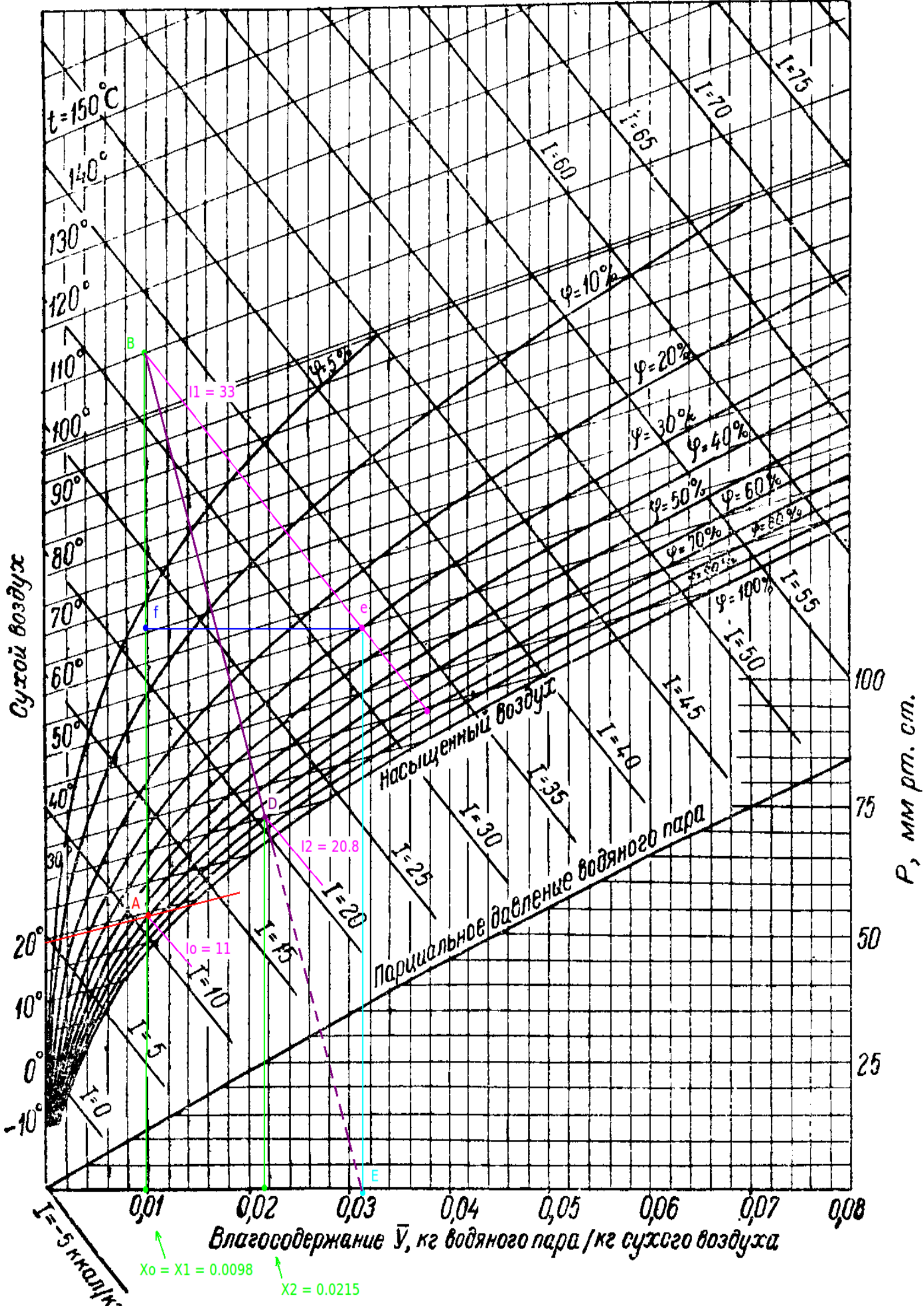
[Содержание](#)

2.3.6 Летние условия.

Как известно, есть на просторах нашей необъятной родины такой **гóрод - герóй, как Москва**. Именно там, судя по заданию, ощущается острая нехватка аммиачной селитры с влажностью 0.5%. Исправим это досадное недоразумение и, произведём расчёт летних условий для нашего **гóрода — герóя**. Для этого нам потребуются знать средние параметры наружного воздуха, а именно: температуру и влажность (выбираем из таблицы). Средняя температура 19°, влажность 70%. На I-x диаграмме, находим точку **A**, характеризующую состояние наружного воздуха, и определяем её параметры:

Точка **A**: $x_0 = x_1 = 0.0098$ (кг/кг), $I_0 = 11$ (ккал/кг) = 46046 (дж/кг).

