НА ДОМ НЕ ВЫДАЕТСЯ

Пролетарии всех стран, соединяйтесь!

Р. С. Ф. С. Р.

Научно-Технический Отдел В. С. Н. Х.

Б. Серия 4. Инженерно-Промышленная Библиотека. № XIII—28.

МАКОВЕЦКИЙ, А. Е., проф. и РОЙТМАН, Г. Л., инж.

СУШКА

воздухом, дымовыми газами и паром.

ПОСОБИЕ ДЛЯ РАСЧЕТА И КОНСТРУИРОВАНИЯ СУШИЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ИНЖЕНЕРОВ, СТУДЕНТОВ И ТЕХНИКОВ.

ПОД РЕДАКЦИЕЙ

ПРОФ. А. Е. МАКОВЕЦКОГО.

С 89 РИСУНКАМИ И IX ДИАГРАММАМИ.

ВТОРОЕ ИЗДАНИЕ.

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО.

Москва — 1925 г.

Перепечатка без разрешения
Гостехиздата не допускается.

ГОО ПУБЛИЧНАЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ
БИБЛИОТЕКА СССР
7115 13/59
ЭС
4 5

Ленинградский Гублит № 13376. Зак. № 1277. Тираж 5000 экз. 9¼ п. л.
Тино-Литогр. „Красный Печатник". Ленинград, Международный, 75.

ОГЛАВЛЕНИЕ.

стр.

Предисловие редактора 5
Литература 6

Часть I.

Теоретические вопросы сушильного процесса, методы расчета и составление расчетных таблиц.

1. Введение 7
2. Определение максимального веса насыщенного водяного пара, который может содержаться при разных давлениях и температурах в 1 кг воздуха 10
3. Расход тепла на нагрев высушенного остатка и оборудование аппарата 13
4. Расчет веса и объема воздуха и наименьшего расхода тепла для сушильного аппарата, работающего только подогретым воздухом для случаев:
   A. Принимая, что воздух до подогрева и при выходе его из аппарата вполне насыщен водяными парами 13
   B. Расчет для случая атмосферного воздуха, вступающего в сушку вполне насыщенным и уходящего оттуда со степенью влажности в 75—50—25% 19
   C. Расчет для случая когда атмосферный воздух перед его вступлением в сушильный аппарат не насыщен водяными парами 23
   D. Прямой ток и противоток 24
5. Некоторые соотношения между воздухом и водяными парами, вытекающие из предыдущего 26
6. Расчет потребного весового количества воздуха и его объема, а равно и наименьшего расхода тепла для сушильных аппаратов, с предварительно подогретым и в аппарате поддерживаемом при постоянной температуре воздухом 27
7. Сушильные аппараты, внутри которых искусственно поддерживается более высокое или более низкое давление, чем в окружающей среде 28
8. Графический способ расчета воздушных сушильных аппаратов 30
9. Утилизация тепла, уносимого из сушильного пространства:
   A. Использование теплоты влажного воздуха 32
   B. Утилизация тепла, уносимого из сушки высушенным материалом и соответственным оборудованием. 32
10. Сушка перегретым паром без воздуха 34
11. Сушка топочными газами:
   A. Горючие газы без примесей 35
   B. Сушка посредством топочных газов, смешанных с воздухом 40
12. Испарение воды из предварительно подогретых жидкостей в капельном состоянии атмосферным воздухом:
   A. Если воздух не подогрет 43
   B. Испарение жидкости предварительно нагретым воздухом 47

стр.
13. Механическое обезвоживание, поверхность нагрева и потери тепла:
A. Механическое обезвоживание 48
B. Поверхность нагрева для обогревания воздухом . . . . . .
C. Потери тепла 51
14. Род и структура высушиваемого материала. Испарение 52
15. Циркуляция воздуха в сушильных пространствах и каналах:
A. Сопротивление движению 59
B. Дымовые (и вытяжные) трубы 61

Часть II.

Различные конструкции сушильных аппаратов для разных, подлежащих высушиванию, материалов.

1. Общие соображения 64
2. Сушка методом непосредственного соприкосновения . . . . . .
a) На неподвижных поверхностях 68
b) Сушка во вращающихся барабанах 70
c) Сушка на вращающихся барабанах 72
3. Сушка в разреженном пространстве . . . . . .
a) На неподвижных поверхностях 75
b) Сушка во вращающихся барабанах 77
c) Сушка на вращающихся барабанах 77
4. Сушка воздухом 77
a) Камерные сушки 79
b) Канальные сушилки 83
c) Ленточные сушильные аппараты 86
d) Барабанные сушильные аппараты 88
e) Сушильные аппараты для жидкостей в капельном состоянии 94
5. Некоторые особые приемы сушки 94
6. Некоторые соображения о сушке воздухом по Hausbrand'y и другим литературным данным 96
Таблицы I—XXXI . . . . . 101—148
Диаграммы I—IX.

ПРЕДИСЛОВИЕ РЕДАКТОРА.

Настоящая книжка составлена путем соединения и некоторого сокращения двух сочинений ныне уже покойного выдающегося немецкого инженера Э. Гаусбранда: „Das Trocknen mit Luft und Dampf“ (Springer) и статьи его в „Zeitschrift d. Vereins Deutscher Ingenieure“ (1921, №№ 33, 37 и 38) „Das Trocknen“.

Теория и расчет процессов сушки, содержащиеся в 1-ой части, дают возможность произвести расчет почти для всех встречающихся в различнейших производствах процессов сушки; но не менее важным является для инженера и студента иметь возможность выбрать ту или другую конструкцию аппарата, подходящую к данному случаю сушки и таким образом произвести расчет сушильной установки полнее и реальнее, хотя самое выполнение ее лишь при простых конструкциях может быть произведено в мастерской своими средствами, без обращения к специальному машиностроительному заводу.

Условия печатания настоящего времени заставили стремиться к возможной сжатости изложения.

Позволяю себе обратиться ко всем пользующимся книгой с просьбой указать на желательные дополнения, неясности текста, возможные ошибки в таблицах и т. п. для исправления в последующих изданиях.

Проф. А. Е. Маковецкий.

ЛИТЕРАТУРА.

1. D. Sidersky, Les Sécheries agricoles.
2. W. Braunsdorf, Das Trocknen der Blumen. 1888.
3. August Eckardt, Das Trocknen der Braunkohle. 1913.
4. C. Henniger, Zeitschrift für die Zuckerindustrie und Landwirtschaft. 1917. S. 295.
5. Dr. J. F. Hoffmann, Sicherung der Getreideernte.
   Derselbe, Arbeiten der Deutschen landwirtschaftlichen Gesellschaft. 1914. Heft 265.
6. Dr. Ludwig Kiessling, Untersuchungen über das Trocknen von Getreide. Dissertation.
7. Paul Rüters, Die Trocknungsindustrie.
   a) 1911. Nr. 10. 22. 24. b) 1911. S. 42. c) 1911. S. 258.
   d) 1911. S. 297. e) 1911. S. 313. f) 1912. S. 4. g) 1914. S. 87.
   h) 1914. S. 397. i) 1916. S. 283. k) 1917. S. 2. l) 1917. S. 33.
   m) 1917. S. 49. n) 1917. S. 51. o) 1917. S. 171. p) 1917. S. 236.
   q) 1917. S. 333. r) 1918. S. 403. s) 1918. S. 416. t) 1918. S. 447.
   u) 1918. S. 305. v) 1913. S. 36. w) 1913. S. 137.
8. Cours de Technologie par J. Lombard et Masoiel. Bois. Tom. 1. Bd. 1. 1911.
9. E. Parow, Die Kartoffeltrocknerei. 1916.
10. Dr. D. Meyer, Futtermittel und Getreidetrocknung. 1912.
11. Dr. Th. Dietrich, Landwirtschaftliche Versuchstabellen. Bd. 24. S. 171.
    O. Eisner, Entwicklung und Stand des Trocknens landwirtschaftlicher Erzeugnisse. 18.
12. Ernst Freund, Die Trockenmilch.
    Dr. Wagemann, Hildesheimer Molkerei-Ztg. 1917. Nr. 10.
13. Carl Hoffmann, Die Papierfabrikation.
    Josef Grossmann, Technologie des Holzes. 1906.
14. American Machinist. 13. Juli 1908.
    Cassiers Mag. XXXV. p. 715.
15. Jules Persoz, Essai sur le conditionnement de la soie.
16. Friedr. G. Spiller, Trocknung des Klärschlammes. Dissertation.
17. Dr. J. F. Hoffmann, Wochenschrift für Brauerei. 1908. S. 513. 1911. Nr. 17 u. 18.
    Derselbe, Das Versuchskornhaus u. seine wissenschaftl. Arbeiten. 1904.
18. A. Wihtoi, Einige Gesichtspunkte über Trocknen von Torf.
19. Gericke, Z. d. V. d. I. 1905. S. 887.
20. Dr. L. C. Wolff, Z. d. V. d. I. 1904.
21. Thos. G. Marlow, Drying machinery and practice. 1910.
22. Gesundheitsingenieur. 1919. S. 233 u. S. 281 (H. Jordan).
23. Prometheus. 1918. S. 50.
24. Zentralstelle f. d. Trocknungswesen (Director Eisner). Privatnachricht.
25. Journal f. Gasb. 1915. S. 115.
26. Bayer. Dampk.-Rev.-V. 1919. S. 88.
27. Статьи по вопросам сушки и конструкции сушильных аппаратов в журнале „Die Chemische Apparatur".
28. Prof. W. Schule, Theorie der Heisslufttrockner.
29. O. Marr, Das Trocknen und die Trockner.
30. Karl Reyscher, Die Lehre vom Trocknen in graphischer Darstellung.
31. Hausbrand, Das Trocknen. 5. Aufl.

Часть I.

Теоретические вопросы сушильного процесса, методы расчета и составление расчетных таблиц.

I. Введение.

В тех случаях, когда структура и род высушиваемого материала затрудняет непосредственный доступ потребного количества тепла к его частицам, или, когда по свойствам высушиваемых тел их нельзя нагревать выше определенной, невысокой температуры, так как иначе могут пострадать форма, вид или состав этих тел, или же, наконец, когда необходимо произвести высушивание медленным испарением, чтобы избежать трещины, обесцвечивания и проч., — тогда прибегают к сушке воздухом, паром и горячими газами.

Воздух, употребленный для сушки, должен нагреть высушиваемое тело, доставить необходимое для испарения воды количество тепла и, наконец, унести образовавшиеся при сушке пары.

Вступающий в сушильное пространство теплый воздух теряет там столько тепла, сколько требуется для нагрева и испарения, и уходит, поэтому, из сушильного пространства всегда более холодным, чем в него вступил, за исключением случаев, приведенных ниже в главах 6 и 11 В.; но воздух должен все же выходить из сушки настолько теплым, чтобы быть в состоянии унести с собою, кроме первоначально имевшихся в нем паров воды, еще и пары, выделившиеся из высушиваемого материала.

Атмосферный воздух содержит переменные количества влаги; редко он бывает вполне насыщен. Способность воздуха удерживать влагу сильно возрастает с повышением температуры. Для того, чтобы небольшое количество воздуха могло уносить значительные массы влаги из сушки, — воздух должен оставлять сушку возможно более теплым. С другой стороны, воздух должен и возможно более теплым поступать в сушку, чтобы охлаждение до температуры его выхода из сушки было достаточным для нагрева материалов и испарения заключенной в них воды.

Так как расход тепла при сушке воздухом равен количеству тепла, расходуемому для нагрева воздуха, то отсюда следует, что, чем меньше воздуха будет употреблено для сушки, тем меньше будет расхода тепла; это и имеет место в том случае, когда воздух поступает в сушку и выходит из нее с максимально-допустимыми высокими температурами.

Температура, до которой можно и нужно нагреть вводимый воздух, зависит от природы высушиваемого материала и от требуемой степени его обезвоживания.

Если материал необходимо совершенно высушить, то, к концу процесса, его должно подогреть почти до температуры входящего воздуха; поэтому в этом случае воздух нужно нагреть до наивысшей температуры, которую высушиваемый материал допускает.

Если же материал после сушки может содержать еще некоторое остаточное количество влаги, то нет необходимости нагревать материал до температуры входящего воздуха, и тогда температуру вступающего воздуха можно взять более высокой, как это и бывает при сушке прямым (параллельным) током.

При всякого рода расчетах и соображениях при оборудовании того или иного рода сушильных аппаратов предполагаются известными:

1. Вес подлежащего высушиванию вещества.
2. Количество воды, подлежащее удалению из него.
3. Наивысшая температура, которую это вещество переносит.

Нужно же определить:

1. Количество тепла, которое нужно израсходовать.
2. Потребную поверхность нагрева.
3. Циркулирующее количество воздуха (до его нагрева, после нагрева и при выходе его из аппарата).

Необходимо также решить и другие вопросы, например, выгоднее ли иметь в сушильном пространстве давление более или менее атмосферного; полезнее ли применить прямой или противоток; выгодно ли дополнительно подогревать воздух в самой сушке и много других вопросов.

Ниже даны ответы на эти вопросы и на отдельных примерах будут иллюстрированы применения выработанных положений.

Вместо объема в расчеты будет введен вес воздуха, а если бы это оказалось нужным, — можно по весу определить и объем.

1. Раньше всего необходимо составить таблицу, из которой было бы видно, сколько воды может содержать 1 *кг* воздуха при разных температурах и давлениях.

2. Затем нужно определить весовое количество воздуха при определенной принятой начальной температуре, которое по меньшей мере требуется чтобы испарить и унести с собою определенный вес влаги (например, 100 *кг*).

3. Далее необходимо определить объем, занимаемый этим вычисленным количеством воздуха при его вступлении, после подогрева и при выходе из сушильного аппарата.

На основании предыдущих вычислений можно определить расход тепла (для удаления определенного количества воды), который в разных условиях весьма неодинаков, а отсюда уже можно рассчитать необходимую поверхность нагрева и другие величины, необходимые для устройства и работы сушки.

Все эти определения нужно произвести для процессов сушки при атмосферном давлении, при давлениях высших и низших атмосферного и в предположении большей или меньшей полноты насыщения воздуха, как вступающего в сушильный аппарат, так и уходящего из него.

Буквенные обозначения принятых в дальнейших рассуждениях и расчетах величин.

α = Коэффициент расширения воздуха = 0,003665.

β = Постоянное число. Часть воздуха L, которая при циркуляционном нагреве входит или выходит из кругооборота.

C_a = Потеря тепла через лучеиспускание.

C_g = Теплота для нагревания оборудования аппарата = $G \cdot \sigma_g \ (t_z - t_a)$.

C_n = $C_g + C_r + C_w + C_a$ — теплота, израсходованная в сушке.

C_r = Теплота, пошедшая на нагрев высушенного остатка материала = $= R\sigma_r \ (t_z - t_a)$.

C_s = Общее количество теплоты, употребленной для сушки, т.-е. на нагрев воздуха с содержащимся в нем паром.

C_w = Теплота для испарения воды из высушиваемого материала.

c = Количество тепла, заключающееся в 1 *кг* пара.

D_a = Наружный диаметр лопаток вентилятора.

D_i = Внутренний диаметр лопаток винтилятора.

d_a = Вес пара в 1 *кг* наружного воздуха при температуре t_a.

d_m = Вес пара в 1 *кг* воздуха при средней температуре t_m.

d_n = Вес пара в 1 *кг* влажного воздуха, покидающего сушку при температуре t_n.

d_h = Вес пара в 1 *кг* воздуха при наивысшей температуре t_h.

δ = Удельная теплота водяного пара, принятая равной 0,475 калорий.

δ = Диаметр капель в *мм*.

η = Коэффициент полезного действия в процентах.

F = Вес горючих газов.

G = Вес оборудования аппарата.

γ_a = Вес 1 *куб. м* воздуха (или газа) в атмосфере вне дымовой трубы.

γ_d = Вес 1 *куб. м* пара в *кг*.

γ_i = Вес 1 *куб. м* воздуха или газа в дымовой трубе.

γ_l = Вес 1 *куб. м* сухого воздуха в *кг*.

H = Полная высота дымовой трубы.

H = Поверхность нагрева в *кв. м*.

h_h = Сопротивление, измеряемое дополнительной для него высотой трубы.

$h_{1, 2, 3}$ = Высоты частных сопротивлений движению.

L = Вес воздуха в *кг*.

L_1 = Вес воздуха в пути первого канала.

L_2 = Вес воздуха в пути второго канала.

λ = Удельная теплота воздуха = 0,241 калорий.

μ = Постоянная величина (константа).

N = Обозначение числа лошадиных сил.

n = Наименьшее число оборотов.

p = Давление в атм. или *кг/кв. м* (давление атмосферы = 10336 *кг/кв. м*).

q = Давление в *мм* рт. ст.

R = Вес сухого вещества (высушенного остатка) во влажном материале.

σ_t = Удельная теплота горючих газов.
σ_g = „ „ оборудования аппарата.
σ_m = „ „ смеси горючих газов и воздуха.
σ_r = „ „ остатка (высушенного материала).
t_a = Температура внешнего воздуха (атмосферного).
t_f = „ горючих газов.
t_h = „ горячего воздуха, тотчас по оставлении им нагревателя (наивысшая температура).
t_m = Средняя температура конденсата.
t_m = Температура смеси горючих газов и воздуха.
t_n = Температура сырого воздуха в момент оставления им сушки.
t_u = Первоначальная температура высушиваемого материала.
t_z = Температура высушиваемого материала (и оборудования) при оставлении им сушки.
V_d = Объем данного веса пара в *куб. м.*
V_L = „ „ „ воздуха в *куб. м.*
V_{La} = „ „ „ внешнего воздуха в *куб. м.*
V_{Lh} = „ „ „ горячего воздуха в момент оставления нагревателя.
V_{Ln} = „ „ „ сырого воздуха в момент оставления сушки.
v_o = Скорость выхода воздуха вверху дымовой трубы.
v_h = Скорость воздуха в самом горячем месте сушильной установки.
v = Объем 1 *кг* пара в литрах.
w = Вес воды, удаленной из высушиваемого материала в сушке.
w_1 = Вес воды удаленной из материала в первом канале.
w_2 = „ „ „ „ „ во втором канале.
Z = Общая сила тяги трубы в *мм* водяного столба.
z = Время в секундах.
z_1, z_2, z_3 = Частные составляющие силы тяги.

2. Определение максимального веса насыщенного водяного пара, который может содержаться при разных давлениях и температурах в 1 кг воздуха.

Таблица I.

Как известно, насыщенный водяной пар имеет при каждой температуре соответствующую упругость независимо от того, находится-ли он в безвоздушном пространстве, или в пространстве, наполненном воздухом. Говоря о воздухе, насыщенном влагой, подразумевают, что в пространстве, занимаемом воздухом, — находится столько насыщенных водяных паров, сколько при данной температуре их было бы, если бы в этом пространстве воздуха вовсе не было. Атмосферное давление составляется из суммы давлений пара и воздуха.

Вес *куб. м* насыщенного пара, как видно из таблиц Реньо, Цейнера и др., дает также и максимальное содержание воды в *куб. м* воздуха при разных температурах.

1 *куб. м* водяного пара весит при:

0°	5°	10°	15°	20°	
0,00504	0,00696	0,00951	0,01319	0,01753	*кг.*

Те же весовые количества пара содержит и 1 *куб. м* воздуха, вполне насыщенный влагой.

Если воздух вполне насыщен влагой, то говорят, что степень насыщения воздуха водяным паром равна 100%; если же воздух содержит меньше влаги, например, только $^1/_2$, $^3/_4$, $^1/_4$ этого количества, то говорят, что степень насыщения воздуха равна $75 — 50 — 25\%$.

1 *куб. м* воздуха содержит таким образом при

и при степени насыщения в	температурах 0°	5°	10°	15°	20°	
10%	0,000504	0,000696	0,000951	0,001319	0,001753	*кг* воды
20%	0,00101	0,00139	0,00191	0,00264	0,00351	„ „
50%	0,00252	0,00345	0,00475	0,00660	0,00877	„ „

Объем пара (v) в литрах, образующегося из 1 *кг* воды получается довольно точно из уравнения Мариотта-Гей-Люссака:

$$v = 4{,}543\,\frac{273 + t}{p} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

где t — обозначает температуру, p — давление в атмосферах.

Вес *куб. м* насыщенного пара будет поэтому

$$\gamma_a = \frac{L}{v} = \frac{1000 \cdot p}{4{,}543\ (273 + t)} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

Почти тот же результат, который дает подсчет по этому уравнению дают и соображения другого рода.

Удельный вес насыщенного пара по отношению к воздуху — L равен 0,623. Вес куб. метра пара поэтому всегда составляет 0,623 веса куб. метра сухого воздуха той же упругости и температуры. Если таким образом вес *куб. м.* сухого воздуха для всех температур и упругостей помножить на 0,623, то получим вес куб. метра насыщеного пара. Результат совпадает почти точно с вычесленным по уравнению (2).

Вес куб. метра сухого воздуха можно подсчитать по формуле:

$$\gamma L = \frac{0{,}0001252 \cdot q \cdot p}{(1 + \alpha\, t) \cdot 760} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3)$$

Атмосферное давление на 1 *кв. м* при 760 *мм* барометрического давления $p = 10336$ *кг*; для всякого другого барометрического давления q в *мм* рт. ст. получится

$$p_L = \frac{q}{760}\,10336 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (4)$$

Если отнять от существующего барометрического давления (в *мм* ртутного столба) давление пара в атмосферах, то получится давление, под которым находится собственно воздух.

Пример 1. Нужно определить:

1. Вес 1 *куб. м* сухого воздуха, насыщенного водяными парами, при $t_a = +10°$ и при барометрическом давлении $q = 760$ *мм* (графа 8, табл. 1).

2. Вес водяного пара d_a, заключающегося в этом случае в 1 *кг* воздуха (графа 11, табл. 1).

3. Вес 1 *куб. м* сухого воздуха, насыщенного водяными парами, при $t_a = 10°$ и при абсолютном давлении $q = 250$ *мм* (графа 20, табл. 1).

4. Вес водяного пара содержащегося в 1 *кг* воздуха при условиях по пункту 3 (графа 21).

К 1-му пункту. По уравнению (3) имеем:

$$\gamma_L = \frac{0{,}0001252 \cdot q \cdot p}{(1 + \alpha') \cdot 760}.$$

q — парциальное давление воздуха в *куб. м*, и его находят, как разницу между существующим общим давлением (здесь 760 *мм*) и давлением насыщенного пара при 10°, что по графе 3 = 9,16 *мм*, таким образом, получаем:

$$760 - 9{,}16 = 750{,}84 \text{ мм}$$

отсюда следует

$$\frac{q \cdot p}{760} = \frac{750{,}84 \cdot 10336}{760} = 10211{,}4$$

$$\gamma_L = \frac{0{,}0001252 \cdot 10211{,}4}{(1 + 0{,}003665 \cdot 10)} = 1{,}2332 \text{ кг (графа 8).}$$

Ко 2-му пункту. 1 *куб. м* содержит при 10° и 760 *мм* барометрического давления 12332 *кг* воздуха и (из графы 2) 0,00951 *кг* водяного пара.

В 1 *кг* воздуха содержатся поэтому в данном случае:

$$\frac{0{,}00951}{1{,}2332} = 0{,}00771 \text{ кг пара (графа 11).}$$

К 3-му пункту. Подставим в уравнение (3):

$t_a = 10°$; $\alpha = 0{,}003665$; $q = 250 - 9{,}16 = 240{,}84$

$$\frac{q \cdot p}{760} = \frac{240{,}84 \cdot 10336}{760} = 3275{,}4$$

и

$$\gamma_L = \frac{0{,}0001252 \cdot 3275{,}4}{1 + 0{,}003665 \cdot 10} = 0{,}395 \text{ кг (графа 20).}$$

К 4-му пункту. 1 *куб. м* при 10° и 250 *мм* абсолютного давления содержит согласно предыдущему 0,395 *кг* воздуха и (графа 2) 0,00951 *кг* пара, следовательно, в 1 *кг* воздуха содержится:

$$\frac{0{,}00951}{0{,}395} = 0{,}0240 \text{ кг пара (графа 21).}$$

Из таблицы 1 вполне определенно явствует, что 1 *кг* воздуха тем больше может содержать насыщенного пара, чем теплее он сам, и чем менее существующее давление.

С помощью таблицы 1 можно теперь подсчитать, сколько требуется воздуха и тепла для испарения определенного весового количества воды при разных условиях.

3. Расход тепла на нагрев высушенного остатка и оборудования аппарата.

Таблица II определяется из уравнения:

$$C_r = (R\,\sigma_r + G \cdot \sigma_g)\ (t_h - t_u) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (5)$$

В таблице II даны расходы тепла для некоторых случаев.

Пример 2. Из 100 *кг* влажного материала нужно удалить 20% воды. Оборудование весит 300 *кг* на каждые 100 *кг* высушиваемого материала. Остаток после удаления воды (R) имеет удельную теплоту $\sigma_r = 0{,}4$, а оборудование (G) состоящее большею частью из дерева с небольшим количеством железа, — имеет $\sigma g = 0{,}6$ [1]) Температура их $t_u = 10°$, а наивысшая $t_h = 60°$.

По таблице II 20-ти килограммам воды соответствует 80 *кг* сухого остатка, т.-е. 100 *кг* воды отвечает 400 *кг* остатков (R).

20-ти килограммам воды соответствует 300 *кг* оборудования (G), а значит 100 *кг* воды соответствует 1500 *кг* оборудования (G).

$$C_r' = (400 \cdot 0{,}4 + 1500 \cdot 0{,}6) \cdot (60 - 10) = 53000 \text{ калорий.}$$

4. Расчет веса и объема воздуха и наименьшего расхода тепла, потребных для сушильного аппарата, работающего только подогретым воздухом.

А. Принимая, что воздух до подогрева и при выходе его из аппарата вполне насыщен водяными парами. Таблица III.

Атмосферный воздух редко вполне насыщен водяными парами. Степень насыщения колеблется между 10 и 100% и меняется часто в течение одного дня на 50 — 60%. Поэтому рекомендуется принимать при подсчете потребного для определенной работы сушки весового количества воздуха высокую степень влажности внешнего воздуха.

Уходящий из сушки воздух тоже не всегда вполне насыщен, хотя к этому и должно стремиться; но в первую очередь мы определили расход воздуха и тепла именно для такого случая и затем для других степеней насыщения воздуха влагой.

Схематический рис. 1 дает представление о простейшем сушильном аппарате.

Внешний воздух L, содержащий в 1 *кг* d_a *кг* воды, вступает с температурой t_a в нагревательное пространство H и уходит из него с более высокой температурой t_h. Проходя через сушильное пространство T, воздух принимает w *кг* воды и охла-

---

[1]) Удельная теплота некоторых тел:

Алюминий . . .	= 0,21	Ртуть	= 0,033	Кокс	= 0,20
Железо	= 1,12	Стекло	= 0,193	Дерево	= 0,65
Медь	= 0,0933	Соль	= 0,246	Кирпич	= 0,22

ждается до температуры t_n. Обычно применяется вентилятор (V) для удаления наружу теплого воздуха, принявшего $Ld_n = w + Ld_a$ влаги.

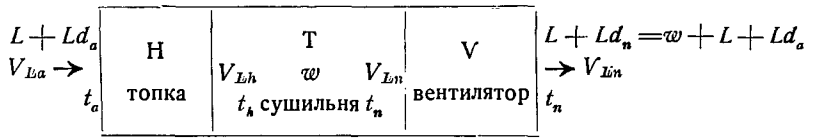


Рис. 1. Схема сушильного аппарата.

Из вышесказанного видно, что взятый для сушки воздух должен удовлетворить двум условиям:

1. Количество тепла, которое могут отдать сушке весовое количество воздуха L и его влажность Ld_a вследствие их охлаждения от температуры вступающего воздуха t_h до температуры выходящего воздуха t_n, должно быть достаточным для нагрева мокрого высушиваемого вещества и оборудования сушильного аппарата с первоначальной их температуры t_u до температуры t_z (т.-е. до температуры удаляемого из сушки материала) и для испарения количества воды w.

2. Воздух должен быть в состоянии при температуре выхода его из сушки t_n удерживать в виде пара количество воды w наряду с паром Ld_a, первоначально принесенным им из атмосферы.

Обозначенную через λ удельную температуру воздуха $= 0{,}2375$ [1]), через δ удельную температуру пара $= 0{,}475$, через $C_n = G_r + C_g + C_w + C_a$ теплоту в калориях, расходуемую в сушильном прстранстве, получим на основании этих условий уравнения:

$$(L\lambda + Ld_a\delta)\ (t_h - t_n) = C_n = C_r + C_g + C_w + C_a \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (6)$$

$$L\,(d_n - d_a) = w \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (7)$$

или

$$L = \frac{w}{d_n - d_a} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (8)$$

вставляя это значение в уравнение (6):

$$\frac{w}{d_n - d_a}\,(\lambda + d_a\delta)\ (t_h - t_n) = C_n = C_r + C_g + C_w + C_a \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (9)$$

или, так как $\lambda = 0{,}2375$, а $\sigma = 0{,}475$, получаем

$$\frac{t_h - t_n}{d_n - d_a} = \frac{C_r + C_g + C_w + C_a}{w\,(0{,}2375 + d_a \,.\, 0{,}475)} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (10)$$

Уравнения (8) и (10) являются самыми важными уравнениями при расчете сушильных установок (w, t_h, t_n, d_a и C_n здесь всегда известны).

Содержание сухих веществ в высушиваемой массе, вес оборудования и количество поглощаемого ими тепла, как и тепла лучеиспускания, бывают различны.

---

[1]) Von. L. Halborn und M. Jacob (Forschungsarbeiten 1916, Heft 187, 188), Z. V. D. I. 1914, с. 1429; 1917, с. 146 дают значение $\lambda = 0{,}2413$, которое при высших давлениях повышается:

при 25 атм. — 0,2490 при 100 атм. — 0,2695; при 200 — 0,2995
„ 50 „ — 0,2556 „ 150 „ — 0,2810; „ 300 — 0,3026.

Но при расчетах будем принимать во внимание только теплоту C_w для испарения воды, оставим пока без внимания теплоту для нагрева твердых веществ $(C_r + C_g + C_a)$ или остатка после сушки, так как именно эти последние количества теплоты весьма различны и трудно было бы составить пригодные для расчета таблицы. Если же эти величины настолько значительны, что их нельзя откинуть при расчете, то приходится прибегать к уравнениям (6) и (10), и значения C_r и C_g находят в таблице II: поэтому мы в последующем будем принимать, что уходящий из сушки воздух должен нагревать только влагу w с первоначальной ее температуры t_u (в таблице за основание принято 15°) до температуры выходящего воздуха t_n, для чего требуется w $(t_n - t_u)$калорий.

Для испарения 1 *кг* воды с температурой t_n нужно в округленных цифрах $640 - t_u$ калорий.

Потребное для испарения воды количество тепла C_w (полезная работа сушильной установки) поэтому выразится:

$$C_w = w\,(640 - t_u) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (11)$$

В уравнении (10) известными являются величины t_n и d_n, т.-е. температура и влажность уходящего из сушки воздуха.

Пока мы считаем, что уходящий воздух насыщен влагой (и только для этого случая пригодны таблицы I и III), то величины t_n и d_n находятся в зависимости друг от друга и каждой температуре t_n отвечает в таблице I определенная степень влажности d_n.

Чтобы найти известные уравнения (10) t_n и d_n, подбирают их значения, выбирая любое t_n и соответствующее ему из таблицы 1 значение для d_n, вставляя их в уравнение и продолжая этот подбор до тех пор, пока обе части уравнения не станут тождественны.

Установив таким путем t_n и d_n, можно помощью уравнения (8) определить нужное весовое количество воздуха (L) (графа 2 и 3 табл. III), достаточное для испарения весового количества воды w.

Абсолютный вес влажности, которую извне приносит с собой в аппарат рассчитанное количество воздуха L, получается умножением L на d_a (ив табл. I, граф. 10, 11, 12, 15, 18 и 21) (табл. III, графа 4).

Все потребное количество теплоты для нагрева весового количества воздуха L и содержащейся в нем влаги с их внешней температуры t_a до максимальной температуры t_h получаем из уравнения:

$$C_s = L\,(0{,}2375 + d_a \cdot 0{,}475)\ (t_h - t_a)\ ^{1}) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (12)$$

Чем больше C_s в отношении C_w, тем неэкономичнее работает сушка (величины C_s см. табл. III, графа 8).

Наконец, нужно определить объем, занимаемый воздухом в разных стадиях его нагрева.

Количество вступающего в сушку воздуха (L) равно количеству уходящего из сушки воздуха, и мы принимаем, что этот воздух всегда насыщен парами,

---

[1]) Если желательно принять во внимание нагрев остающегося высушенного материала и оборудования, то нужно L определять из уравнений 6, 8 и 10.

а именно вначале при атмосферной температуре t_a, а затем при температуре выхода t_n. Упругость воздуха в обоих случаях различна, но известна, так как она представляет разницу между атмосферным давлением и давлением содержащихся в воздухе насыщенных паров.

Чтобы найти теперь объемы V_{La} и V_{Ln} весового количества воздуха L, нужно разделить 1 *куб. м* сухого воздуха той же упругости (т.-е. атмосферного минус давление паров) и той же температуры на полученное подсчетом количество воздуха (L), т.-е. нужно веса γ из табл. I, граф. 7, 8, 9, 14 17 и 20 при соответствующих входящих и выходящих температурах разделить на высчитанный вес воздуха (L). Так определены значения в графах 5 и 7, табл. III.

$$V_{La} = \frac{L}{\gamma_L} \text{ и } V_{Ln} = \frac{L}{\gamma_L}.$$

Чтобы определить объем подогретого воздуха V_{Lh}, содержащего атмосферную влагу при той температуре, при которой он оставляет обогревательный прибор и вступает в сушку, необходимо поступить иначе.

В сильно нагретом воздухе сопровождающий его пар перегрет и следует другим законам, чем насыщенный пар. При высоких температурах сильно перегретый пар имеет меньшую упругость, чем насыщенный, а именно близкую к упругости перманентных (постоянных) газов; вблизи точки его конденсирования, — а это условие мы и имеем в данном случае, — не всегда возможно точно установить правила, которым следует мало перегретый пар, приравниваемый нами все же для расчета к перманентным газам.

Но не представляется никаких затруднений определить объем весового количества сухого воздуха и объем перегретого пара при определенном давлении и температуре, применяя для этого формулу Мариотта-Гей-Люссака:

$$\frac{V_L \cdot p}{273 + t} = R \text{ или } \frac{V_d \cdot p}{273 + t} = R. \quad \ldots \ldots \ldots \quad (13)$$

где R обозначает газовую константу (для воздуха $R = 29{,}27$, для перегретого пара по Г. Шмидту $= 46{,}83$).

Формула для определения объема горячего воздуха и примешенного к нему пара при температуре t_h имеет вид:

$$V_g = V_{Lh} + V_{dh} = L\left[\frac{273 + t_h}{p}(29{,}27 + 46{,}83\, d_a)\right] \ldots \ldots$$

По этой формуле рассчитана графа 6, табл. III.

Пример 3. Нужно испарить 100 *кг* воды воздухом, наивысшая температура которого не должна превышать $t_h = 100°$, и в том предположении, что и атмосферный и уходящий из аппарата воздух насыщены водяными парами и что барометрическое давление $= 760$ *мм*.

Атмосферный воздух может иметь любую температуру. Поэтому необходимо вычислить интересующие данныя для всевозможных наружных температур. Так как все подобные расчеты одинаковы, то мы приведем расчет для температуры наружного воздуха $t_a = 20°$.

Нужно определить потребное для сушки весовое количество воздуха (L), температуру уходящего воздуха (t_a), объем воздуха до вступления V_{La}, после нагрева до 100° V_{Lh}, при выходе V_{Ln} и расходуемое тепло C_s.

В уравнение (10) подставим наивысшую температуру воздуха $t_h = 100$. Наружная температура $t_a = 20°$ определяет содержание влаги в 1 *кг* воздуха (табл. I, графа 11) $d_a = 0{,}0148$ *кг*, а подлежащее испарению количество воды $w = 100$ *кг*.

Высушиваемое вещество и его влажность имеют температуру $t_u = 15°$, расход тепла $C_r + C_g + C_a$ мал, и мы не принимаем его во внимание; тогда теплота, необходимая для испарения воды:

$$C_w = (640 - 15) \cdot 100 = 62500 \text{ калорий.}$$

Подставим это значение в уравнение (10):

$$\frac{100 - t_n}{d_n - 0{,}0148} = \frac{62500}{100\,(0{,}2375 + 0{,}0148 \cdot 0{,}475)} \text{ калор.}$$

$$\frac{100 - t_n}{d_n - 0{,}0148} = 2556{,}2 \text{ калорий.}$$

t_n и d_n являются (как это уже было упомянуто) величинами сопряженными, но не могут быть выражены друг через друга. Поэтому их значения находят опытным подбором и подстановкой различных значений для t_n и соответствующего ему по табл. I, графа 11 значения d_n, пока обе стороны уравнения не сравняются.

После некоторых опытов мы найдем $t_n = 36{,}25°$, а соответствующее ему $d_n = 0{,}0397$ (табл. I, графа 11)

$$\frac{100 - 36{,}25}{0{,}0397 - 0{,}0148} = 2550,$$

что достаточно точно совпадает с рассчитанным значением 2556,6.

Температура, с которой воздух уходит из сушки, равна таким образом 36,25°.

Уравнение (8) дает весовое количество воздуха (L):

$$L = \frac{w}{d_n - d_a} = \frac{100}{0{,}0398 - 0{,}0148} = 4000 \text{ кг.}$$

Вес влаги $L \cdot da$, которая первоначально содержалась в 4000 *кг* атмосферного воздуха, находят умножением веса воздуха на число, указывающее, сколько насыщенного пара содержится в 1 *кг* воздуха при 20°, в данном случае $da = 0{,}0148$ (табл. I, графа 11).

В 4000 *кг* воздуха поэтому первоначально содержалось:

$$Lda = 4000 \cdot 0{,}0148 = 59{,}20 \text{ кг водяного пара.}$$

Объемы воздуха V_{La} и V_{Ln} в *куб. м* до вступления и после выхода получим разделением веса употребленного воздуха (L) на вес 1 *куб. м* сухого воздуха при соответственных температурах (20° и 36,25°) (табл. I, графа 8):

для 20°:

$$V_{La} = \frac{4000}{1{,}1771} = 3389 \text{ куб. м,}$$

для 36,25°:

$$V_{Ln} = \frac{4000}{1{,}0750} = 3821 \text{ куб. м.}$$

Объем нагретого воздуха V_{Lh} вытекает из уравнения (14):

$$V_{Lh} = L\left[\frac{273 + t_h}{p}(29{,}27 + 46{,}83\, d_a)\right],$$

куда нужно вставить

$$p = 10336 \text{ кг; } t_h = 100°, \; L = 4000 \text{ кг}, \; Ld_a = 59{,}20 \text{ кг,}$$

поэтому:

$$V_{Lh} = \frac{273 + 100}{10336}(29{,}27 \cdot 4000 + 59{,}20 \cdot 46{,}83) = 4323 \text{ куб. м.}$$

Количество тепла C_s, необходимого для нагрева 4000 *кг* воздуха и 59,20 *кг* водяного пара на 100°, получаем из уравнения (12):

$$C_s = (L \cdot 0{,}2375 + Ld_a \cdot 0{,}475)\ (t_h - t_a),$$

где

$$L = 4000,\ Ld_a = 59{,}20,\ t_h = 100°,\ t_a = 20°$$

$$C_s = (4000 \cdot 0{,}2375 + 59{,}20 \cdot 0{,}475)\ (100 - 20) = 78{,}250 \text{ калорий.}$$

Этим путем найдены числа таблицы III.

Если бы в примере (3) нужно было бы принять в расчет расход теплоты на нагрев высушенного остатка (R) и оборудования (G) и на потерю через излучение C_a, то для 100 *кг* испаренной воды имеем:

$$C_r = R \cdot \sigma_r\ (t_h - t_u) = \ 400 \cdot 0.5\ \ (100 - 15) = 17000 \text{ кал.}$$
$$C_g = G \cdot \sigma_g\ (t_h - t_u) = 1000 \cdot 0{,}65\ (100 - 15) = 55250 \quad „$$
$$C_a = \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots = \ 7825 \quad „$$
$$80075 \text{ кал.}$$

и $C_n = C_w + C_r + C_g + C_a = 139575$ калорий.