Проводим из точки **A** вертикаль $x_0 = \text{const}$ (или, по другому — строго вверх), до пересечения с изотермой 110 °C, получаем точку **B**,



определяющей состояние воздуха на входе в сушилку.

Точка В: $I_1 = 33$ (ккал/кг) = 138138 (дж/кг).

Из точки В проводим линию теоретического процесса сушки $I_1 = \text{const}$. На этой линии берём произвольную точку е и проводим из неё горизонталь до пересечения с линией АВ. Получаем точку f. Измеряем длину отрезка ef. В нашем случае ef = 48 (мм).

Отношение масштабов, на прилагаемой I-x диаграмме равно 500.

Находим длину отрезка eE.

$$eE = \frac{ef \cdot \Delta}{500} = \frac{48 \cdot (-1294)}{500} = -124.2 (\text{мм})$$

Откладываем отрезок eE из точки е вертикально **вниз** (т.к. он имеет отрицательное значение). Через точки В и Е, проводим прямую, которая пересекается с линией f2 = 80% (относительная влажность воздуха на выходе из сушилки) в точке D, которая характеризует состояние воздуха на выходе из сушилки.

Точка D: $x_2 = 0.0215$ (кг/кг), $I_2 = 20.8$ (ккал/кг) = 87068.8 (дж/кг).

[Содержание](#)

2.3.7 Определяем удельный расход воздуха.

$$l = \frac{1}{x_2 - x_0} = \frac{1}{0.0215 - 0.0098} = 85.5 (\text{кг/кг})$$

2.3.8 Определяем расход воздуха на сушку.

$$L_v = l \cdot W = 85.5 \cdot 18.0905 = 1546.2 (\text{кг/ч}) = 0.43 (\text{кг/с})$$

2.3.9 Определяем удельный расход тепла на нагревание воздуха в калорифере.

$$q = l \cdot (I_1 - I_0) = 85.5 \cdot (138138 - 46046) = 7873866 (\text{дж/кг})$$

2.3.10 Определяем расход тепла на сушку.

$$Q = q \cdot W = 7873866 \cdot 18.0905 = 142477605.3 (\text{дж/ч}) = 142477.61 (\text{кдж/ч})$$

2.3.11 Определяем расход тепла в калорифере.

$$Q_k = \frac{W \cdot (I_1 - I_0)}{x_2 - x_0} = \frac{18.0905 \cdot (33 - 11)}{0.0215 - 0.0098} = 34016.325 (\text{ккал/ч}) \text{ или } 1.424 \cdot 10^8 (\text{дж/ч})$$

2.3.12 Определяем расход пара в калорифере.

$$G_n = \frac{Q_k}{r}$$

где: r - теплота парообразования (выбираем из таблицы), исходя из абсолютного давления пара. А давление (по заданию) у нас 2 атмосферы. Находим в столбце «Давление ат» наши 2 атмосферы, и видим что их тут не 2, а аж целых 2.02 ~~какая досада~~, и ведём наш пристальный взор до столбца «Теплота испарения ккал/кг», вот тут то и спряталась наша теплота парообразования (теплота испарения).

Свойства насыщенного водяного пара

Коэффициенты пересчета в систему СИ: давление — $ат \times 0,981 = бар$;
энтальпия и теплота испарения — $ккал/кг \times 4190 = дж/кг$