Подставляя это значение в уравнение (10):

$$\frac{100 - t_n}{d_n - 0{,}0148} = \frac{139575}{100\ (0{,}2375 + 0{,}0148 \cdot 0{,}475)} = 5710.$$

Путем подбора t_n и d_n получим: $t_n = 29{,}5$ и (по табл. I) соответственно $d_n = 0{,}0268$ и тогда

$$\frac{100 - 29{,}5}{0{,}0268 - 0{,}0148} \cong 5800.$$

Итак, температура уходящего из сушки воздуха = 29,5°.

Вес воздуха (L) получается из уравнения (8):

$$L = \frac{100}{0{,}0268 - 0{,}0148} = 8333 \text{ } кг.$$

В этих 8333 *кг* воздуха первоначально находилось:

$$Ld_a = 8333 \cdot 0{,}0148 = 113{,}73 \text{ } кг \text{ водяного пара (табл. I).}$$

Объем воздуха при вступлении его ($t_a = 20°$ C)

$$V_{La} = \frac{8333}{1{,}1771} \cong 7100 \text{ } куб.\ м$$

и при выходе (29,5°)

$$V_{Ln} = \frac{8333}{1{,}15} = 7247 \text{ } куб.\ м.$$

Объем нагретого воздуха из уравнения (14)

$$V_{Lh} = 8333 \left[\frac{273 + 100}{10336}\ (29{,}27 + 46{,}83\ d_a)\right] = 8225 \text{ } куб.\ м.$$

Общий расход теплоты C_s для нагрева 8333 *кг* воздуха, содержащего 113,73 *кг* воды, с 20° на 100 получаем из уравнения (12):

$$C_s = (8333 \cdot 0{,}2375 + 113{,}73 \cdot 0{,}475) \cdot (100 - 20) = 162640 \text{ калорий.}$$

Вообще при определении размеров определенного сушильного устройства достаточно знание только предельных моментов, в которых применяемый воздух имеет наименьшую и наибольшую температуры; но иногда желательно бывает знать и промежуточные числа; для этого в табл. III даны числа и для нескольких промежуточных температур атмосферного воздуха (в границах между — 20 и + 30° С).

Из табл. III можно сделать некоторые ценные заключения. Прежде всего, что при сушке воздухом расход тепла уменьшается с повышением температуры, до которой нагревают воздух (t_h). При слабом нагреве воздуха расход тепла C_s для удаления 100 *кг* воды в 2 — 3 раза больше теоретически необходимого для испарения количества тепла $C_{|w}$.

Также видно, что расход тепла сильно увеличивается при низкой температуре наружного воздуха: чем холоднее атмосферный воздух, тем больше тепла требуют для своего испарения 100 *кг* воды.

Далее следует заметить, что количество вступающего в сушку воздуха возрастает вместе с увеличением его первоначальной температуры. Чем холоднее внешний воздух, тем меньше приходится вводить его в сушильный аппарат при той же максимальной температуре его нагрева, в предположении, что атмосферный воздух всегда насыщен влагой. Но меньшее количество холодного атмосферного воздуха требует для нагрева его до температуры $-t_h$ гораздо больше калорий, чем соответственное по действию большее количество более теплого наружного воздуха.

Отсюда вытекают следующие правила:

1. Нагреваемому воздуху следует придавать до вступления его в сушку максимальную, допускаемую данным высушиваемым материалом температуру.
2. Поверхность для нагрева воздуха нужно выбирать так, чтобы она была достаточна и в самые холодные дни.
3. Устройство циркуляции воздуха следует рассчитывать так, чтобы оно было в состоянии доставлять большое потребное количество воздуха (в расчете на самые теплые дни).

Рекомендуется — воздух в сушку не нагнетать, а лучше высасывать его из сушки (о предпочтительности в сушке разрежения перед давлением будет указано ниже, в главе 7).

Таблица III рассчитана при давлении 760 *мм*, так как незначительные изменения барометрического давления (на 20 *мм* рт. столба) не оказывают серьезного влияния на вес и объем воздуха. Во всяком случае более высокое барометрическое давление выгоднее, потому что чем оно выше, тем меньше воздуха требуется для сушки и тем экономичнее будет работа при прочих равных условиях. Иначе дело обстоит, если в сушильном аппарате устанавливается определенное большее или меньшее давление против атмосферы (гл. 7).

В. Расчет для случая атмосферного воздуха, вступающего в сушку вполне насыщенным и уходящего оттуда со степенью влажности в 75—50—25%. Таблицы IV, V, VI, VII.

С уменьшением степени насыщения воздуха уменьшается и упругость водяного пара в воздухе, и так как барометрическое давление есть сумма давлений воздуха и водяных паров, то единица объема содержит тем больший вес воздуха, чем меньший вес влаги в нем заключается.

В графах 2, 7 и 12 (табл. IV) помещены веса водяного пара, содержащегося в 1 *куб. м*, насыщенном до $^3/_4$, $^1/_2$ и $^1/_4$ при 760 *мм* ртутного столба и при температурах от $-20°$ до $+100°$. Эти числа следуют из графы 2, табл. I; например, при $-20°$ C 1 *куб. м* насыщенного водяного пара весит 0,00106 *кг*; следовательно, 1 *куб. м*, содержащий половину насыщенного пара при той же температуре, содержит $\frac{0{,}00106}{2} = 0{,}00053$ *кг* (графа 7).

В графах 3, 8, 13 помещены соответственные упругости этих паров; напр., только отчасти насыщенный рассматривается, как перегретый, и для вычисления применяют уравнение (13):

$$\frac{V_d \cdot p_d}{273 + t} = R,$$

где $R = 46{,}83$.

Вес 1 *куб. м* пара:

$$\gamma_d = \frac{1}{V_d} \quad \text{и} \quad V_d = \frac{1}{\gamma_d}.$$

Упругость пара p_d в *кг/кв. м* (при переводе с давления q_d, выраженного в *мм* ртутного столба) равняется:

$$p_d = \frac{p \cdot q_d}{760} = \frac{10336 \cdot q_d}{760}, \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (15)$$

где p обозначает давление атмосферы на *кв. м* $= 10336$ *кг*.

Уравнение (13) получает, таким образом, вид:

$$R = \frac{\frac{1}{\gamma_d} \cdot \frac{10336 \cdot q_d}{760}}{273 + t} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (16)$$

Парциальная упругость ненасыщенного пара и его смеси с воздухом следует из уравнения:

$$q_d = \frac{R\,(273 + t)\,\gamma_d \cdot 760}{10336} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (17)$$

Этим путем получены числа граф 3, 8 и 13 (табл. IV).

Пример 4. При температуре в $-20°$ и степени насыщения в 50% ($= ^1/_2$) упругость пара в *мм* рт. столба по уравнению 17 будет:

$$q_d = \frac{46{,}83\ (273 - 20) \cdot 0{,}00053 \cdot 760}{10336} = 0{,}461\ \textit{мм}.$$

Графы 4, 9 и 14, в которых даны величины парциальной упругости воздуха, получаются, как разница между атмосферным давлением в 760 *мм* и парциальным давлением пара q_d.

Пример 5. В вышеприведенном случае упругость воздуха:

$$q_L = 760 - 0{,}461 = 759{,}539\ \textit{мм}.$$

В графах 5, 10, 15 помещены веса кубического метра воздуха, содержащего еще $^3/_4 — ^1/_2 — ^1/_4$ насыщенного пара, определенные по уравнению (3):

$$\gamma_L = \frac{0{,}0001252}{(1+\alpha t)} \cdot \frac{p \cdot q_L}{760}.$$

Подставляя значения для p и α, получим:

$$\gamma_L = \frac{0{,}0001252 \cdot 10336 \cdot q_L}{(1+0{,}003665\ t)\ 760}.$$

В только-что приведенном примере для $t_n = -20°$ и при $^1/_2$ насыщения b_L равнялось 759,539, а потому вес 1 *куб. м* воздуха:

$$\gamma_L = \frac{0{,}0001252 \cdot 10336 \cdot 759{,}539}{(1+0{,}003665 \cdot -20)760} = 1{,}395\ кг.$$

Наконец, графы 6, 11, 16 дают вес паров, содержащихся в 1 *кг* воздуха, определяемый разделением веса пара (графа 7) на вес воздуха (графа 10).

Пример 6. Для $t = -20°$ и $^1/_2$ насыщения

$$d = \frac{\gamma_d}{\gamma_L} = \frac{0{,}00053}{1{,}395} = 0{,}038\ кг.$$

С помощью составленной таким образом таблицы IV рассчитаны таблицы V, VI, VII, которые дают — для случаев, когда внешний воздух вполне, а выходящий воздух только на $^3/_4$ (V), или на $^1/_2$ (VI), или на $^1/_4$ (VII) насыщен, потребные для высушивания 100 *кг* воды вес и объем воздуха, температуру выходящего воздуха и расход тепла, подобно тому, как в таблице III имеются те же данные для вполне насыщенного выходящего воздуха.

Способ расчета вполне подобен изложенному в главе 4, отдел А.

Пример 7. При барометрическом давлении в 760 *мм* нужно высушить $w = 100$ *кг* воды воздухом, который можно нагревать максимально до $t_h = 100°$ С, при наружной температуре $t_a = \pm 0°$; при этом предположено, что наружный воздух вполне, а выходящий из аппарата только на $^3/_4$ насыщен водяными парами. Температура высушиваемого материала $t = 15°$.

По уравнению (10)

$$\frac{t_h - t_n}{d_n - d_a} = \frac{C_w + C_r + C_g + C_a}{w\ (0{,}2375 + d_a \cdot 0{,}475)},$$

следовательно, при:

$t_h = 100°$, $w = 100$ *кг*, $C_w = 62500$, $d_a = 0{,}00387$.

C_r, C_g и C_a временно не приняты во внимание.

(Таблица I, граф. 11).

$$\frac{100 - t_n}{d_n - 0{,}00387} = \frac{62500}{100\ (0{,}2375 + 0{,}00387 \cdot 0{,}475)} = 2616.$$

Подставляя различные значения для t_n и соответствующего ему d_n из таблицы IV, графы 6, находим $t_n = 36°$ и $d_n = 0{,}0284$, которые обращают левую сторону уравнения в 2610. Таким образом, температура уходящего воздуха $= 36°$.

Потребный вес воздуха (L) получаем из уравнения (8):

$$L = \frac{100}{d_n - 0{,}00387} = \frac{100}{0{,}0284 - 0{,}00387} = 4076\ кг.$$

Количество ненасыщенных водяных паров, первоначально содержащихся в 4076 *кг* воздуха, получится из:

$$Ld_a = 4076 \cdot 0{,}00387 = 15{,}774 \text{ кг}.$$

Объем V_{La} этих 4076 *кг* воздуха при температуре $t_a = 0°$ находим по табл. I, графе 8

$$V_{La} = \frac{4076}{1{,}2832} = 3176 \text{ куб. м}.$$

Объем V_{Lh} воздуха и паров после нагрева до 100° получим из уравнения (14), в котором подставим $t_h = 100$, $L = 4076$, $Ld_a = 15{,}8$:

$$V_{Lh} = \frac{273 + 100}{10336} (29{,}27 \cdot 4076 + 46{,}83 \cdot 15{,}8) = 4333{,}6 \text{ куб. м}.$$

При выходе из аппарата, т.-е. при температуре $t_n = 36°$ и $^3/_4$ насыщения объем V_{Ln} этих 4076 *кг* воздуха по табл. IV, графе 5 равен:

$$V_{Ln} = \frac{4076}{1{,}094} = 3725{,}8 \text{ куб. м}.$$

Наконец, по уравнению (12) находим потребное количество тепла для нагрева воздуха:

$$C_s = (4076 \cdot 0{,}2375 + 15{,}8 \cdot 0{,}475) \cdot (100 - 0) = 97{,}655 \text{ кал}.$$

Так рассчитаны данные таблиц, V, VI и VII.

Сравнение таблицы III с таблицами V, VI, VII показывает, что необходимый расход воздуха и тепла с уменьшением степени насыщения уходящего воздуха весьма значительно возрастает, хотя и непропорционально, а в более слабой степени; что при высоком подогреве воздуха разницы минимальные, при низком подогреве — максимальные, и что при очень теплом наружном воздухе и низкой максимальной температуре сушильный процесс вообще не наступает, как это и показывают таблицы при 35° и 50° максимальной температуры нагрева и при 30° наружного воздуха.

C. Расчеты для случая, когда атмосферный воздух перед его вступлением в сушильный аппарат не насыщен водяными парами.

Таблицы VIII, XIII и диаграмма VIII.

С помощью уравнений (8) и (10) можно также и в этих случаях подсчитать все данные, воспользовавшись для этого рассчитанными для полного насыщения таблицами. Для этой цели из таблицы I и диаграммы III составлена небольшая диаграмма VIII, указывающая температуру, при которой воздух с определенной влажностью вполне насыщен, и более высокие температуры, при которых он с тем же содержанием влаги будет насыщен до разных степеней от 90 до $10^0/_0$.

Если воздух для сушки при данной температуре не вполне (а только на $^3/_4$, $^1/_2$, $^1/_4$) насыщен водяными парами, то можно с помощью табл. VIII и XIII и диаграммы VIII всегда легко найти те температуры, при которых этот воздух с тем же весовым содержанием воды в I *кг* его, был бы вполне насыщен.

Нужно, например, на диаграмме VIII пройти от a к b, чтобы видеть, что воздух, насыщенный при 60° на половину, — при 45° уже вполне насыщен.

Рассмотрим теперь, в каком отношении изменятся выводы примененных для расчета уравнений 8, 10 и 14, когда вступающий воздух не насыщен.

В уравнении (10), с помощью которого определяется температура выходящего воздуха, d_a (содержание воды в 1 *кг* входящего воздуха), было бы меньше, а именно только 90—10% величины полного насыщения. Можно себе представить, что воздух имеет не действительную свою температуру, а такую низкую температуру, что он с этим содержанием воды d_a вполне был бы насыщен, и эту низкую температуру найти из таблицы VII и диаграммы VIII.

Пример 8. Если воздух имеет температуру 25°, то при 760 *мм* барометрического давления он мог бы содержать 0,0202 *кг* воды (табл. I, графа 11). Но, если в действительности воздух содержит только 0,0101 *кг*, то он наполовину насыщен. С этим содержанием воды ($d_a = 0{,}0101$ *кг*) воздух при 15° был бы вполне насыщен.

Так как первоначальная температура воздуха не входит в уравнение (10), то из него получаем подстановкой значения $d_a = 0{,}0101$ температуру уходящего воздуха t_n и его влажность d_n, независимо от температуры наружного воздуха. Обе величины несколько меньше, чем они были бы при $d_a = 0{,}0202$.

Вес воздуха L, определяемый из уравнения (8), подставив $d_a = 0{,}0101$ и найденное из уравнения (10) t_n, получится и здесь меньше, чем он был бы при $d_a = 0{,}0202$.

Объем действительного веса воздуха L, как наружный воздух V_{La}, насыщенный при 15°, несколько меньше, чем если бы он был при 25° наполовину насыщенным; но эта разница не очень велика и не играет такой серьезной роли для расчета сушильного устройства, как объем выходящего воздуха.

Объемы поступающего в сушку нагретого воздуха и воздуха уходящего из сушки (V_{Lh} и V_{Ln}) определяются их весом и температурой. Эти оба фактора одинаковы для обоих случаев, — берется ли первоначально полунасыщенный воздух при 25°, или вполне насыщенный при 15°, а потому объемы получаются те же.

Потребное для нагрева воздуха количество тепла C_s получаем из уравнения (12), в которое входит наружная температура t_a.

Но если полученные из уравнений (8) и (10) температуры уходящего воздуха, веса и объемы, которые отыскивались для ненасыщенного при определенной температуре воздуха, почти точно равнялись тем, которые можно найти в таблицах III, V, VI и VII для вполне насыщенного воздуха при более низкой температуре, то при расходе тепла дело обстоит иначе. Тепла требуется менее на то количество, которое необходимо, чтобы довести воздух с его температуры насыщения (в примере 8 — с 15°) до действительной температуры t_a, при которой он не насыщен (в примере $T_a = 25°$). Расход тепла C_s поэтому будет только $\frac{t_h - T_a}{t_h - t_a}$ расхода воздуха при его более низкой температуре насыщения.

Если теперь при расчете сушильного устройства не желают следовать предположениям таблиц III, V, VI и VII, по которым наружный воздух до своего вступления в обогревательную камеру вполне насыщен водой, а хотят предположить другую, меньшую степень насыщения наружного воздуха влагой (обычно не ниже 50%, а лучше не меньше 75%), то можно все же использовать таблицы III, V, VI и VII, если поступить следующим образом:

Отыскивают в табл. VIII ту температуру, при которой воздух был бы вполне насыщен, если он при температуре t_a (действительной) только на 90 — 10% насыщен.

Затем, в таблицах III, V, VI и VII в зависимости от предположения, что воздух будет насыщен вполне (III), на $^3/_4$ (V), на $^1/_2$ (VI), или на $^1/_4$ (VII) рядом с найденной из табл. VIII низшей температурой насыщения находят в графе 2 действительные температуры уходящего воздуха, в графе 3 — действительный вес воздуха L, в графе 5 — несколько уменьшенный объем наружного воздуха V_{La} и в графе 6 и 7 — действительные объемы воздуха после нагрева и при выходе V_{Lh} и V_{Ln}.

Воздух, который при определенной температуре вполне насыщен, был бы (как видно из таблицы VIII для сюда относящихся температур) при том же содержании влаги, только на $^3/_4$ насыщен, если бы температура была на 5° выше; на $^1/_2$ насыщен, при температуре на 10° высшей и только на $^1/_4$ насыщен при температуре на 15° высшей. Поэтому не будет большой ошибкой принять уменьшение расхода тепла при $^3/_4$ наружного насыщения равным количеству тепла, необходимому для нагрева воздуха L на 5° (т.-е. $= 5 \cdot L \cdot 0{,}2375$) — при $^1/_2$ насыщения воздуха на 10° (т.-е. $= 10 \cdot L \cdot 0{,}2375$), при $^1/_4$ насыщения воздуха на 15° (т.-е. $= 15 \cdot L \cdot 0{,}2375$).

Итак, если принять, например, что наружный воздух до вступления своего в обогревательную камеру сушильного аппарата не вполне насыщен, как это принято за основание в таблицах III, V, VI и VII, а только на $^3/_4$, то находим в таблицах V, VI, VII, графа 9, температуру внешнего воздуха, на $^3/_4$ насыщенного, а в графе 10 действительный расход тепла.

Пример 9. Нужно испарить 100 *кг* воды наружным воздухом с температурой в 30° и только на $^3/_4$ насыщенным, в том предположении, что уходящий воздух будет вполне насыщен. Максимальная температура $t_h = 50°$.

По таблице VII воздух, насыщенный при 30° только на $^3/_4$, — был бы при 25° вполне насыщен тем же количеством влаги.

В таблице III под наивысшей температурой $t_h = 50°$ при $t_a = 25°$ находим требуемые данные для вполне насыщенного парами при 25° воздуха, которые пригодны без изменения для воздуха в 30° и только на $^3/_4$ насыщенного, а именно: $t_n = 30°$, $L = 13{,}700$ *кг*, вес влаги $Ld_a = 276{,}74$ *кг*, объем наружного воздуха $= V_{La} = 11970$ *куб. м*, объем нагретого воздуха $= V_{Lh} = 12845$ *куб. м*, объем выходящего воздуха $= V_{Ln} = 12267$ *куб. м*.

Расход тепла равен указанному в таблице 84625 кал., уменьшенному на: $L\ (0{,}2375 + d_a\ 0{,}475)\ 5 = (13700 \cdot 0{,}2375 + 276{,}7 \cdot 0{,}475)\ 5 = 16925$ калорий, т.-е. общий расход тепла $= 84625 - 16925 = 67700$ калорий.

D. Прямой ток и противоток.

Уравнения 8, 10 и 12 пригодны как для случая, когда высушиваемый материал и воздух перемещаются по сушильному пространству в одном и том же направлении (так называемый прямой ток), так и для случая, когда они перемещаются встречно — в прямо противоположных направлениях (так называемый противоток).

Высушенный материал, наиболее подвергающийся опасности, приходит при противотоке в соприкосновение с наиболее горячим воздухом, а при прямом токе — с уже охлажденным отработавшим воздухом; последнее, естественно, при чувствительных материалах, лучше. При прямом токе горячий воздух встречает самый влажный материал, а охлажденный уже воздух оставляет материал еще несколько влажным. Для чувствительных тел, которые после высушивания могут содержать еще некоторое количество влаги, применение прямого тока само собою напрашивается; но материалы, которые должны быть сполна высушены, чаще требуют противотока, при котором к уже почти высушенному материалу подводят самый сухой воздух, жадно впитывающий влагу. При прямом же токе горячий воздух встречает самую влажную массу, отчего последняя на своей поверхности может скоро высохнуть, что не всегда допустимо.

При процессах сушки различных тел с их разнообразными свойствами нужно выполнять так много различных условий, что не представляется возможным дать общие руководящие правила ни по отношению к применяемым температурам воздуха, ни по отношению к тому или другому направлению тока его. По существу, в отношении расхода тепла, эти методы не имеют никаких преимуществ друг перед другом, впрочем, более высокие температуры отходящего воздуха часто дают возможность при прямом токе достигнуть экономии.

Здесь следует несколько примеров подсчета, при которых предположено, что должно удалить сушкою $w = 100$ *кг* воды, применяя вполне насыщенный парами воздух при $t_a = 20°$ C,

и что к высушиваемому материалу во всех случаях подведено $C_n = 65000$ калорий, один раз с применением противотока, при наивысшей температуре воздуха $t_h = 30 — 90°$ С, и затем в прямом токе при температуре уходящего воздуха $t_h = 30 — 90°$ С. Незначительность различия в отношении расхода воздуха и тепла при обоих методах совершенно ясно выступает.

Примеры

								Единицы мер
$C_r + C_g + C_w + C_a = C_n =$	65000	65000	65000	65000	65000	65000	65000	калор.
Наивысшая температура воздуха, приходящего в соприкосновение с высушиваемым материалом . . . . =	30	40	50	60	70	80	90	° C

Противоток

Максимальная температура воздуха . . . . . $t_h =$	30	40	50	60	70	80	90	° C
Наружная температура воздуха . . . . . $t_a =$	20	20	20	20	20	20	20	° C
Вес пара . . . . . $d_a =$	0,0148	0,0148	0,0148	0,0148	0,0148	0,0148	0,0148	кг
Конечная температура . $t_n =$	26	29	31,2	34	36	37,5	40	° C
Соотв. конечн. вес пара $d_n =$	0,0163	0,0190	0,0216	0,0255	0,0288	0,0310	0,0351	кг
Вес воздуха . . . . . $L =$	66666	24000	14700	9345	7148	6172	4950	кг
Расход тепла . . . . . $C_s =$	160000	116200	105800	89700	85680	83880	82160	калор.

Прямой ток

Наружная температура . $t_a =$	20	20	20	20	20	20	20	° C
Вес пара . . . . . $d_a =$	0,0148	0,0148	0,0148	0,0148	0,0148	0,0148	0,0148	кг
Конечная температура воздуха . . . . . $t_n =$	30	40	50	60	70	80	90	° C
Соотв. вес пара . . . . $d_n =$	0,0205	0,0351	0,0651	0,109	0,189	0,317	0,700	кг
Наивысшая температура воздуха . . . . . $t_h =$	45	94	183	308	528	875	1890	° C
Вес воздуха . . . . . $L =$	17540	4926	1988	1062	575	331	146	кг
Расход тепла . . . . . $C_s =$	105000	87320	77430	73150	70100	67880	65500	калор.

О приблизительных температурах, которые соответствовали бы содержащемуся в теплом воздухе перегретому пару, если бы он был насыщен, можно получить данные в IX таблице.

Дымовые газы содержат всегда водяные пары, которые частью были введены вместе с воздухом, служащим для сжигания топлива, а частью образовались во время горения; они могут, отдавая свое тепло воде, принять в себя еще значительные количества паров. До тех пор, пока температура дымовых газов не ниже 100°, пар в них (при атмосферном давлении) перегрет, следовательно, нет состояния насыщения, и в пределах температур между 100 и 1000° может существовать смесь в любом соотношении между перегретым паром и воздухом.

Когда высоко нагретый воздух или дымовые газы содержат так много влаги, что они при выходе насыщены ею, то температура полученной в результате смеси пара с воздухом лежит практически всегда ниже 100° С (т.-е. $t_n < 100°$).

Например, по уравнению (10) для $t_h = 900$, $t_n = 20$, $d_a = 0{,}0148$, $w = 100$ *кг* $C_n = 65000$ калорий, получаем температуру отработавшего воздуха $t_n = 72°$ и $d_n = 0{,}328$; вес воздуха $L = 319$ *кг*, полный расход тепла $C_s = 67457$ калорий.

Если поддерживать температуру отходящего воздуха $t_n = 100°$, то получается $d_n = 0{,}304$ *кг*.

$L = 346$ *кг*, $C_s = 76390$ калорий.

Если $t_n = 150°$, то

$d_n = 0{,}2998$ *кг*, $L = 351$ *кг*, $C_s = 78071$ калорий.

Таким образом и при сушильных аппаратах с применением прямого тока и дымовых газов следует стремиться выпускать отработавший воздух по возможности насыщенным и с температурой ниже 100° С.

Из приводимой ниже небольшой таблички можно получить приблизительные объемы 1 *кг* воздуха с содержанием 0,1—0,5 *кг* водяных паров при температурах от 100 до 150°:

1 *кг* воздуха с занимает при $t_h° =$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5 *кг* пара
			объем в		
100°	1,221	1,386	1,551	1,726	1,881 *куб. м*
110°	1,245	1,422	1,590	1,761	1,926 „
120°	1,283	1,459	1,630	1,806	1,958 „
130°	1,300	1,501	1,674	1,837	2,030 „
140°	1,350	1,540	1,720	1,909	2,085 „
150°	1,378	1,571	1,751	1,950	2,125 „

5. Некоторые соотношения между воздухом и водяными парами, вытекающие из предыдущего.

Таблицы X, XI, XII, XIII.

Для некоторых соображений весьма удобно иметь готовые данные о количестве воздуха, могущем содержать при различных степенях насыщения и температурах один *кг* водяных паров, для чего составлена таблица X при помощи таблиц I и IV.

Пример 10. При 0° 1 *кг* воздуха (на $^3/_4$ насыщенный) содержит 0,00288 *кг* воды (табл. IV) следовательно, $\frac{1}{0{,}00288} = 347$ *кг* воздуха содержат 1 *кг* воды. Вес сухого воздуха в 1 *куб. м* = $= 1{,}286$ *кг*, следовательно, 347 *кг* воздуха занимают объем $\frac{347}{1{,}286} = 269$ *куб. м*.

Таблица XI показывает вес 1 *куб. м* воздуха и пара при различных степенях насыщения и температурах.

Пример 11. При 0° и $^3/_4$ насыщения, воздух в 1 *куб. м* весит 1,286 *кг*, а пар в 1 *куб. м* — 0,00372 *кг* (таблица IV). Сумма весов 1 *куб. м* воздуха и пара — 1,28972 *кг*.

Таблица XII дает объемы в *куб. м*, занимаемые 1 *кг* воздуха при температурах от $-20°$ до $+100°$, при барометрическом давлении в 760 *мм* и при разных степенях насыщения (вполне насыщенный, $^3/_4$, $^1/_2$, $^1/_4$, совершенно сухой).

Таблица XIII показывает до какой температуры нужно охладить насыщенный до $^3/_4$, $^1/_2$, $^1/_4$ один *куб. м* воздуха, чтобы при том же содержании воды воздух

был вполне насыщен. (Таблица VIII составлена по этой таблице и ясна без особых разъяснений).

Пример 12. 1 *куб. м* воздуха при 45° содержит 0,0146 *кг* воды и насыщен на $^1/_4$ (графа 11) а при 20° — вполне насыщен (графа 10). Если 1 *куб. м* воздуха при 45°, имея 0,0656 *кг* воды, насыщен на $^3/_4$, то при 60° он насыщен только на $^1/_2$ (графы 1, 7 и 8).

Таблица XIV дает содержание тепла в 1 *куб. м* воздуха при различных степенях насыщения между — 20° и + 100° (считая от 0°). Эта таблица в некоторых случаях весьма удобна для определения потребного расхода тепла.

Графа 2 этой таблицы показывает содержание тепла в 1 *кг* совершенно сухого воздуха; например, при 50° 1 *кг* воздуха содержит (считая от 0°) $= L \cdot 0{,}241 \cdot 50 = 12{,}05$ калорий (при $L = 1$). Графы 3, 4, 5, 6 указывают общее количество тепла, содержащегося в 1 *кг* воздуха при $^1/_1$, $^3/_4$, $^1/_2$ и $^1/_4$ насыщения.

Числа этой таблицы служат для составления диаграммы V, из которой можно получить,—и удобнее, чем из таблицы XIV,—как фактическое содержание тепла в I *кг* различно насыщенного воздуха, так и требующееся количество тепла для нагрева или охлаждения до определенной степени. Абсциссы дают температуры, а ординаты—калории.

Например, 1 *кг* наполовину насыщенного воздуха при 50° С содержит 36,25 калорий, на $^3/_4$ насыщенный воздух при 80° — 212,5 калорий. Чтобы превратить первый в последний, нужно подвести еще 212,5 — 36,25 = 176,25 калорий, наоборот, чтобы последний превратить в вполне насыщенный при 50°, нужно отнять 212,5 — 65,98 = 146,52 калорий.

6. Расчет потребного весового количества воздуха и его объема, а равно и наименьшего расхода тепла для сушильных аппаратов с предварительно подогретым и в аппарате поддержанным при постоянной температуре воздухом.

Таблицы XV, XVI, XVII.

До сих пор мы предполагали, что применяемый для сушки воздух раньше, чем он попадает в аппарат, подогревается до допустимой температуры, отдает часть тепла в аппарате для испарения влаги высушиваемого материала и оставляет поэтому сушильный аппарат с более низкой температурой, чем он вступил в него.

Вследствие сего, уходящий воздух может увлечь с собой только количество водяных паров, соответствующее его пониженной температуре выхода. Если же в сушильном аппарате сообщить воздуху еще столько же тепла, сколько он отдал на испарение воды, таким образом, чтобы воздух мог оставить сушку с той же температурой, с какой он в нее вступил, то естественно он будет в состоянии воспринять в 1 *кг* своего веса больше влаги, чем в первом случае.

Таблицы XIV, XV, XVI и XVII содержат данные о том, сколько воздуха и тепла необходимо, чтобы высушить 100 *кг* воды, если наружный воздух раньше, чем поступить в сушку, будет нагрет до желаемой более высокой температуры и затем в самой сушке, путем постоянного добавочного введения теплоты, температура его будет поддерживаться все время на той же высоте.

Пример 13. Нужно высушить 100 *кг* воды при помощи воздуха, вступающего в аппарат и выходящего из него с температурой в 50° С, если наружный воздух вполне насыщен паром при 0°, а уходящий при 50° — только до $^3/_4$:

1 *кг* насыщ. при 0° воздуха содержит 0,00387 *кг* воды (табл. I),
1 *кг* на $^3/_4$ насыщ. при 50° возд. содержит 0,0651 *кг* воды (табл. IV).

Следовательно, 1 *кг* воздуха при этих обстоятельствах может поглотить:

$$0{,}0651 - 0{,}00387 = 0{,}06123 \text{ кг воды.}$$

Чтобы поглотить 100 *кг* воды, потребуется поэтому:

$$\frac{100}{0{,}06123} = 1634 \text{ кг воздуха.}$$

1634 *кг* воздуха содержат при 0° $= 1634 \cdot 0{,}00387 = 5{,}996$ *кг* воды.
Объем 1634 *кг* сухого насыщенного при 0° воздуха:

$$V_L = \frac{1634}{1{,}2832} = 1272 \text{ куб. м (табл. I).}$$

Объем 1634 *кг* сухого воздуха при 50° ($^3/_4$ насыщенного):

$$V_L = \frac{1634}{0{,}994} = 1644 \text{ куб. м (табл. IV).}$$

Потребное количество тепла составляется из теплоты для нагрева C_L внешнего воздуха L и содержащейся в нем воды Ld_a с 0° до 50°:

$$(L \cdot \lambda + Ld_a \cdot \delta) \cdot 50 = C_L = (1634 \cdot 0{,}2375 + 5{,}996 \cdot 0{,}475)\, 50 = 19550 \text{ калорий,}$$

и далее из теплоты C_2 для испарения влаги высушиваемого материала:

$$w \cdot c = C_2,$$

$$100 \cdot 621{,}75 = 62175 \text{ калорий,}$$

а всего:

$$19550 + 62175 = 81725 \text{ калорий.}$$

Сюда нужно еще прибавить количество теплоты, потребное для нагрева высушенного материала и оборудования, а также на потери от лучеиспускания.

7. Сушильные аппараты, внутри которых искусственно поддерживается более высокое или более низкое давление, чем в окружающей среде.

Таблицы XVIII, XIX, XX.

При этом следует иметь в виду, что более высокое давление внутри сушки вызывается только увеличением плотности воздуха, но не увеличением плотности пара, которая зависит исключительно от температуры, но не от общего давления. Если удалить пар из пространства (занимаемого смесью воздуха и пара), то общая упругость уменьшится на величину упругости пара. Применяя при этом высокое давление, приходится употребить большее количество воздуха, которое должно предварительно подогреть, а, значит, и расход тепла будет больший, чем при нормальном давлении.

Иначе обстоит вопрос при применении в сушильных аппаратах разрежения. Вес насыщенного водяного пара, который данный объем может содержать, не зависит от присутствия или отсутствия воздуха и всегда для определенной температуры постоянен. Значит, в разреженном пространстве на единицу веса воздуха может находиться больше насыщенных паров, чем в случае атмосферного или повышенного давления. Отсюда следует, что в разреженном пространстве требуется меньше воздуха для принятия того же количества водяных паров, а так как это уменьшенное количество воздуха должно отдать высушиваемой массе для испарения того же количества воды то же самое количество теплоты, то, значит, этот воздух оставит сушку с более низкой температурой, и, следовательно, общий расход тепла при этой работе будет меньше, чем в пространстве, наполненном большим количеством воздуха.

Таблица I содержит в графах 13, 14 и 15 данные для расчета установок при давлении в $^1/_2$ атмосферы сверх нормального (1140 *мм*) и в графах 16 — 21 данные для подсчета тех случаев, когда в сушильных пространствах господствует разрежение в 510 или 260 *мм*, что соответствует абсолютному давлению в 250 и 500 *мм*. Эти данные выведены из формул 8 — 10, для d_a берут значение из графы 18 или 21 для случая разрежения и из графы 15 для случая повышенного давления.

Пример 14. Нужно испарить 100 *кг* воды, максимальная температура воздуха $t_h = 70°$ наружный воздух имеет $t_a = 0°$ и при абсолютном давлении в сушильном пространстве $q = 500$ *мм*. Нужно высчитать: температуру уходящего воздуха t_n, потребное количество воздуха L, его объем V_{La} перед вступлением, V_{Lh} — после нагрева, V_{Ln} — при выходе и расход тепла C_s.

Подставим в уравнение (10):

$$t_h = 70,\ d_a = 0{,}00387 \text{ (табл. I, графа 11)},\ w = 100,\ C_n = 62500,$$

тогда правая сторона будет:

$$\frac{62500}{100\,(0{,}2375 + 0{,}00387 \cdot 0{,}475)} = 2616.$$

Левая часть уравнения 10 после пробных подстановок разных значений из табл. I, графа 18, даст для $d_n = 0{,}0230$ (при температуре $t_n = 20°$)

$$\frac{70 - 20}{0{,}0230 - 0{,}00387} = 2613.$$

Температура выходящего из сушки воздуха $t_n = 20°$.

Вес воздуха следует из уравнения (8):

$$L = \frac{w}{d_n - d_a} = \frac{100}{0{,}0230 - 0{,}00387} = 5235 \text{ кг}.$$

Вес первоначальной влажности (Ld_a) в этом воздухе:

$$L \cdot d_a = 5235 \cdot 0{,}00387 = 20{,}2 \text{ кг}.$$

Вес первоначальной влажности (Ld_a) в этом воздухе:

$$Ld_a = 5235 \cdot 0{,}00387 = 20{,}2 \text{ кг}.$$

Объем внешнего воздуха:

$$V_{La} = \frac{5235}{1{,}2832} = 4075 \text{ куб. м}.$$

Объем нагретого до 70° воздуха:

$$V_{Lh} = \frac{273 + 70}{10336 \cdot \frac{500}{760}} - (29{,}27 \cdot 5239 + 46{,}83 \cdot 20{,}2) = 7782 \text{ куб. м.}$$

Объем уходящего из сушки воздуха:

$$V_{Ln} = \frac{5235}{0{,}765} = 6843 \text{ куб. м.}$$

Наконец, для нагрева воздуха потребно теплоты C_s:

$$C_s = (5235 \cdot 0{,}2375 + 20{,}2 \cdot 0{,}475) \cdot (70 - 0) = 87640 \text{ калорий.}$$

В таблице XVIII и XIX имеются для наружных температур — 20°, ± 0°, + 30° и для температур нагрева воздуха $t_h = 35°$, 50°, 70°, 100° и 130° данные о необходимых для высушивания 100 *кг* воды весовых количествах воздуха, его объемов, температур уходящих газов и числа калорий.

Из таблиц (XIX и XX) можно усмотреть, в особенности при сравнении с числами таблицы III, что при высушивании в разреженном пространстве, особенно, при сравнительно высокой температуре наружного воздуха, экономия в расходе тепла возрастает, и расход тепла бывает даже меньше теоретически потребного. Это и понятно, если принять в соображение, что теплый наружный воздух (напр., 30°), уходящий затем из сушки с более низкой температурой, отдает часть своего тепла, на которое не было затрачено калорий в обогревательном аппарате. Экономия особенно велика, если допустимая максимальная температура нагрева низка, напр., лишь 40 — 50°.

По теоретическим соображениям сушки, работающие под разреженным пространством, во всех отношениях выгодны. Следует, однако, сказать, что необходимость строить эти аппараты так, чтобы их стенки могли сопротивляться давлению атмосферы, и необходимость следить за герметичностью стен аппарата, а также затраты на получение вакуума и поддерживание его в сушках вызывают особые расходы, которые в каждом отдельном случае могут быть определены и которые часто могут быть больше, чем получаемая экономия в топливе.

8. Графический способ расчета воздушных сушильных аппаратов.

Диаграммы VI и VII.

Не представляет никакого затруднения составить диаграммы, по которым можно отсчитывать простейшим образом главнейшие данные для сушки воздухом или дымовыми газами, а именно: необходимый расход тепла, вес, объем и температуру воздуха, как это и изображено на диаграммах VI и VII. Из них диаграмма VI дает производительность 1 *кг* воздуха в пределах температур от — 10° С до + 130° С, нанесенных на ось абсцисс. Ординаты обозначают тепловые калории.

Раньше всего проведена прямая *OB*, представляющая содержание тепла в 1 *кг* сухого воздуха при — 10° С до + 130° С ($t \cdot 0{,}24$), и затем нанесены линии *OC*, *OD*, *OE*, *OF*, которые, начиная от *OB* вверх, изображают количество теплоты

в паре, содержащемся в 1 *кг* воздуха, вполне насыщенном, на $^3/_4$, на $^1/_2$, на $^1/_4$, согласно таблицы XIV. Длина ординаты от абсциссы до какой-нибудь точки этих нанесенных линий дает полное количество тепла в одном *кг* воздуха с содержащимся в нем паром при заданной степени насыщения. Затем нанесены выше полные количества тепла в воздухе, содержащем 0,01 — 0,02 — 0,03 — 0,04 — 0,05 — 0,06 *кг* пара при температурах — 10° С до + 130° С, а промежутки между этими прямыми разделены но 10 равных частей. При этом предполагают, что 1 *кг* пара (который, если воздух не совсем им насыщен, нужно рассматривать как перегретый) содержит $610 + (t_a - 10)$ 0,475 калорий.

Пунктирной линией *JK* даны объемы 1 *кг* сухого воздуха по таблице XII в *куб. м*, а 4-мя над ней проведенными пунктирными линиями даны объемы содержащегося в воздухе пара при степенях насыщения в $^1/_4$, $^1/_2$, $^3/_4$ и полной при температурах абсциссы. (Масштаб увеличен в 10 раз).

Применение этой диаграммы очень несложно.