Температура °С	Давление ат	Плотность кг/м³	Энтальпия, ккал/кг		Теплота испарения ккал/кг
			пара	жидкости	
0	0,00623	0,00485	597	0	597
5	0,00889	0,00679	600	5	595
10	0,0125	0,0094	602	10	592
15	0,0174	0,0128	604	15	589
20	0,0238	0,0173	606	20	586
25	0,0323	0,023	608	25	583
30	0,0433	0,0304	610	30	580
35	0,0573	0,0396	613	35	578
40	0,0752	0,0512	615	40	575
45	0,0977	0,0654	617	45	572
50	0,126	0,0831	619	50	569
55	0,161	0,104	621	55	566
60	0,203	0,13	623	60	563
65	0,255	0,161	625	65	560
70	0,318	0,198	627	70	557
75	0,393	0,242	629	75	554
80	0,483	0,293	631	80	551
85	0,589	0,354	633	85	548
90	0,715	0,424	635	90	545
95	0,862	0,505	637	95	542
100	1,033	0,598	639	100	539
105	1,23	0,705	641	105	536
110	1,46	0,826	643	110	533
115	1,72	0,965	645	115	529
120	2,02	1,12	646	120	526
125	2,37	1,3	648	125	523
130	2,75	1,5	650	131	519
135	3,19	1,72	651	136	516
140	3,69	1,97	653	141	512
145	4,24	2,24	655	146	509
150	4,85	2,55	656	151	505
155	5,54	2,89	657	156	501
160	6,3	3,26	659	161	498
165	7,15	3,67	660	166	494
170	8,08	4,12	661	172	489
175	9,1	4,62	662	177	485
180	10,2	5,16	663	182	481
185	11,5	5,75	665	188	477
190	12,8	6,39	666	193	473
195	14,3	7,1	666	198	468
200	15,9	7,86	667	204	463

$$Gn = \frac{Q_k}{r} = \frac{34016,325}{526} = 64,7 (кг/ч)$$

[Содержание](#)

2.2 Технологический расчёт аппарата продолжение.

2.2.5 Определяем число оборотов барабана.

В таблице находим угол наклона барабана, и определяем его тангенс.

Параметры сушки и характеристика различных материалов.

	t1	Λ	с сух.	ρ	α	Насадка барабана.	Начальная влажность.	Конечная влажность.
Аммиачная селитра.	100 - 120	4 — 6	1600	800 — 850	4	Полочная	1,5	0,5
Поваренная соль.	150	7 — 9	900	700 — 750	4	Полочная	1,5	0,5
Сернокислый аммоний.	120	9 — 11	1380	900 — 1000	4	Полочная	1,5	0,5
Флотационный колчедан.	600 - 650	60 — 70	545	3300	3	Подъёмно-лопастная	12 — 16	2 — 4
Азотнокислый натрий	105	8	600	1300	3	Полочная	8	0,1

t1 — предельная температура сушильного агента, °С;

Λ — напряжение барабана по влаге, кг/(м³·ч);

с сух. — удельная теплоёмкость абсолютно сухого материала, Дж/(кг·К);

ρ — насыпная плотность материала, кг/м³;

α — угол наклона барабана, град°.

Начальная влажность, (%).

Конечная влажность, (%).

Тангенс 4° равен 0.063 .

$$n = \frac{L}{a \cdot \tau \cdot D \cdot \tan \alpha}$$

где: a - коэффициент равный $\frac{b \cdot h}{D}$ (где b - число падений частиц материала за один оборот, h - средняя высота падения (м), но мы коэффициент a считать не будем, а возьмём его, готовым из таблицы).

При высушивании аммиачной селитры применяется **полочная** насадка, это мы узнаём (в таблице выше).

Значения коэффициента a

Насадка	Значения a при диаметре барабана, мм				
	1200	1600	2000	2400	2800
Подъемно-лопастная	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
Полочная	0,6	0,5	0,43	0,375	0,336
Ячейковая	0,656	0,437	0,332	0,328	0,325

Итак, в соответствии с нашей насадкой, и диаметром барабана находим значение коэффициента a .

$$n = \frac{L}{a \cdot \tau \cdot D \cdot \tan \alpha} = \frac{6}{0.6 \cdot 2319 \cdot 1.2 \cdot 0.063} = 0.05712 (\text{об/сек}) = 3.43 (\text{об/мин})$$

2.2.6 Определяем мощность двигателя, для вращения барабана.

$$N = 0.078 \cdot D^3 \cdot L \cdot \rho_n \cdot \sigma \cdot n$$

где: σ - коэффициент (из таблицы), в соответствии насадкой, и степенью заполнения барабана.

Значения коэффициента σ

Насадка	Значения σ при степени заполнения барабана			
	0,1	0,15	0,20	0,25
Подъемно-лопастная	0,038	0,053	0,063	0,071
Полочная	0,013	0,026	0,038	0,044
Ячейковая	0,006	0,008	0,01	0,011

$$N = 0.078 \cdot D^3 \cdot L \cdot \rho_n \cdot \sigma \cdot n = 0.078 \cdot 1.2^3 \cdot 6 \cdot 850 \cdot 0.038 \cdot 0.05712 = 1.5 (\text{квт})$$

Таблицы.