Пример 15. Нужно высушить 100 *кг* воды. Воздух имеет температуру в 20° С (*a*) и наполовину насыщен (*b*), тогда 1 *кг* воды содержит 9,32 калории. Этот воздух нагревают до 100° (*c*), и тогда содержание тепла возрастает до 29 калорий. Из этого количества теряется около 10% = 3 калор. на нагрев высушиваемого материала и разные потери, так как для процесса сушки остается еще 29 — 3 = 26 калорий (*d*). Отработавший воздух при степени насыщения в $^3/_4$ (*e*) имеет температуру 36,25° (*f*). Один *кг* воздуха содержит при 20° только 0,0074 *кг* воды, при 36,25 — 0,0275 *кг* (*g*), таким образом, воздух принял 0,0275 — 0,0074 = 0,0201 *кг* воды. Отсюда следует, что для поглощения 100 *кг* воды нужно 4760 *кг* воздуха. Объем воздуха при

	20°	36,25°	100°
для	1 *кг* = 0,84	0,91 (*h*)	1,06 (*i*) *куб. м*
„	4760 *кг* = 4000,0	4332	5046 *куб. м*.

Весь расход тепла равен 4760 (29 — 9,32) = 93296 кал. Из этого количества теряется 3 · 4760 = = 13280 калор. Значит, расход на чистую работу сушки = 80016 *кг*.

Диаграмма VII дает производительность 1 *кг* дымовых газов в пределах температур от 100 до 1000° С. И здесь на абсциссе отложены температуры, на ординатах калории, а *OB* изображает содержание тепла в 1 *кг* сухого воздуха при 0° — 1000° С, при удельной теплоте $\lambda = 0{,}25$. Из точки *O* поверх прямой *OB* и здесь нанесены количества калорий в паре, содержащемся в 1 *кг* воздуха при $^1/_1$, $^3/_4$, $^1/_2$, $^1/_4$ степени насыщения, - на линиях *oe* (по таблице XIV), здесь близко смыкающихся, затем так же, как и на диаграмме VI, и здесь нанесены поверх *OB* содержания тепла в воздухе, содержащем 0,1 — 0,2 — 0,3 — 0,4 — 0,5 *кг* пара, и промежутки разделены на 10 равных частей. Прямая *DE* дает содержание тепла в паре, образовавшемся в дымовых газах при сгорании, которое = 0,033 *кг* в 1 *кг* дымовых газов, считая удельную теплоту в 0,475. Шесть пунктирных линий внизу обозначают объем 1 *кг* дымовых газов с содержанием 0,1 — 0,5 *кг* пара (в большом масштабе).

Пример 16. 1 *кг* дымовых газов в 1000° С с 285,5 калор. (*a*) понизил температуру вследствие потери при сушке материала от лучеиспускания и пр. до 800° С, содержа уже только 232 кал. (*b*). Если дымовые газы затем охлаждаются от поглощения воды до полного насыщения (*c*), то они еще имеют температуру в 72,5° С (*d*) и содержат 0,33 *кг* пара (*e*), поглотив таким образом 0,33 — 0,033 = 0,297 *кг*. Чтобы впитать 100 *кг* воды, потребуется поэтому

$\frac{100}{0,297} = 336,7$ *кг* дымовых газов. Расход тепла был $232.336,7 = 78114,4$ кал., или вместе с потерями $285,5 \cdot 336,7 = 96128$ кал.

Объем 1 *кг* газа с содержащимися в нем парами воды при 1000 — 800 — 72,5° С соответственно 3,8 — 2,27 — 1,5 *куб. м*, таким образом, всего для поглощения 100 *кг* воды эти объемы будут 1289 — 764,3 — 505,5 *куб. м*.

9. Утилизация тепла, уносимого из сушильного пространства.

Теплота из сушильного пространства уносится с одной стороны теплым воздухом, уносящим испарения, а с другой — высушенными материалами и поддержками, на которых материал лежит. Желательно, конечно, использовать и ту и другую теплоту.

А. Использование теплоты влажного воздуха.

Один из приемов использования теплоты уходящего воздуха, заключается в применении его для подогрева свежего наружного воздуха, для чего пользуются обогревательными аппаратами, состоящими из широких труб, омываемых с обеих сторон воздухом: с одной стороны (напр., внутренней) уходящим нагретым, а с другой (наружной)—свежим холодным воздухом.

Эффект этого метода зависит от разницы температур того и другого воздуха. При очень малой разнице размер труб для обмена тепла между тем и другим воздухом должен быть так велик, что затраты на них уничтожат экономию. Но и при значительной разнице температур, конечно, не все количество уносимого тепла может быть утилизировано, так как теплый воздух не понизит своей температуры до температуры наружного, и никогда наружный не сможет принять температуру уходящего теплого воздуха. В главе о конструкциях разных сушильных аппаратов будут описаны и такие аппараты, где этот принцип с успехом применяется. При расчетах таких установок можно сообразно местным условиям задаться целью использовать $^3/_4 — ^1/_2 — ^1/_4$ уносимой из сушки теплоты. Экономичны такие установки могут быть только при большой разнице температур выходящего и наружного воздуха (не менее 100°).

В. Утилизация тепла, уносимого из сушки высушенным материалом и соответственным оборудованием.

Здесь возможны два пути: 1) теплотой оставляющих сушильное пространство горячих, совершенно сухих материалов, оборудования, вагонов и пр. подогревают наружный холодный воздух, который затем уже, как обычно, нагревается в обогревательных камерах до наивысшей температуры, с каковой он и вступает в сушильный аппарат.

Или же, 2) когда материал в сушке подвергается не полному высушиванию, холодный воздух подогревается еще влажным теплым материалом (остатком от высушивания) и теплым оборудованием, и этот подогретый воздух применяется тут же для окончательного удаления влаги, оставшейся в материале.

Конечно, как уже было указано, не всю уносимую из сушки теплоту удается этими методами использовать, и уже будет очень выгодно, если $^3/_4$ этой теплоты будут использованы.

В первом случае, принимая наивысшую и наименьшую температуры высушенного материала (R) и оборудования (G) равными t_h и t_z и содержание в них тепла $C_r + C_g$, получаем $C_r + C_g = (t_h - t_z)\ (R\sigma_r + G\sigma_g)$, где σ_r и σ_g — удельная теплота. Использовать можно, конечно, только часть этой теплоты, а именно $\beta\ (C_r + C_g)$ и подогреть наружный воздух до температуры t_m.

Если количество воздуха обозначим через L, то уравнение:

$$L\ (t_m - t_a)\ \lambda = \beta\ (C_r + C_g) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (18)$$

дает значение для t_m, при чем β из предосторожности не следует брать больше 0,75 а вернее 0,50 и ниже.

Во втором случае использование тепла можно иллюстрировать лучше всего на примере канальной сушки (см. рис. 2). Вагончики с высушиваемым материалом передвигаются по каналу в одном направлении слева направо, а воздух, вступая одновременно с обоих концов канала, отсасывается по середине канала. На том конце (левом), где вступает в канал свежий материал, помещаются также и обогревательные приспособления для воздуха, или же он подогревается предварительно, до входа в канал. В левой части канала материал успевает от нагретого воздуха более или менее высохнуть и вступает, пройдя по середине мимо пункта отсасывания воздуха, еще горячим, вместе с оборудованием во вторую (правую) часть канала, в конце которого материал вполне высушенный оставляет сушильное устройство, будучи охлажденным в правой части свежим воздухом, нагревающимся теплотой материала и оборудования, направляющимся к месту выхода, в середине канала, и отнимающим тепло и последние следы влаги у материала.

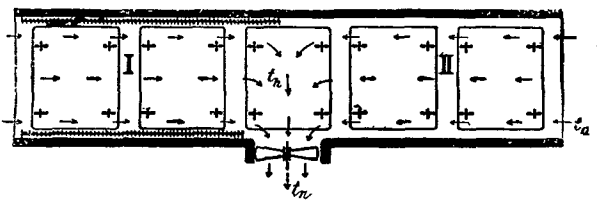


Рис. 2.

Пример 17. Материал и оборудование имеют температуру $t_h = 60°$. Содержание тепла в них примем равным половине потребного для испарения 100 *кг* воды ($C = 600$) количества теплоты, т.-е. $60000 \cdot 0{,}5 = 30000$ калорий. Вступающий воздух должен использовать $^3/_4 \times 30000 = 22500$ калорий.

Холодный насыщенный воздух имеет $t_a = 0°$ и нагревается материалами и оборудованием до $t_m = 45°$, тогда 1 *кг* воздуха для нагрева своего от 0 до 45°, по таблице XIV и диаграмме III потребует 38 калорий. Следовательно, можно нагреть

$$L_2 = \frac{22500}{38} \cong 600\ кг\ \text{воздуха},$$

которые, считая, что 1 *кг* может принять в себя 0,0476—0,00387 = 0,04373 *кг* воды, могут принять воды из материалов: 26,22 *кг*.

10. Сушка перегретым паром без воздуха.

Таблица XXI.

Следует сделать еще один шаг и совершенно удалить воздух из сушки, производя высушивание только паром.

На рис. 3 схематически изображено, как отработавший воздух из сушки (T) прогоняется вентилятором (V) через обогревательную поверхность (H) и вгоняется опять в место вступления горячего воздуха в камеру (T), так что смесь воздуха с парами делает круговую, многократную циркуляцию. Вся установка оборудована по возможности герметически и хорошо защищена от потерь тепла. Между выходом из сушки и вступлением в вентилятор имеется клапан (K), управляемый снаружи, при помощи которого можно выпустить из сушки воздух и пар, как только внутри образуется давление, превышающее заранее определенно-установленное.

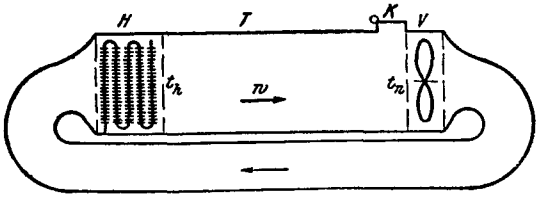


Рис. 3.

Когда пускают в ход вентилятор, начинается круговая циркуляция смеси воздуха и паров, которая делается все теплее и теплее и впитывает в себя все больше и больше водяных паров, отчего и растет внутреннее давление до тех пор, пока оно в состоянии будет открыть клапан (K), и выпустить часть воздуха и паров. Через некоторое время весь воздух, находившийся в сушке, будет выпущен оттуда и в круговой циркуляции будет участвовать один только пар, равномерно удаляемый через клапан (K) наружу.

Известно, что присутствие воздуха в паре сильно мешает теплопередаче как при нагревании, так и при охлаждении или конденсировании. Поэтому всегда стремились по возможности освобождать пар от содержащегося в нем воздуха, ибо только тогда единица площади соприкосновения дает максимальную теплопередачу. Это обстоятельство также указывает на выгодность только-что описанного метода сушки без воздуха.

Для иллюстрации сделаем примерный расчет весового количества пара и его объема, нужного для испарения $w = 100$ *кг* воды (при различных давлениях в сушке). Расход тепла (не считая потерь) равен теоретически необходимому, т.-е. (считая температуру материала, с которой он вступает в сушку $= +15°$):

$$C_s = (640 - 15)\, w = 62500 \text{ калорий} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (19).$$

Потребный для испарения w *кг* воды вес перегретого пара D получается из тех соображений, что количество тепла, нужное для испарения w *кг* воды, должно равняться тому количеству теплоты, которое пар в состоянии отдать, переходя из состояния перегрева в температурное состояние, существующее в аппарате, а отсюда следует уравнение:

$$C_s = w\,(640 - 15) = D\,\delta\,(t_h - t_n) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (20),$$

в котором

D = вес перегретого пара в *кг*,

δ = удельная теплота пара при постоянном давлении = 0,475,

t_h = наивысшая температура,

t_n = господствующая в аппарате температура.

Пример 18. Нужно испарить $w = 100$ *кг* воды; $t_h = 110°$, $t_n = 100°$, тогда по уравнению (33)

$$D \cdot 0{,}475\ (110-100) = 100\ (640-15) = 62500 \text{ калорий},$$

следовательно:

$$D = 13157 \text{ кг}.$$

Объемы V_{dn} и V_{dh} этого пара перед нагреванием и после него получим из уравнения (13)

$$\frac{V}{273+t} = R \qquad V = \frac{R \cdot (273+t)}{p},$$

где t = температура, R = постоянная величина = 46,83 (по Г. Шмидту) для перегретого водяного пара, V = объем 1 *кг* пара, p = давление пара в *кг/м²*;

p для атмосферного давления = 10336, а для всякого другого давления q в *мм* ртутного столба по уравнению (4):

$$p_1 = \frac{10336 \cdot q}{760}.$$

Объем перегретого пара:

$$V_{dh} = \frac{D \cdot 46{,}83\ (273+t_h)}{\frac{10336 \cdot q}{760}} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ (21)$$

Объем пара до перегрева:

$$V_{dn} = \frac{D \cdot 46{,}83\ (273+t_n)}{\frac{10336 \cdot q}{760}} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ (22)$$

Пример 19. Для вышеуказанного случая:

$$p = 10336,\ t_h = 110°,\ t_n = 100°,$$

$$V_{dh} = \frac{D \cdot 46{,}83\ (273+110)}{10336} = 1{,}735 \cdot 13157 = 22827 \text{ куб. м}.$$

$$V_{dn} = \frac{D \cdot 46{,}83\ (273+100)}{10336} = 1{,}689 \cdot 13157 = 22422 \text{ куб. м}.$$

В таблице XXI приведены необходимые для испарения 100 *кг* воды вес паров (D и их объемы Vd_h и Vd_n, при работе с атмосферным давлением, при меньшем (148—288—525 *мм* ртутного столба) и более высоком давлении (1,4—2—2,75—3,5 атмосферы).

11. Сушка топочными газами.

Таблица XXII [1]).

A. Горючие газы без примесей.

Некоторые влажные вещества не портятся от непосредственного действия на них горючих газов. В таблице XXII приведены результаты важнейших теоретических соображений, которые касаются требований, предъявляемых к такого рода установкам.

Пример 20. 1 *кг* жирного угля содержит, например, 0,766 *кг* углерода и 0,041 *кг* водорода. С углеродом соединяется:

$\frac{32}{12} 0{,}766 = 2{,}043$ *кг* кислорода и образуется: $0{,}766 + 2{,}043 = 2{,}809$ *кг* угольной кислоты.

[1]) E. Hausbrand, Oesundheits-Ingenieur Nr. 22, 1901.

С водородом соединяется: $\frac{16}{2} \cdot 0{,}041 = 0{,}328$ *кг* кислорода и образуется $0{,}041 + 0{,}328 = 0{,}369$ *кг* воды.

Подведено 20,2 *кг* воздуха, которые (табл. XXII) содержат 4,76 *кг* кислорода и 15,44 *кг* азота; поэтому остаются несвязанными $4{,}76 - (2{,}043 + 0{,}348) = 2{,}389$ *кг* кислорода и 15 *кг* азота.

Вода, заключающаяся в воздухе + вода, содержащаяся в горючем, + образовавшаяся от горения топлива дают:

$$0{,}1616 + 0{,}163 + 0{,}369 = 0{,}693 \text{ кг воды.}$$

Из 1 *кг* жирного угля и 20,2 *кг* воздуха с 0,163 *кг* воды получается таким образом (таблица XXII):

Строка	12	2,809 угольной кислоты (CO_2)
„	16	2,389 кислорода (O)
„	17	15,440 азота (N)
„	18	0,693 воды (H_2O)
Строка	20	21,331 *кг* газа и пара (табл. XXII).

Расход тепла. Сжигая 1 *кг* углерода (C) в угольную кислоту (CO_2), мы освобождаем 8080 калорий. Сжигая 1 *кг* водорода (H) в воду (H_2O), освобождаем (если продукты горения остаются газообразными) 28780 калорий. Отсюда получаем количество тепла, образовавшегося при горении 1 *кг* горючего (строка 23 таблица XXII).

Температуру (строка 24) продуктов горения находим, исходя из следующих соображений: освобождающиеся вышеуказанные 8080 и 28780 калорий должны распространиться на общее количество продуктов горения. Вода горючего должна превратиться в пар (влажность воздуха сама по себе уже в парообразном состоянии); принимая первоначальную температуру всех веществ в 0°, для сего на 1 *кг* воды нужно 606 калорий, каковое количество должно быть исключено из общего полученного количества тепла, а остаток служит для нагрева газов, паров и золы до некоторой температуры t.

Удельная теплота газов возрастает с растущей температурой их и равна:

Температура °C	Кислород	Азот и окись углерода	Углекислота	Водород	Температура °C	Кислород	Азот и окись углерода	Углекислота	Водород
100	0,2174	0,2484	0,2061	3,43	900	0,2266	0,2583	0,2500	3,58
200	0,2177	0,2488	0,2140	3,48	1000	0,2280	0,2606	0,2568	3,59
300	0,2187	0,2499	0,2217	3,49	1100	0,2293	0,2620	0,2600	3,62
400	0,2199	0,2509	0,2273	3,50	1200	0,2308	0,2638	0,2633	3,64
500	0,2208	0,2523	0,2340	3,51	1300	0,2322	0,2652	0,2656	3,66
600	0,2221	0,2538	0,2388	3,52	1400	0,2337	0,2670	0,2678	3,68
700	0,2237	0,2556	0,2452	3,54	1500	0,2350	0,2684	0,2701	3,69
800	0,2253	0,2573	0,2497	3,56					

Таким образом, для определения температур топочных газов имеем уравнение:

$$t_h = \frac{C \cdot 8140 + H \cdot 28700 - 606\, w_b}{CO_2 \cdot \sigma_c + W \cdot \sigma_w + O \quad \sigma_o + N \cdot \sigma_n + A \cdot \sigma_a} \quad \ldots\ldots (23).$$

Пример 21. Температура продуктов горения 1 *кг* жирного угля, содержащего 0,766 *кг* *C* и 0,041 *кг* *H*, считая, что в топку подведено двойное против теоретически требующегося количества воздуха вычисляется:

$$t_h = \frac{0{,}766 \cdot 8080 + 0{,}041 \cdot 28700 - 0{,}163 \cdot 606}{2{,}809 \cdot 0{,}266 + 0{,}693 \cdot 0\,475 + 2{,}379 \cdot 0{,}233 + 15{,}44 \cdot 0{,}266 + 0{,}03 \cdot 02} = 1280°\ \text{C}.$$

Среднюю удельную теплоту горячей газовой смеси можно найти, если перемножить вес каждой составной части газа на его удельную теплоту, полученные произведения сложить и сумму разделить на общий вес.

Пример 22. Для жирного угля (при 1350° C):

$$\sigma_g = \frac{CO_2 \cdot \sigma_c + W \cdot \sigma_w + O \cdot \sigma_o + N \cdot \sigma_n}{CO_2 + W + O + N} \quad \ldots\ldots (24)$$

$$\frac{2{,}809 \quad 0{,}266 + 0{,}693 \cdot 0{,}475 + 0{,}233 \cdot 2{,}379 + 15{,}44 \cdot 0{,}266}{2.809 + 0{,}693 + 2{,}379 + 15{,}44} = \sigma_g = 0{,}2666.$$

Из известных весов продуктов горения и их удельной теплоты получаем количество калорий (c), потребных для повышения или понижения температуры продуктов горения, образовавшихся из 1 *кг* горючего (принимая двойное против теоретического количество воздуха) на 1° C (строка 26).

Пример 23. 1 *кг* жирного угля дает 21,33 *кг* газа, удельная теплота которого = 0,2479; чтобы это количество нагреть на 1° C требуется:

$$c = 21.33 \cdot 0.2479 = 5{,}288 \text{ калорий}.$$

Удельные веса (строка 27) отдельных отходящих газов, по отношению к воздуху, принятому за 1, будут:

Угольной кислоты	$S_c = 1{,}5921$
Водяного пара	$S_w = 0{,}6233$
Кислорода	$S_o = 1{,}1056$
Азота	$S_n = 0{,}9714,$

отсюда определяем удельный вес всей газовой смеси:

$$s_g = \frac{CO_2 \cdot s_c + W \cdot s_w + O \cdot s_o + N \cdot s_n}{CO_2 + W + O + N} \quad \ldots\ldots (25)$$

Пример 24. Для жирного угля:

$$s_g = \frac{2{,}809 \cdot 1{,}5291 + 0{,}693 \cdot 0{,}6233 + 2{,}379 \cdot 1{,}1056 + 15{,}44 \cdot 0.9714}{2{,}809 + 0{,}693 + 2{,}379 + 15{,}44} = 1{,}044$$

Объем V_g продуктов горения (строка 29) из 1 *кг* горючего, вес которого = G, определяется (при выше высчитанных температурах) из уравнения:

$$V_g = \frac{G\,(1 + a\,t)}{1{,}2932 \cdot s_g} \quad \ldots\ldots (26).$$

Пример 25. Для жирного угля:

$$\frac{21{,}33\,(1 + 0{,}003665 \cdot 1280)}{1{,}2932 \cdot 1{,}044} = 89{,}15 \text{ куб. м}.$$

С помощью до сих пор полученных данных теперь без труда можно подсчитать, сколько воды можно испарить посредством газов из 1 *кг* горючего. При этом нужно различать два случая: когда газы оставляют сушильное помещение с температурой в 100° С и выше и, когда температура уходящих из сушки газов ниже 100° С.

В первом случае вся разница температур первоначального и уходящего газа ушла на испарение отыскиваемого весового количества воды w, а потому нужно только решить следующее уравнение:

$$G \cdot \sigma_g \cdot (t_h - t_n) = w \cdot C \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (27).$$

Для чего нужно знать количество теплоты C, нужное для получения из 1 *кг* воды перегретого пара.

По Цейнеру (Grundzüge der mechanischen Wärmetheorie) общая теплота C, которую 1 *кг* воды требует, чтобы при абсолютной температуре T и атмосферной упругости превратиться в перегретый пар;

$$C = J_o + C_p\left(T - \frac{C}{B}\, p^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}\right) \text{ калорий}, \quad \ldots\ldots \quad (28)$$

где

$$J_o = 476{,}11; \quad C = 192{,}5; \quad B = 50{,}933;$$

$$C_p = 0{,}4805; \quad \frac{k-1}{k} = 0{,}25; \quad p = 10000 = 1 \text{ атм.};$$

$$C = 476{,}11 + 0{,}4805\left(T - \frac{192{,}5}{50{,}93} \cdot 10000^{0{,}25}\right)$$

$$C = 476{,}11 + 0{,}4805\,(T - 37{,}8) \quad \ldots\ldots\ldots \quad (29).$$

Отсюда общее содержание тепла C в 1 *кг* перегретого водяного пара при 1 атм. давления составляет при температурах:

$t_n =$	100°	150°	200°	250°	300°
$C =$	637,07	661,1	685,12	716,36	733,17 калорий.

Если в уравнение (27)

$$w = \frac{G \cdot \sigma_g\,(t_h - t_n)}{c}$$

подставить числовые значения для различных горючих и для предусмотренных температур отходящих газов, то получим данные таблицы XXII (строки 30 — 34) для веса испаренной воды w.

Пример 26. Для жирного угля, когда температура уходящих газов $t_n = 100°$, следует:

$$w = \frac{21{,}33 \cdot 0.2676\,(1280 - 100)}{637{,}07} = 10{,}76 \text{ } кг \text{ воды}.$$

Во втором случае, когда газы оставляют сушку с температурой ниже 100° (что почти всегда экономичнее), то в наивыгоднейшем случае водяной пар, находящийся в газах, будет насыщен. Тогда для определения его веса нужно выполнить ранее приведенные два условия (см. стр. 14 этого экз.) и применить указанный там же метод, т.-е. раньше нужно отыскать температуру отходящих газов и с ее помощью тогда определить количество увлеченных водяных паров.

Уравнение 10:

$$\frac{t_h - t_n}{d_n - d_a} = \frac{C_s}{w\,(0{,}2375 + d_a \cdot 0{,}475)}$$

пригодно здесь, с той только разницей, что вместо примененной там удельной теплоты воздуха ($\lambda = 0{,}2375$) здесь нужно взять удельную теплоту газа σ_g.

Если t_n наперед неизвестна и ее нужно искать, то неизвестно также и C_w, поэтому для определения последнего нужно применить уравнение, где t_n не входит, а это и есть уравнение (11):

$$C_w = w\,(640 - t_u).$$

Поставив это значение в уравнение (10), получим:

$$\frac{t_h - t_n}{d_n - d_a} = \frac{w\,(640 - t_u)}{w\,(\sigma_g + d_a \cdot 0{,}475)},$$

принимая (как это в данном случае всюду предполагалось, $t_u = 0°$) получаем:

$$\frac{t_h - t_n}{d_n - d_a} = \frac{640}{\sigma_g + d_a \cdot 0{,}475} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (30)$$

отсюда можно пробными подстановками определить t_n; но необходимо принять поправку: так как удельный вес газов S_g равен не единице, как при воздухе, а 1,05 (при дереве 0,98; при коксе 1,075; при древесном угле 1,062), то поэтому отходящие газы не могут содержать столько воды, а в среднем только:

$$\frac{1}{1{,}05} = 0{,}9524 \text{ этого количества.}$$

Приняв это во внимание, найдем в таблице I, что 1 *кг* газа может содержать воды при температурах:

	70°	71°	72°	73°	74°	75°	76°	77°	
$d_a =$	0,2799	0,301	0,322	0,343	0,365	0,387	0,420	0,454	*кг*

	78°	79°	80° C	
$d_a =$	0,487	0,520	0,554	*кг*.

По данным таблицы XXII газы из 1 *кг* горючего содержат указанные в строке 10 веса водяных паров; по этим данным 1 *кг* сухого газа уже несет с собой (строка 35) в сушку известное количество воды и нужно определить, сколько этот газ еще может принять из высушиваемого материала, чтобы достигнуть насыщения.

Это определение достигается с помощью только-что приведенных чисел, пользуясь уравнением (30), при чем сперва пробными подстановками определяют t_n (строка 36).

Пример 27. Для жирного угля

$$\frac{1280 - t_n}{d_n - 0{,}0336} = \frac{640}{0{,}266 + 0{,}0336 \cdot 0{,}475} = 2280$$

для $t_n = 81°$, $d_n = 0{,}565$ и тогда получится $= 2270$.

Таким образом, $t_n =$ около 81° C.

С помощью так найденной t_n и пользуясь таблицей I и уравнением (7): $L\ (d_n - d_a) = w$, легко подсчитать принятое газами до полного своего насыщения количество воды (строка 37).

Пример 28. Для жирного угля:

$$w = 20{,}628\ (0{,}5715 - 0{,}0336) = 11{,}24\ кг.$$

Остается еще определить объем смеси газов и пара, оставляющих сушильный аппарат.

Эта смесь составляется из первоначально находившихся при высокой температуре пламенных газов, удельный вес которых (с помощью которого можно определить также и объем этих газов при температуре их образования) помещены в строке 25 и затем из впитанных в себя этими газами водяных паров.

Объем топочных газов V_g при температуре отходящих из сушки газов t_n получаем из уравнения:

$$V_g = \frac{G\ (1 + \alpha\ t_n)}{1{,}2932 \cdot S_g}.$$

Объем впитанных ими и перегретых водяных паров дает формула Цейнера:

$$p \cdot V_d = 50{,}9\ T - 192{,}5 \cdot \sqrt[4]{p} \quad \ldots\ldots\ldots (31),$$

по которой 1 *кг* перегретого пара при давлении в 1 абсолютную атмосферу ($p = 10000$) и при температурах в

$t_n =$	81°	100°	150°	200°	250°	300° С
занимает объем =	1,609	1,706	1,9605	2,215	2,469	2,724 *куб. м.*

Этим путем найдены числа строк 38 — 54.

Пример 29. 1 *кг* жирного угля дает 21,32 *кг* сухих отходящих газов с удельным весом $s_g = 1{,}044$, объем которых при 300° С будет:

$$V_g = \frac{21{,}33\ (1 + 0{,}003665 \cdot 300)}{1{,}2932 \cdot 1{,}044} = 34{,}57\ куб.\ м.$$

Этот газ принимает при 300° С: 7,61 *кг* воды, объем которой в виде перегретого пара составляет:

$$V_d = 7{,}61 \cdot 2{,}724 = 20{,}73\ куб.\ м.$$

Общий объем отходящих из сушки газов и паров для 1 *кг* жирного угля будет:

$$V_n = V_g + V_d = 34{,}57 + 20{,}73 = 55{,}30\ куб.\ м.$$

В. Сушка посредством топочных газов, смешанных с воздухом.

Так как не все материалы, хотя бы и с большим содержанием влаги переносят непосредственное соприкосновение с горячими топочными газами, то эти последние перед впуском их в сушку следует охладить до допустимой температуры t_m, примешивая к ним свежий воздух; необходимо поэтому определить, сколько воздуха нужно в каждом случае прибавить, сколько воды может эта смесь — в сравнении с чистыми горючими газами,—испарить и какова будет температура отходящих газов.

Обозначив через F — вес, σ_f — удельную теплоту, $t_f\ (=t_h)$ температуру горючих газов, через L, σ_L, t_a — те же величины для воздуха, через σ_m и t_m — для смеси получим:

$$(F+L)\ \sigma_m\ t_m = F\cdot \sigma_f\cdot t_f + L\cdot \sigma_L\cdot t_a \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (32)$$

и так как

$$\sigma_m = \frac{F\cdot\sigma_f + L\cdot\sigma_L}{F+L},$$

то следует:

$$(F+L)\left(\frac{F\cdot\sigma_f + L\cdot\sigma_L}{F+L}\right) t_m = F\cdot\sigma_f\cdot d_f + L\,\sigma_L\cdot t_a,$$

а отсюда вес воздуха:

$$L = \frac{F\cdot\sigma_f\cdot(t_f - t_m)}{\sigma_L\,(t_m - t_a)} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (33).$$

Пример 30. Если удельная теплота газа $\sigma_f = 0{,}266$, воздуха $\sigma_L = 0{,}24$, их температуры $t_f = t_h = 1000°$, $t_a = 10°$, то, чтобы получить смесь с $t_m = 400°$, необходимо к каждому *кг* горючих газов прибавить:

$$L = \frac{1\cdot 0{,}266\ (1000-400)}{0{,}24\ (400-10)} = 1{,}70\ кг \text{ воздуха.}$$

Чтобы определить температуру отходящего воздуха t_n и содержание воды в смеси d_a, можно прибегнуть к помощи уравнения (10), подставляя в него для t_h наивысшую температуру смеси t_m и далее, для простоты, выражая расход тепла $C_r + C_g + C_a$ как часть тепла, потребного для испарения воды C_w. Если принять, что для 1 *кг* воды $C_w = 620$ калорий и что $C_r + C_g + C_a$ составляет от сего часть β (т.-е. $\beta\cdot 620$), то уравнение (10) примет вид:

$$\frac{t_m - t_n}{d_n - d_a} = \frac{w\cdot 620\ (1+\beta)}{w\cdot(\sigma_m + 0{,}475\ d_a)} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (34).$$

Если первоначальная температура воздуха $t_a = 10°$ и затем для вполне насыщенного $d_a = 0{,}00771$, удельная теплота смеси $\sigma_m = 0{,}25$, то $C_r + C_g + C_a$ составляют около 10% теплоты, расходуемой на испарение влаги и можно, наконец, принять, что 1 *кг* смеси горючих газов и воздуха принимает столько же воды для своего насыщения, как и чистый воздух, тогда получим:

$$\frac{t_m - t_n}{d_n - 0{,}00771} = \frac{620 + 62}{(0{,}25 + 0{,}475\cdot 0{,}00771)}$$

$$\frac{t_m - t_n}{d_n - 0{,}00771} = 2690 \text{ калорий,}$$

и, наконец, простое уравнение:

$$t_n = t_m + 20{,}74 - 2690\,d_n \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (35)$$

Подставляя в это уравнение предполагаемую температуру смеси t_m, получим помощью таблиц I и IV температуру t_n и содержание воды d_n в 1 *кг* смеси. Чтобы узнать, сколько воды испарил 1 *кг* горючих газов после прибавления воздуха, нужно найденное для d_n значение умножить на $L+1$.

Чтобы выяснить, в какой мере уменьшилась от примеси воздуха способность горючих газов удерживать водяные пары, целесообразно подсчитать, сколько воды d_n и при какой температуре отходящего воздуха t_n мог впитать в себя 1 *кг* чистых горючих газов перед смешением.

Подобно предыдущему при $\sigma_f = 0{,}266$ имеем:

$$\frac{t_f - t_n}{d_n - d_a} = \frac{680}{0{,}266 + 0{,}475 \cdot d_a}$$

где $d_a = 0{,}00771$

$$\frac{t_f - t_n}{d_n - 0{,}00771} = 2531$$

$$t_n = t_f + 19{,}51 - 2530\, d_n \quad \ldots\ldots\ldots \quad (36)$$

Нижеследующие примеры должны показать влияние добавления воздуха. Везде принята первоначальная температура t_a вполне насыщенного воздуха $= 10°$, а значение $C_r + C_g + C_a = 10^0/_0\ C_w$ (что равно 62 калор.).

Чтобы получить действительно испаренное количество воды ($W_n - W_a$), нужно отнять от высчитанного содержания воды W_n в 1 *кг* горючих газов, или $L + 1$ *кг* емеси — первоначально в них содержавшееся количество воды W_a.

Пример 31. а) Если употребить 1 *кг* чистого горючего газа (уравнение 36):

Температура горючих газов	$t_f = t_m = 900°$	1000°	1100°	1200°	*C*
„ отход. воздуха	$t_n = 72{,}5°$	74°	75,5°	76.5°	*C*
Содержание воды в нем	$w_n = 0{,}332$	0,369	0,408	0,447	*кг.*
Унесено воды	$w_n - w_a = 0{,}314$	0,351	0,389	0,429	*кг.*

б) Если к 1 *кг* горючих газов для получения температуры смеси t_m прибавляют L *к* воздуха (уравнение 48):

$t_m = 500°$	$L = 0{,}890$	1,125	1,35	1,57	*кг*
	$t_n = 61{,}5$	61,5	61,5	61,5°	*C*
	$w_n = 0{,}315$	0,354	0,392	0,429	*кг*
	$w_n - w_a = 0{,}292$	0,328	0,364	0,399	*кг*
$t_m = 400°$	$L = 1{,}140$	1,700	1,980	2,250	*кг*
	$t_n = 57$	57	57	57°	*C*
	$w_n = 0{,}310$	0,350	0,387	0.420	*кг*
	$w_n - w_a = 0{,}283$	0,319	0,354	0,385	*кг*
$t_m = 300°$	$L = 2{,}360$	2,660	3,040	3,420	*кг*
	$t_n = 51$	51	51	51°	*C*
	$w_n = 0{,}305$	0,332	0,367	0,402	*кг*
	$w_n - w_a = 0{,}270$	0,294	0,326	0,360	*кг*
$t_m = 200°$	$L = 4{,}070$	4,660	5,230	5,810	*кг*
	$t_n = 43$	43	43	43°	*C*
	$w_n = 0{,}298$	0,334	0,367	0,402	*кг*
	$w_n - w_a = 0{,}250$	0,028	0,310	0,340	*кг*

Примеры показывают, что примесь воздуха несколько уменьшает способность горючих газов испарять влагу, что еще рельефнее выступает, если прибавленный воздух имеет температуру ниже 10°, как здесь было принято.

12. Испарение воды из предварительно подогретых жидкостей в капельном состоянии атмосферным воздухом.

Таблица XXIII.

A. Если воздух не подогрет.

Для успеха высушивания в этом случае необходимо предварительно подогретую жидкость по возможности лучше распылить, чтобы придать частицам ее возможно большую поверхность, на которую и направляют струю воздуха.

Принимая, что в час поступает на выпарку весовое количество вещества $= f$, содержание в нем сухих веществ (в $^0/_0{}^0/_0$) до сушки $= p_a$, а к концу сушки $= p_e$, имеем, что в течение часа нужно из вещества удалить вес воды, равный

$$w = f\left(1 - \frac{p_a}{p_e}\right) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (37)$$

Обозначив температуру вещества в начале t_{fa} и в конце t_{fe}, температуру атмосферного воздуха в начале t_{La} и в конце t_{Le}, содержание воды в 1 *кг* совершенно сухого атмосферного воздуха в начале d_a и в конце d_e, теплоту испарения 1 *кг* воды $= c$ и через σ удельную теплоту жидкости, то для поглощения w *кг* воды требуется воздуха (L):

$$L = \frac{w}{d_e - d_a} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (38)$$

Обозначим еще температуру холодной жидкости через t_{fk} и теплоту, нужную для испарения, через C; тогда получим:

$$C = f \cdot \sigma (t_{fa} - t_{fk}) + w \cdot c + L \cdot 0{,}2451\,(t_{Le} - t_{La}) + \\ + L\, d_a \cdot 0{,}475\,(t_{Le} - t_{La}) \quad \ldots\ldots\ldots \quad (39)$$

$$C = f \cdot \sigma (t_{fa} - t_{fk}) + w\, c + L\,(t_{Le} - t_{La})\,(0{,}241 + d_a \cdot 0{,}475) \quad \ldots \quad (40)$$

Так как, очевидно, в большинстве случаев однократное охлаждение вещества f на $t_{fa} - t_{fe}$ недостаточно, чтобы получить теплоту C для испарения значительного количества воды и нагрева потребного воздуха, то необходимо вещество повторно подогревать и каждый раз проводить его через сушку, подвергая распылению и испарению, таким образом в течение часа необходимо подвести к сушке гораздо большее количество вещества F, чтобы постоянно поддерживать вес $\frac{F \cdot z}{3600}$, если z обозначает время пребывания (падения) материала в сушке в секундах. Часть $\frac{F \cdot z}{3600}$ веса F каждый раз охлаждается от испарения с t_{fa} на t_{fe}. То же количество жидкости f должно много раз циркулировать в сушильном пространстве и у обогревательного прибора.

Таким образом:

$$F = \frac{C}{\sigma (t_{fa} - t_{fe})} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (41)$$

Чтобы воздух мог принять из жидкости теплоту, необходимо предоставить ему достаточную поверхность соприкосновения O, величина которой зависит в зна-

чительной степени от коэффициента теплопередачи k и средней разницы температур ϑ_m воздуха и жидкости. Она равна:

$$O = \frac{C}{k \cdot \vartheta_m} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad (42)$$

Среднюю разницу температур, как известно, можно определить из табл. XXIX [1]) из соотношения:

$$\frac{t_{fa} - t_{Le}}{t_{fe} - t_{La}} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad (43)$$

Пример 32. Если жидкость будет охлаждаться с $t_{fa} = 80°$ на $t_{fe} = 70°$, а воздух нагреваться с $t_{La} = 20°$ до $t_{Le} = 75°$, то при противотоке:

$$\frac{t_{fa} - t_{Le}}{t_{fe} - t_{La}} = \frac{80 - 75}{70 - 20} = \frac{5}{50}$$

следовательно, по таблице XXIX средняя разница температур $\vartheta_m = 0.391 \cdot 50 = 19.550°$ C.

Коэффициент передачи тепла K для 1 $м^2$ (час) между воздухом и жидкостью при непосредственном соприкосновении можно принять $= 20$, так как падающие капли пробегают воздушный слой очень скоро.

Вся поверхность O, находящейся в каждый данный момент в сушке жидкости, должна подвергаться продолжительному действию протекающего через сушку воздуха, при чем это количество жидкости должно быть сильно распылено, чтобы образовать эту поверхность. При этом необходимо, чтобы поверхность часто менялась, так как испарение с поверхности происходит довольно скоро, но во внутрь капли тепло протекает с трудом. Из всех различных форм, которые жидкость может принимать в сушильном пространстве, мы рассмотрим, исходя из нижеизложенных соображений, форму капель или шариков.

Поверхность шара относится к его объему, как

$$6 : \delta \left(\text{именно, как } \delta^2 \pi : \frac{\delta^3 \pi}{6} \right).$$

Если в течение часа через сушильное пространство падает F *кг* жидкости, то в течение z секунд, там будет находиться весовое количество $\frac{F \cdot z}{3600}$ жидкости; принимая ее удельный вес $= s$, имеем объем

$$\frac{F \cdot z \cdot 0{,}001}{3600 \cdot s} \text{ куб. } м \quad \ldots \ldots \ldots \quad (44)$$

Если δ обозначает диаметр капель или шариков в *мм*, то получаем уравнение

$$\frac{F \cdot z \cdot 0{,}001}{s \cdot 3600} = \frac{\pi \cdot \delta^3 \cdot n}{6 \cdot 1000^3} \quad \ldots \ldots \ldots \quad (45)$$

и так как поверхность капель

$$O = \frac{C}{k \cdot \vartheta_m} = \frac{\pi \cdot \delta^2 \cdot n}{1000^2} \quad \ldots \ldots \ldots \quad (46)$$

---

[1]) См. Hausbrand, — Verdampfen, Kondensieren und Kühlen, 6-te Auflage.