Значения коэффициента σ

Насадка	Значения σ при степени заполнения барабана			
	0,1	0,15	0,20	0,25
Подъемно-лопастная	0,038	0,053	0,063	0,071
Полочная	0,013	0,026	0,038	0,044
Ячейковая	0,006	0,008	0,01	0,011

Значения коэффициента α

Насадка	Значения α при диаметре барабана, мм				
	1200	1600	2000	2400	2800
Подъемно-лопастная	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
Полочная	0,6	0,5	0,43	0,375	0,336
Ячейковая	0,656	0,437	0,332	0,328	0,325

Параметры сушки и характеристика различных материалов.

	t1	A	с сух.	p	α	Насадка барабана.	Начальная влажность.	Конечная влажность.
Аммиачная селитра.	100 - 120	4 — 6	1600	800 — 850	4	Полочная	1,5	0,5
Поваренная соль.	150	7 — 9	900	700 — 750	4	Полочная	1,5	0,5
Сернокислый аммоний.	120	9 — 11	1380	900 — 1000	4	Полочная	1,5	0,5
Флотационный колчедан.	600 - 650	60 — 70	545	3300	3	Подъемно-лопастная	12 — 16	2 — 4
Азотнокислый натрий	105	8	600	1300	3	Полочная	8	0,1

t1 — предельная температура сушильного агента, °C;

A — напряжение барабана по влаге, кг/(м³·ч);

с сух. — удельная теплоемкость абсолютно сухого материала, Дж/(кг·K);

p — насыпная плотность материала, кг/м³;

α — угол наклона барабана, град°.

Начальная влажность, (%).

Конечная влажность, (%).

Температура °C	Удельная теплоёмкость воды кДж/(кг·K)
-60 (лёд)	1,64
-20 (лёд)	2,01
-10 (лёд)	2,22
0 (лёд)	2,11
0 (чистая вода)	4,218
10	4,192
20	4,182
40	4,178
60	4,184
80	4,196
100	4,216

Свойства насыщенного водяного пара

Коэффициенты пересчета в систему СИ: давление — $ат \times 0,981 = бар$;
энтальпия и теплота испарения — $ккал/кг \times 4190 = дж/кг$

Температура °C	Давление ат	Плотность кг/м³	Энтальпия, ккал/кг		Теплота испарения ккал/кг
			пара	жидкости	
0	0,00623	0,00485	597	0	597
5	0,00889	0,00679	600	5	595
10	0,0125	0,0094	602	10	592
15	0,0174	0,0128	604	15	589
20	0,0238	0,0173	606	20	586
25	0,0323	0,023	608	25	583
30	0,0433	0,0304	610	30	580
35	0,0573	0,0396	613	35	578
40	0,0752	0,0512	615	40	575
45	0,0977	0,0654	617	45	572
50	0,126	0,0831	619	50	569
55	0,161	0,104	621	55	566
60	0,203	0,13	623	60	563
65	0,255	0,161	625	65	560
70	0,318	0,198	627	70	557
75	0,393	0,242	629	75	554
80	0,483	0,293	631	80	551
85	0,589	0,354	633	85	548
90	0,715	0,424	635	90	545
95	0,862	0,505	637	95	542
100	1,033	0,598	639	100	539
105	1,23	0,705	641	105	536
110	1,46	0,826	643	110	533
115	1,72	0,965	645	115	529
120	2,02	1,12	646	120	526
125	2,37	1,3	648	125	523
130	2,75	1,5	650	131	519
135	3,19	1,72	651	136	516
140	3,69	1,97	653	141	512
145	4,24	2,24	655	146	509
150	4,85	2,55	656	151	505
155	5,54	2,89	657	156	501
160	6,3	3,26	659	161	498
165	7,15	3,67	660	166	494
170	8,08	4,12	661	172	489
175	9,1	4,62	662	177	485
180	10,2	5,16	663	182	481
185	11,5	5,75	665	188	477
190	12,8	6,39	666	193	473
195	14,3	7,1	666	198	468
200	15,9	7,86	667	204	463

Температура, плотность, удельная теплоемкость, объемный коэффициент теплового расширения, кинематическая вязкость, и число (критерий) Прандтля для сухого воздуха при атмосферном давлении в в диапазоне -150 /+400 °C.