то следует:

$$\delta = \frac{6 \cdot F \cdot z \cdot 0{,}001 \cdot k \cdot \vartheta_m \cdot 1000^2}{s \cdot 3600 \cdot C} \text{ в } мм \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (47)$$

и так как

$$C = F \cdot (t_{fa} - t_{fe}) \text{ о} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (48)$$

получаем:

$$\delta = \frac{6 \cdot F \cdot z \cdot k \cdot \vartheta_m}{s \cdot 3600 \cdot F (t_{fa} - t_{fe}) \cdot \sigma} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (49)$$

и наконец:

$$\delta = \frac{z \cdot k \cdot \vartheta_m}{s \cdot 600 (t_{fa} - t_{fe}) \cdot \sigma} \text{ в } мм \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (50)$$

Это уравнение дает зависимость диаметра капель от требуемой производительности.

Пример 33. Нужно сгустить в течение часа количество жидкости $f = 100$ *кг*, при $\sigma = 1$, при $t_{fk} = 15°$ С, содержащей 10% сухих веществ, до содержания 50% сухих веществ, при чем жидкость может быть нагрета максимально до $t_{fa} = 60°$ и в аппарате она охлаждается до $t_{fe} = 50°$. Воздух имеет $t_{La} = 0°$, или 15° или 30° и каждый раз нагревается жидкостью до $t_{Le} = 50°$. Во всех случаях воздух до $^3/_4$ насыщен водяными парами. Тогда весовое количество воды, которое нужно испарить из жидкости, будет:

$$w = 100 \left(1 - \frac{p_a}{p_e}\right) = 100 \left(1 - \frac{10}{50}\right) = 80 \text{ } кг.$$

1 *кг* воздуха ($^3/_4$ насыщения) содержит по таблице IV:

при	0°	15°	30°
	$d_a = 0{,}00288$	0,00806	0,02050 *кг* воды,
при	50°	50°	50°
	$d_e = 0{,}0651$	0,0651	0,0651 *кг* воды,

Следовательно, 1 *кг* воздуха поглощает:

	$d_a - d_e = 0{,}0622$	0,05704	0,0446 *кг* воды.

Отсюда, чтобы забрать 80 *кг* воды нужно воздуха:

	$L = 1286$	1428	1795 *кг*
или (при 50°)	1298	1470	1813 *куб. м.*

Расход тепла:

$$C = f (t_{fa} - t_{fk}) \sigma + 80c + L (50 - t_{La}) (0{,}241 + d_a \cdot 0{,}475).$$

Если первоначальная температура воздуха = 0°, то

$$C = 100 \cdot (60 - 15) + 80 \cdot 565 + 1286 \cdot 50 (0{,}241 + 0{,}00288 \cdot 0{,}475) = 65059 \text{ калорий.}$$

Если первоначальная температура воздуха была 15°, то

$$C = 100 \cdot (60 - 15) + 80 \cdot 565 + 1428 \cdot 35 (0{,}241 + 0{,}00806 \cdot 0{,}475) = 61761 \text{ калорий.}$$

И если температура была 30°, то

$$C = 100 \cdot (60 - 15) + 80 \cdot 565 + 1795 \cdot 20 (0{,}241 + 0{,}0205 \cdot 0{,}475) = 58645 \text{ калорий.}$$

Если удельная теплота жидкости $\sigma = 1$, то в течение часа в рабочее пространство должно быть введено весовое количество:

$$F = \frac{C}{60 - 50} = 6506 \qquad 6176 \qquad 5865 \text{ } кг.$$

Потребная для теплопередачи поверхность жидкости будет:

$$O = \frac{C}{k \cdot \vartheta_m}$$

где K коэффициент теплопередачи принимается равным 20.

Разница температур воздуха и жидкости видна из XXIX таблицы, так как:

$$\frac{t_{fa} - t_{Le}}{t_{fe} - t_{La}} = \frac{60 - 50}{50 - 0} = \frac{10}{50} \text{ или } \frac{10}{35} \text{ или } \frac{10}{20}$$

$$\vartheta_m = 25° \qquad 19{,}95° \qquad 14{,}28°$$

Следовательно:

$$O = \frac{65059}{20 \cdot 25} \text{ или } \frac{61761}{20 \cdot 19{,}95} \text{ или } \frac{58645}{20 \cdot 14{,}28} \; м^2$$

$$= 130{,}12 \text{ или } 154{,}5 \text{ или } 205 \; м^2.$$

Если распыленная жидкость имеет форму шариков или капель с диаметром δ в $мм$, то предполагая, что жидкость остается в рабочем пространстве сушки время $z = 2$ секундам, получаем:

$$\delta = \frac{2 \cdot 20 \cdot \vartheta_m}{600 \cdot (t_{fa} - t_{fe})} = \frac{\vartheta_m}{150} = 0{,}14 \text{ соотв. } 0{,}133 \text{ соотв. } 0{,}0952 \; мм.$$

С помощью этих соображений составлена таблица (XXIII) данных для испарения 100 $кг$ воды в 1 час из жидкости, подогреваемой на 80—40° С воздухом, насыщенным на $^3/_4$ как до, так и после применения его. Жидкость задерживается в рабочем пространстве сушки 1 секунду, успевая охладиться на 2÷10° С. Воздух же при этом нагревается почти до наивысшей температуры жидкости (разница на 50÷10° С).

Из этих соображений и таблицы XXIII следует:

1. Потребный для испарения воды расход тепла тем меньше, чем выше температура атмосферного воздуха, чем выше подогревается жидкость и чем теплее отходящий, нагретый жидкостью воздух. Расход тепла уменьшают также: слабая насыщенность атмосферного воздуха и высокая степень насыщения уходящего воздуха.

2. Количество потребного воздуха тем меньше, чем ниже первоначальная его температура и чем более горячим уходит он из сушки (потому что холодный воздух впитывает меньше влаги).

3. Количество циркулирующей жидкости может быть тем менее, чем выше жидкость нагрета, чем больше она охлаждается в рабочем пространстве и чем теплее уходящий из сушки воздух и, наконец,

4. жидкость может быть тем менее тонко-распыленной, чем теплее она вступает в сушку и оставляет ее, и чем дольше она там находится; но чем меньше капли, тем скорее и совершеннее удается процесс сушки.

Распыление жидкости на маленькие капли или другие формы одинаковой поверхности, представляет затруднения, и кроме того высушивающий поток воздуха стремится отбрасывать частицы жидкости на стенки рабочего пространства, если не принять особых предохранительных мер.

Если подлежащая высушиванию масса не жидкость, а имеет форму зерен или кристаллов, то процесс сушки проходит как и при каплях. Вышеприведенные

формулы годны и для этого случая, только значение коэффициента k — в виду более затруднительной теплопередачи — должно выбирать значительно меньшим (от 4 до 12).

В. Испарение жидкости предварительно нагретым воздухом.

Когда жидкость и воздух вступают в камеру оба предварительно нагретые, то теплота, потребная для испарения воды C_w и для лучеиспускания C_a, отнимается у жидкости и у воздуха. Поэтому раньше всего нужно определить помощью уравнения (10)

$$\frac{t_h - t_n}{d_n - d_a} = \frac{C_w + C_a - C_r\,(t_h - t_n)}{w\,(0{,}241 + d_a \cdot 0{,}475)} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (51)$$

конечную температуру t_n и конечное содержание воды d_n. Так как остаток материала после испарения воды охлаждается от своей первоначальной температуры t_n до конечной своей температуры, то теплоту C_r нужно исключить из работы воздуха.

Если d_n известно. то потребный вес воздуха определяется из уравнения (8):

$$L = \frac{w}{d_n - d_a}.$$

Если воздух уносит из сушки при известных условиях с 1 м² поверхности высушиваемого материала d_v *кг* пара, так что для высушивания ежечасно w *кг* воды воздуху должна быть предоставлена рабочая поверхность O *кв. м*, то

$$O \cdot d_v = w.$$

Один литр жидкости образует тем большую поверхность o, чем меньше диаметр δ капель, в которые она распылена, а именно при:

$\delta =$	0,25	0,50	1	2	3	4	5	*мм.*
$o =$	24,18	12,01	5,997	2,998	1,645	1,497	1,201	$м^2$.

Чтобы получить требуемую поверхность O, необходимо поэтому распылить l литров жидкости

$$o \cdot l = O; \quad o \cdot l \quad d_v = w; \quad l = \frac{w}{o \cdot d_v}.$$

Поверхность O должна возможно дольше оставаться под влиянием высушивающего воздушного потока, но так как каждая капля жидкости падает (или подбрасывается и затем падает) в сушильном пространстве только определенное время z в секундах, то ежечасно в сушку должно доставить объем жидкости

$$\frac{F}{s} = \frac{l \cdot 3600}{z} = \frac{w \cdot 3600}{d_v \cdot o \cdot z}.$$

Пример 34. В течение часа $F = 100$ килограмм жидкости ($\sigma = 1$) с содержанием 10% сухого вещества доводятся до содержания 50%, при чем жидкость и воздух нагревают до 60°. Воздух при вступлении (15°) и при выходе на $^3/_4$ насыщен. По уравнению (51) получаем:

$$\frac{60 - d_n}{t_n - 0{,}00806} = \frac{(80 \cdot 610 + 0{,}1 \cdot 80 \cdot 610)}{80\,(0{,}241 + 0{,}00806 \cdot 0{,}475)} = 2750 \text{ калорий},$$

откуда следует:

$$t_n = 29 \qquad d_n = 0{,}01134$$

$$L = \frac{80}{0{,}01134 - 0{,}00806} = 2400 \text{ кг}.$$

Если воздух циркулирует вокруг капель со скоростью 1 м./сек. и насыщен до 20%—75%, в среднем до 50%, то он отнимает (см. главу 12) около 1 *кг* воды каждый час с 1 *кв м* поверхности и тогда общая потребная поверхность капель O:

$$O = \frac{80}{1} = 80 \text{ кв. м}$$

и капли имеют диаметр:

$$\delta = 0{,}25 \qquad 0{,}50 \qquad 1 \text{ мм},$$

то в сушке находится всегда $l = \frac{80}{o}$ литров.

$$l = 3{,}304 \qquad 6{,}668 \qquad 13{,}336 \text{ литров}$$

жидкости. Если каждая капля носится в рабочем пространстве $z = 2$ сек., то объем ежечасно вгоняемой жидкости

$$\frac{F}{s} = 5947 \qquad 12000 \qquad 24005 \text{ литров}.$$

Эти примеры показывают, какие большие количества тонко распыленной жидкости при этом методе сушки должны постоянно находиться в рабочем сушильном пространстве, чтобы образовать требуемую поверхность испарения, и что здесь должны быть применены только очень маленькие капли, которым угрожает опасность быть увлеченными воздухом. Отделить эти пылинки от воздуха, не подвергая их порче, очень трудно.

13. Механическое обезвоживание, поверхность нагрева и потери тепла.

Таблица XXIV.

A. Механическое обезвоживание.

При большом содержании воды экономичнее всего удалить ее механическим путем, где это возможно, обработкой на прессах и центрофугах или вакуум-фильтрах, и затем уже высушивая материалы в сушильных аппаратах.

Таблица XXIV показывает, сколько *кг* воды из 100 *кг* мокрого тела с p_a % воды должны быть удалены, чтобы привести его к содержанию p_e % влаги.

B. Поверхность нагрева для обогревания воздуха [1]).

Нагревание воздуха, долженствующего высушивать, производится обычно пропусканием его через металлические обогревательные поверхности, а эти последние в свою очередь отапливаются непосредственным огнем, газами, паром или теплой

[1]) См. также Hausbrand — Verdampfen, Kondensieren und Kühlen и Rietschel — Leitfaden z. Projektierung und Berechnung von Heizungs- u. Lüftungsanlagen.

водой. Чтобы нагреть определенный вес воздуха L с содержащейся в нем влагой d_a с температуры t_a до более высокой температуры t_h, нужно подвести этому воздуху количество тепла C:

$$C = L\ (0{,}241 + d_a \cdot 0{,}475)\ (t_h - t_a). \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (52)$$

Передача тепла от источника ее (газ, пар, вода) к воздуху следует по уравнению:

$$C = H \cdot \vartheta_m \cdot k,$$

где H — поверхность нагрева в *кв. м*, ϑ_m — средняя разница температур (падение температур) между обогревателем и воздухом и K — постоянное число, различное для различных случаев и обстоятельств.

Так как обогревательные средства и воздух во время обмена между ними тепла меняют свои температуры, первые — охлаждаясь, а второй — нагреваясь, то во всех пунктах от начала до конца обогревательной поверхности образуются различные разности температур, среднее значение которых ϑ_m ни в коем случае не является арифметическим, а определяется из уравнения:

$$\vartheta_m = \frac{\vartheta_a - \vartheta_e}{\text{нат. лог.}\ \frac{\vartheta_a}{\vartheta_e}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (53)$$

где ϑ_a — обозначает максимальную разницу на одном конце, а ϑ_e — минимальную на другом конце поверхности нагрева, все равно господствует ли во время теплообмена прямой ток или противоток (который в большинстве случаев предпочтителен).

Приводим извлечение из таблицы значений ϑ_m:

Если:											
$\frac{\vartheta_e}{\vartheta_a} =$	0,0025	0,005	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0.07	0,08	0,09
то:											
$\vartheta_m =$	0,166	0,188	0,215	0,251	0,277	0,298	0,317	0,335	0,352	0,368	0,378
если:											
$\frac{\vartheta_e}{\vartheta_a} =$	0,10	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16	0,17	0,18	0,19	
то:											
$\vartheta_m =$	0,391	0,405	0,418	0,430	0,440	0,451	0,461	0,466	0,478	0,489	
если:											
$\frac{\vartheta_e}{\vartheta_a} =$	0,20	0,21	0,22	0,23	0,24	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	
то:											
$\vartheta_m =$	0,500	0,509	0,518	0,526	0,535	0,544	0,583	0,624	0,658	0,693	
если:											
$\frac{\vartheta_e}{\vartheta_a} =$	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95	1,0
то:											
$\vartheta_m =$	0,724	0,756	0,786	0,815	0,843	0,872	0,897	0,921	0,953	0,982	1,0

Из этих значений ϑ_m средняя температура теплообмена получается умножением ϑ_m на ϑ_a.

Пример 35.

а) Газ, обогревающий поверхность нагрева, имеет температуру 300°÷40° воздух, протекающий (в противотоке) с противоположного конца поверхности нагрева = 100°÷20°. Тогда разницы будут:

$$\vartheta_a = 300 - 100 = 200°\ C,\ \vartheta_e = 40 - 20 = 20°,$$

следовательно:

$$\frac{\vartheta_e}{\vartheta_a} = \frac{20}{200} = 0{,}1$$

отсюда средняя температурная разница:

$$\vartheta_m = 0{,}391 \cdot 200 = 78{,}2° \left(\text{а не } \frac{200+20}{2} = 110°\right).$$

б) На одной стороне протекает пар с постоянной температурой 100°, на другой воздух, нагревающийся с 20° до 80°, тогда

$$\vartheta_a = 80,\ \vartheta_e = 20,\ \frac{\vartheta_e}{\vartheta_a} = \frac{20}{80} = 0{,}25$$

следовательно:

$$\vartheta_m = 0{,}544 \cdot 80 = 43{,}50° \left(\text{а не } \frac{80+20}{2} = 50°\right).$$

Если неизвестна температура обогревающей среды, а только температура стенок обогревательного прибора, через который воздух протекает, то средняя температурная разница определяется, как и в предыдущем случае, но следует вместо всего коэффициента теплопередачи K подставить меньший a (только от стенки к воздуху):

$$C = H \cdot \vartheta_m \cdot a \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (54)$$

Коэффициент теплопередачи k и a через 1 *кв. м* в 1 час, при разнице $t°$ в 1° С зависит от рода движения, скорости воздуха и обогревающих средств, от степени гладкости или шероховатости поверхности стен обогревательного прибора, от их чистоты или количества накипи, от диаметра обогревательных труб, в меньшей степени от сорта, толщины, теплопроводности, высоты нагревательного прибора, от давления и влажности воздуха и от абсолютной температуры, при которой обмен тепла происходит, — т.-е. от причин, которые не все заранее известны и часто меняются во время работы. Поэтому не всегда можно заранее задаться точными значениями k и a, но все же можно пользоваться, с некоторым доверием, числовыми значениями таблицы XXV.

Пример 36.

а) $F = 5000$ *кг* горючих газов в 300° С и с удельной теплотой $\sigma = 0{,}25$ должны охладиться в течение часа до 200° воздухом, который должен нагреться с 20° до 80°. Горючий газ теряет при этом $5000 \cdot 100 \cdot 0{,}25 = 125000$ калорий. L *кг* воздуха воспринимают эту теплоту, поэтому имеем:

$$L\,(0{,}241 \cdot 60 + 0{,}11 \,.\, 0{,}475) = 125000,$$

$$L = 8713\ кг.$$

Разница температур

$$\vartheta_m = 0{,}9 \,.\, 220 = 198°\ C.$$

Газ и воздух протекают по обогревательной поверхности со скоростью $V = 4$ *м*. при этом $k = 6{,}5$ и таким образом получаем величину потребной поверхности нагрева;

$$H = \frac{C}{\vartheta_m k} = \frac{125000}{198 \cdot 6{,}5} = 97{,}2 \text{ м}^2.$$

б) $L = 6000$ *кг* воздуха при 20° прогоняют со скоростью $V = 8$ *м* через параллельные обогреваемые паром в 120° трубы, чтобы нагреть его до 80. Тогда имеем:

$$\vartheta_a = 120 - 20 = 100°C, \vartheta_e = 120 - 80 = 40°, \frac{\vartheta_e}{\vartheta_a} = \frac{40}{100} = 0{,}4,$$

следовательно:

$$\vartheta_m = 0{,}658 \cdot 100 = 65{,}8° C.$$

Коэффициент теплопередачи $k = 54$, а потому поверхность нагрева:

$$H = \frac{C}{\vartheta_m \cdot k} = \frac{86760}{65{,}8 \cdot 54} = 24{,}1 \text{ м}^2.$$

C. Потери тепла.

Охлаждение через стенки и обмуровку сушильного аппарата вызывает потерю, которую по возможности нужно уменьшить. Как велика в каждом случае эта потеря, можно подсчитать из таблицы XXVI, которая указывает, сколько теряется калорий в час с 1 *кв. м* кирпичной или деревянной стены различной толщины.

Следует упомянуть, что в некоторых случаях, при холодно работающих аппаратах и очень низком внутреннем давлении, внутренность сушильного аппарата может оказаться холоднее, чем окружающее аппарат пространство и тогда с выгодой воспринимает тепло извне; в этих случаях нужно так конструировать стенки аппарата, чтобы они легко пропускали тепло снаружи, устраивая, например, стенки из металлических листов. Во всех же других случаях сушильные аппараты должны быть защищены от потерь тепла кладкой, если возможно, то с воздушными прослойками, и от проникания наружного воздуха внутрь аппаратов. Стены должны быть сделаны плотно, иначе при теплых сушках проникнет холод а при холодном ходе процесса влажность, которую принесет с собой проникающий чрез щели воздух.

Пример 37.

Сушильный канал 2 *м* высоты, 1,25 *м* ширины, на протяжении 3-х метров имеет температуру 80°, а на длине 20 *м* — температуру $\frac{80 + 20}{2} = 50°$. Продольная стена (510 толщиной) граничит с наружным пространством в 0°, другая (250 *мм* толщиной) и сводчатая крыша в 15°, бетонный пол имеет 0°, деревянные двери — 16°.

		Калор.
Кирпичная стена . . .	$(510) \cdot 2 \cdot 3 \cdot 88$	$= 528$
Крыша	$1{,}25 \cdot 3 \cdot 45{,}5$	$= 170$
Пол	$1{,}25 \cdot 3 \cdot 144$	$= 540$
Дверь.	$1{,}25 \cdot 2 \cdot 132$	$= 330$
		1568

		Калор.
Кирпичная стена. .	$(250) \cdot 2 \cdot 20 \cdot 59{,}5$	$= 2380$
Крыша	$1{,}25 \cdot 20 \cdot 24{,}5$	$= 613$
Пол.	$1{,}25 \cdot 20 \cdot 90$	$= 2250$
Дверь.	$1{,}25 \cdot 2 \cdot 77$	$= 193$
		5436

Часовая потеря тепла в канале $C_a = 1568 + 5436 = 7004$ калорий.

Если воздух действием естественной тяги поступает в обогревательные приборы, отапливаемые горючими газами, протекающими с небольшой скоростью, то $k = 1{,}2 — 1{,}8$ кал./ч./*кв. м* при разнице $t°$ в 1° С.