Температура (°C)	Плотность (кг/м³)	Удельная теплоемкость c_p , кДж/(кг* K)	Теплопроводность Вт/(м* K)	Кинематическая вязкость (м²/с) $\times 10^{-6}$	Объемный коэффициент теплового расширения (1/K) $\times 10^{-3}$	Число (критерий) Прандтля
-150	2.793	1.026	0.0116	3.08	8.21	0.76
-100	1.980	1.009	0.0160	5.95	5.82	0.74
-50	1.534	1.005	0.0204	9.55	4.51	0.725
0	1.293	1.005	0.0243	13.30	3.67	0.715
20	1.205	1.005	0.0257	15.11	3.43	0.713
40	1.127	1.005	0.0271	16.97	3.20	0.711
60	1.067	1.009	0.0285	18.90	3.00	0.709
80	1.000	1.009	0.0299	20.94	2.83	0.708
100	0.946	1.009	0.0314	23.06	2.68	0.703
120	0.898	1.013	0.0328	25.23	2.55	0.70
140	0.854	1.013	0.0343	27.55	2.43	0.695
160	0.815	1.017	0.0358	29.85	2.32	0.69
180	0.779	1.022	0.0372	32.29	2.21	0.69
200	0.746	1.026	0.0386	34.63	2.11	0.685
250	0.675	1.034	0.0421	41.17	1.91	0.68
300	0.616	1.047	0.0454	47.85	1.75	0.68
350	0.566	1.055	0.0485	55.05	1.61	0.68
400	0.524	1.068	0.0515	62.53	1.49	0.68

**Средняя температура и относительная влажность
атмосферного воздуха в различных районах России.**

Наименование пункта	Январь		Июль	
	t°С	φ %	t°С	φ %
1	2	3	4	5
Алма-Ата	-8,6	87	22,1	56
Астрахань	-7,1	91	23,2	58
Ашхабад	-0,4	84	29,6	41
Баку	3,4	82	23,3	65
Батуми	6,3	78	23,1	84
Брянск	-8,8	88	18,2	74
Владивосток	-13,7	74	20,6	77
Ворошиловград	-7,0	84	22,2	69
Владимир	-11,7	84	18,3	69
Вологда	-12,0	85	17,0	70
Воронеж	-9,8	90	20,0	62
Волгоград	-9,9	85	20,7	50
Горький	-12,2	89	19,4	68

Днепропетровск	-6,0	88	22,3	60
Ереван	-5,8	89	25,0	50
Иваново	-12,0	90	18,8	71
Казань	-13,6	86	19,9	63
Калуга	-9,7	89	18,4	68
Керчь	-1,3	88	23,4	68
Киев	-6,0	89	19,3	69
Кишинев	-4,3	88	21,6	62
Краснодар	-2,1	90	23,7	67
Курск	-9,3	88	19,4	67
Львов	-4,0	87	18,1	74
Минск	-6,8	88	17,5	78
Николаев	-4,0	88	23,1	68
Одесса	-3,1	88	22,6	61
Орел	-9,6	92	18,6	77
Рига	-5,1	86	17,9	75
Ростов-на-Дону	-6,1	89	23,7	59
Саратов	-11,3	84	23,1	53
Свердловск	-16,2	84	17,2	70

Коэффициент излучения (или степень черноты) - ε

Черная краска силиконовая	0.93
Черная краска эпоксидная	0.89
Черная краска эмаль	0.80
Инконель окисленный	0.71
Железо полированное	0.14 - 0.38
Железо, пластина покрытая красной ржавчиной	0.61
Железо, темно-серая поверхность	0.31
Железо, грубый слиток	0.87 - 0.95
Ламповая сажа	0.96
Свинец чистый неоокисленный	0.057 - 0.075
Свинец окисленный	0.43
Окись Магния	0.20 - 0.55
Магний полированный	0.07 - 0.13
Мрамор белый	0.95
Ртуть жидкая	0.1
Мягкая сталь	0.20 - 0.32
Молибден полированный	0.05 - 0.18
Никель, полированный	0.072
Никель, окисленный	0.59 - 0.86

Список литературы.

1) А.Н.Плановский, В.М.Рамм, С.З.Каган.

Процессы и аппараты химической технологии.
М.:Химия 1966г, 831 с.

2) М.Н.Кувшинский, А.П.Соболева.

Процессы и аппараты химической промышленности.
Вышая школа 1964г, 206с.

3) К.Ф.Павлов, П.Г.Романков, А.А.Носков.

Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов.
Л.:Химия, 1987г, 576 с.

4) Ю.И.Дытнерский

Основные процессы и аппараты химической промышленности.
М.:Химия 1983г, 272 с.

5) Сайт [«Википедия свободная энциклопедия»](#)