Пар или горячая вода в трубах:

при 25 *мм* наружного давления отдают воздуху = 5,4 — 8,2 кал./ч. с 1 $м^2$ при разнице $t°$ в 1° C

„ 50 „ „ „ „ „ = 4,6 — 6,8 кал./ч. с 1 $м^2$ при разнице $t°$ в 1° C

„ 80 „ „ „ „ „ = 4 — 6 кал./ч. с 1 $м^2$ при разнице $t°$ в 1° C

Радиаторы „ „ = 6,7 — 8,5 кал./ч. с 1 $м^2$ при разнице $t°$ в 1° C

1 ребристая труба отдает воздуху 5,0 калорий, а 2 — 3 ребристых трубы друг над другом отдают воздуху в тех же условиях 3 — 4 калории каждая.

14. Род и структура высушиваемого материала. Испарение.

Процессы, происходящие при сушке воздухом, весьма сложны. Воздух передает часть своей теплоты тонкому поверхностному слою высушиваемого тела. Эта теплота, соразмерно с теплопроводностью высушиваемого тела, проникает вглубь и тем самым вводит туда теплоту, необходимую для испарения влаги. Пары, образующиеся здесь, направляются через толщу слоя тела к поверхности его, откуда диффундируют с воздухом и смешиваются с ним, чтобы вместе быть выведенными из сушки.

Большая или меньшая пористость тела, — его капиллярность, обусловливают большее или меньшее устремление влаги изнутри тела к его поверхности, отчего зависит и скорость процесса высушивания.

Теплопередача от воздуха к поверхности тела зависит от рода поверхности, свойства тела и циркуляции воздуха, и может быть подсчитана, но подсчитать данныя, характеризующие проникание теплоты внутрь тела и время, необходимое для испарения внутренней влаги, — даже в простейших случаях, — представляется трудно разрешимой проблемой. Совершенно неизвестные нам, возникающие внутри тела течения влаги воздуха, пара и теплоты, как и недостаточные знания значений постоянных величин, необходимых для их подсчета, — делают пока задачу неразрешимой. Также трудно подсчитать и процесс диффузии в воздух паров, проникших изнутри тела к поверхности [1]).

[1]) Marzeies, Wiener Berichte 1898, 107.

J. Dalton, Gilberts Ann. 1803, стр. 121 (Memoirs of the lit. a. philos. Society of Manchester, Vol. 5. P. 2, S. 572).

J. Stefan, Wiener Berichte 68, II, 385. 1873.

J. Stefan, Wiener Berichte 83, II, 943. 1881.

Winkelmann, Wied. Ann. 35, 401. 1888 u. f., см. также Sresnewski, Beiblätter 7, S. 888. 1883 und E. Laval, Journ. de Phys. (2) 1, 560. 1882.

J. von Pallieh, Wiener Berichte 106, 384. 1897.

Отсюда следует, что простым расчетом не удается еще определить требуемые: степень измельчения тел, поверхность тела, время нахождения тела в сушке и скорость воздуха. Но это часто и бесцельно, так как природа тела, его состояние до и после сушки зависит иногда от таких наперед заданных требований, которые не поддаются никакому предварительному подсчету.

В действительности лишь опыты, сделанные с каждым отдельным из бесконечно разнообразных материалов для определения температуры, продолжительности времени и проч., дают решение данного вопроса.

В качестве общего правила можно сказать, что сушку следует вести таким образом, чтобы испарение шло постепенно и равномерно по толще материала внутрь его.

В спокойном воздухе испаряемая вода образует на поверхности тела тонкий слой воздуха, насыщенного влагой. Скорость испарения пропорциональна разнице между степенью насыщения этого слоя (упругостью пара в нем) и упругостью пара в окружающем воздухе, и пропорциональна также корню квадратному из скорости движения окружающего воздуха. Целесообразно поэтому подводить воздух в тонком слое и возможно скорее.

Так как время, нужное для сушки, уменьшается с увеличением развития поверхности данного количества материала, то вообще выгодно по возможности измельчать материал; но слой мелких кусков или зерен мог бы закрыть доступ воздушной струе к их поверхности, если бы воздух не нашел между зернами достаточной площади свободных сечений для своего прохождения. Поэтому часто продувают воздух через вращающиеся барабаны, где зерна все время находятся в движении, и вообще заставляют частицы отделяться друг от друга для предоставления свободного прохода воздуху [1]).

N. P. Schierbeck, Oversigt over det Kongelinge Danske Videnskabernes Selskabs Forhandlinger 1896, No. 1. См. также M. Ule, Meteorol. Zeitschrift, 1891, S. 91.

W. Krebs, Meteorol. Zeitschrift 1895, S. 38.

W. Trabert, Meteorol. Zeitschrift 13, 261. 1896.

M. Le Blanc nnd G. Wuppermann,, Zeitschrift für phys. Chemie 1916, Bd. 91, S. 193 Meteorol. Zeitschrift 1911. S. 576.

H. Hecht, Annalen der Physik 1904. 14. S. 1008.

Fritz Krauss, Die Grundgesetze der Wärmeleitung.

E. D. Williamson and L. H. Adams, Phycical. Review. 1919. 14. Jahrgang. S. 15.

[1]) Рассмотрим, как образуется куча из шариковых зерен. Если шарики диаметра δ лежат на плоскости тесными рядами друг около друга, то расстояние между рядами $= 0{,}866\,\delta$ и, если несколько слоев лежат друг над другом (каждый шарик на трех внизу лежащих), то расстояние между слоями $= 0{,}8165\,\delta$.

Площадь, занимаемая $n \times n$ шариками в горизонтальной плоскости $= 0{,}866 n^2 \cdot \delta^2$, а $n \times n \times n$ шариков, лежащих друг над другом, занимают $0{,}866 \times 0{,}8165 n^3 \cdot \delta^3 = 0{,}707 n^3 \cdot \delta^3$ пространства, а 1000 шариков занимают $0{,}707 \cdot 10^3 \cdot \delta^3 = 707\,\delta^3$. Свободного пространства между шариками имеется $(707 - 523{,}5)\,\delta^3 = 184{,}4\,\delta^3$, т.-е. 25% всего пространства. Все шарики в 1 *куб. м* занимают 740,6 *л*. Поверхность 1000 шариков $= 3141{,}5\,\delta^2$. Поверхность всех шариков в *куб. м* будет при:

$\delta =$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	*мм*
	4443,4	2221,7	1481,1	1110,8	888,7	740,5	634,8	555,4	493,7	444,3	*кв. м.*

Пример 38. Когда воздух с температурой t_h вертикально продувают через кучу зернистого материала, и от этого он охлаждается до t_n, то ежечасно проходящее количество воздуха $= L$, при скорости v, поглощает w *кг* воды:

при $t_h - t_n =$	400° — 80°		200° — 80°		100° — 60°		60° — 40° C	
v	L	w	L	w	L	w	L	w
1	186,7	20,7	250	10,5	223	3,12	337	2,4
2	371	41,5	502	21,1	380	4,04	675	4,7
3	556	62	754	31,5	665	9,31	1000	7,4
4	742	82,7	1000	41,5	890	12,67	1345	9,4
5	925	103	1255	52,5	1118	15,07	1684	11,8

Если шарики не одинакового размера, то обстоятельства меняются. Например, гравий с зернами в 3 — 7 *мм* имеет 36,7% свободного (выполняемого водой) пространства, при зернах в 4 *мм* — 36%, при 2 *мм* — 39,6%, при $^1/_4 - ^1/_3$ *мм* — 42%. По Chifford Richardson американские пески имеют свободное пространство от 29,5 — 51,2%, в среднем 36,1%, при зернах в 5 *мм* — 28,4%, при 1,15 — 1,56 диам. 14,4% (Hans v. Höfer, Grundwasser und Quellen).

Воздух, вертикально продуваемый через кучу шариков основанием 10×10, находит в каждой горизонтальной плоскости, проходящей через середину шариков:

$$\left(86{,}6 - \frac{100\pi}{4}\right)\delta^2 = 8{,}12\,\delta^2,$$

т.-е. 9,355% свободной площади сечения.

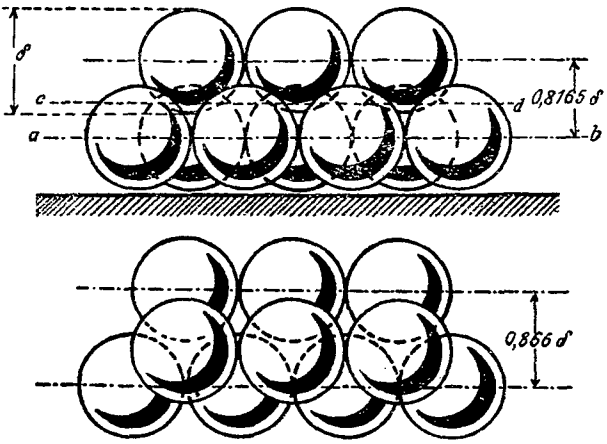


Рис. 4.

В каждой горизонтальной плоскости, проведенной по месту соприкосновения каждых 4-х шариков, имеется:

$$0{,}866 \cdot 100\,\delta^2 - 200\left(\frac{\delta \cdot 0{,}866 \cdot 2}{3}\right)\frac{\pi}{4} = 34{,}24\,\delta^2,$$

т.-е. 39,53% свободного сечения.

Объем воздуха, продуваемый или просасываемый вертикально через 1 $м^2$ шариковой кучи со скоростью

$v = 1$ 2 3 4 5 *м* через

наименьшее свободное сечение, составляет в час:

338,7 677 1016 1355 1693 *куб. м.*

Еще меньше, чем тела зернистого строения, подходят для сушки в кучах пластинчатые или стружкообразные материалы, потому что, плотно слегаясь, они взаимно закрывают свои поверхности и загораживают сечение для свободного доступа воздуха. Такие тела могут только во время движения тесно соприкасаться с воздухом (напр., в барабанах).

При плоских предметах, как бумага, текстильные материалы, кожи, вулканизированная фибра и т. п., высушивающему воздуху легко может быть дано совершенно определенное направление.

При кашеобразных массах, пенящихся материалах (кровь, некоторые экстракты) приходится обычно распределить эти материалы на плоских чашах, или нанести их на пластины, или на барабаны, чтобы сделать их поверхности доступными для воздуха.

Теплота, которую нужно подвести высушиваемому телу для испарения его влажности, может проникать только чрез его поверхность и количество проникшей теплоты — при прочих равных условиях — будет пропорционально этой поверхности.

Некоторые сиропообразные, часто гикроскопические вещества, например, мальц-экстракт, образуют при сушке на наружной поверхности своей сухие, плотные слои, которые затрудняют прохождение тепла через верх и пара снизу, так что из под этой корки влажность только очень медленно уходит. Другие тела по природе окружены твердой скорлупой, которая почти непроницаема,

Давно известно, что соли, кислоты и огранические материалы повышают точку кипения воды, в которой они растворены. Чтобы выпарить, испарить или высушить такие смеси, они должны быть при одинаковых прочих условиях нагреты до более высокой температуры, чем чистая вода. Названные материалы имеют свойства понижать упругость паров и жидкостей, и тем в большей степени, чем больше в них содержание соли, кислоты или органических веществ, или чем они суше, и если для целей высушивания продувают над ними воздух, то упругость паров в этом воздухе должна быть меньше, чем в самих телах, потому что пар только при этом условии может перейти из тела в воздух. Высушивающий воздух должен при сушке таких тел быть или мало насыщен водой или теплее, чем он должен быть при высушивании совершенно чистой воды.

И. Ф. Гофман [1]), произведя весьма ценные исследования, нашел, что очень гикроскопический крахмал, как составная часть зернового хлеба, маиса, картофеля, так сильно понижает упругость паров в этих телах, что они должны содержать не менее 20% воды, чтобы быть в состоянии образовать пар с упругостью пара чистой воды; что при содержании воды в 5 — 8%, упругость пара в этих телах составляет только около 20% соответственной упругости водяного пара, и что в промежуточных стадиях она не совсем пропорционально растет.

Нижеследующая таблица показывает, что крахмалосодержащие вещества при температурах:

5°	10°	15°	20°	30°	40°	50°

[1]) D-r I. F. Hoffman, Die Getreidespeicher.

и при содержании крахмала от 5 до 20% развивают давление пара только от 1,3 до 99,2%.

Давление пара

5%	1,3	1,83	2	3,4	6,3	11	18,4 *мм*	давл. пара	20 %	насыщение воздуха
10%	3	4,3	5,6	8	14,6	26	43 „		46,5%	
15%	4,7	6,8	8,8	12,8	22,9	40	67,4 „		73 %	
20%	6,5	9,14	12,1	17,36	31,5	54,8	99,2 „		100 %	

Когда большие куски органических тел для ускорения тепло-передачи измельчают или разрезают, то часто на поверхности свежих разрезов на воздухе выступает влага (сок, сыворотка), и воздух тем более портит (окисляет) эти вещества, чем он теплее и чем дольше находился в соприкосновении с поверхностью разрезов. Соки при этом окрашиваются в темный цвет, например, у сахарного тростника, у сахарной свеклы, у груш, яблок, картофеля, поэтому стремятся их скоро высушить и при возможно низкой температуре.

Высушивать органические вещества до совершенного удаления из них воды большею частью невыгодно, потому что при этом стенки клеток теряют свою эластичность и препятствуют впоследствии разбуханию. Кроме того, вполне высушивать такие вещества нецелесообразно уже потому, что они все равно вновь притягивают влагу из воздуха.

Теплота, передаваемая материалу в сушке, пропорциональна также средней разнице температур воздуха и материала. При противотоке место, где вступает высушиваемое вещество с температурой t_u, совпадает с местом, откуда отработавший воздух выходит с температурой t_n. Разница температур здесь поэтому $t_n - t_u$. Выход высушенного материала совпадает с местом вступления горячего воздуха с температурой t_h. Высушенное вещество оставляет сушку с температурой t_z на несколько градусов холоднее, чем теплый воздух сюда вступает; на сколько градусов — зависит каждый раз от обстоятельств. Разница температур здесь поэтому $t_h - t_z$. Для случая, когда эта разница $t_h - t_z$ составляет, по крайней мере, половину только что названной разницы $t_n - t_u$, средняя температурная разница будет:

$$\vartheta_m = \frac{(t_h - t_z) + (t_n - t_u)}{2}.$$

Во всех случаях, в которых $t_h - t_z$ меньше, чем $\frac{t_n - t_u}{2}$, средняя температурная разность тоже меньше и во всяком случае — не средне-арифметическая обоих. Та же формула пригодна, когда тело и воздух находятся не в противотоке, а в прямом токе.

Как уже было изложено в главе 4, противоток создает большую разницу температур и требует поэтому меньшую поверхность, но когда речь идет о сушке очень мокрого материала, то часто избирают прямой ток, потому что при этом самый теплый воздух встречает самый мокрый материал, а потому и максимальная температура воздуха здесь может быть значительно выше, не опасаясь повредить материалу, что имеет место, при противотоке, когда очень горячий воздух встречается с уже почти высушенным телом. Но полного удаления влаги при прямом токе нельзя достигнуть.

Пример 39. Наивысшая температура $t_h = 100°$ С, температура отходящего воздуха $t_n = 36°$, первоначальная температура тела $t_u = 15°$, окончательная температура $t_z = 30°$; средняя разница температур будет не арифметическая средняя:

$$\frac{(100-30)+(36-15)}{2} = \frac{70+21}{2} = 45{,}5°,$$

а ее находят из таблицы XXIX, и так как:

$$\frac{21}{70} = 0{,}30, \text{ то } \vartheta_m = 0{,}583 \cdot 70 = 40{,}810°.$$

На коэффициент теплопередачи k сильно влияет, как известно, скорость v, с которой воздух омывает тело. Он равняется:

$$k = 2 + 10\sqrt{v}.$$

Количество переданной телу в течение 1 часа теплоты будет поэтому:

$$O_s = O \cdot \vartheta_m \cdot k = O \cdot \vartheta_m (2 + 10\sqrt{v}), \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (55)$$

а потребная поверхность тела O в *кв. м* для передачи C_s калорий теплоты будет:

$$O = \frac{C_s}{\vartheta_m (2 + 10\sqrt{v})} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (56)$$

Пример 40. Нужно испарить 100 *кг* воды в час; воздух протекает над высушиваемым телом со скоростью $v = 4$ *м* и имеет первоначальную температуру $t_h = 50°$, а конечную — $t_n = 25°$; тело же имеет в начале температуру $t_u = 15°$, в конце $t_z = 30°$

$$t_n - t_u = 25 - 15 = 10°,$$
$$t_h - t_z = 50 - 30 = 20°,$$
$$\frac{10}{20} = 0{,}5, \text{ следовательно } \vartheta_m = 14{,}48.$$

Тогда наружная поверхность тела должна быть:

$$O = \frac{62500}{14{,}48\,(2 + 10\sqrt{v})} \cong 197 \text{ кв. м}.$$

Площадь или вообще размер сушильного пространства должно соразмерить с временем, потребным для сушки данного материала. Если, например, отдельный кусок или отдельная часть материала для совершенного высушивания в известных условиях требует два дня времени, а в течение дня нужно высушить 1000 *кг*, то сушильное пространство должно иметь место минимум для $1000.2 = 2000$ *кг* высушиваемого тела.

Воздушный поток в сушильном пространстве следует (если он не направляется механическими средствами) тому пути, который ему указывает увеличение или уменьшение его удельного веса в сушке, так как более легкая воздушная смесь направляется кверху, а более тяжелая книзу. Воздух тем легче, чем он теплее и чем он более насыщен водяными парами. Какое значение здесь имеют температура и степень насыщения, показывает диаграмма IX, ординаты которой обозначают вес 1 *куб. м* воздуха при 760 *мм* ртутного столба: совершенно сухого *AB*, далее насыщенного до $^1/_4$—$^1/_2$—$^3/_4$ и сполна (*AC*, *AE*, *AG*, *AJ*) при температурах от — 20° до + 100° С. Эта же диаграмма дает вес 1 *куб. м* воздуха от 100° до 150°, содержащего столько влаги, сколько при 100° он может содержать.

Линия *LJM* изображает вес *куб. м* насыщенного пара при давлениях, соответствующих его температурам.

Из этого чертежа видно, что вообще, когда воздух нагревается только перед вступлением в сушку, а внутри охлаждается, то вес *куб. м* там часто увеличивается, даже тогда, когда он в сушке достигает большей степени насыщения.

Если же воздух и внутри сушки подогревается так, что он оставляет сушку с той же температурой, с которой вступил в нее, то он в конце всегда легче, чем в начале.

При горизонтальных сушилках обогревательную камеру следует устраивать у одного из концов, или перед ним, и вводить воздух снизу и выводить его горизонтально, и если выход не занимает всего сечения канала, то устраивать его ниже, но не выше, уровня камеры.

Случается, что приходится из некоторых тел удалять не воду, а другие жидкости, как эфир, алкоголь, бензол — весьма ценные, которые не должны быть потеряны, а обратно извлечены из воздуха. Поглотительная способность воздуха для указанных жидкостей может быть также легко рассчитана, как и для воды из известных упругостей их паров при разных температурах. Нижеприведенная табличка дает веса таких паров в 1 *куб. м* и 1 *кг* воздуха при 0 — 40° С.

Температура °С	Эфир вес в 1 *куб. м* воздуха, *кг*	Эфир вес в 1 *кг* воздуха, *кг*	Алкоголь вес в 1 *куб. м* воздуха, *кг*	Алкоголь вес в 1 *кг* воздуха, *кг*	Ацетон вес в 1 *куб. м* воздуха, *кг*	Ацетон вес в 1 *кг* воздуха, *кг*	Бензол вес в 1 *куб. м* воздуха, *кг*	Бензол вес в 1 *кг* воздуха, *кг*
0	0,787	0,802	0,0313	0,0243	0,235	0,1930	0,1160	0,090
10	1,192	1,530	0,0587	0,0470	0,374	0,3493	0,2000	0,160
20	1,752	3,391	0,1020	0,0846	0,571	0,6206	0,3239	0,269
30	2,512	12,39	0,1747	0,1510	0,845	1,153	0,4969	0,515
40	3,50	∞	0,2896	0,2572	1,222	3,420	0,7310	0,650

Частичное удаление жидкости из воздуха можно произвести сжатием и охлаждением воздушно-паровой смеси, при чем пары при наступлении точки сжижения выделяются. Совершенного выделения и обратного получения паров при этом не происходит, так как часть их удерживается воздухом. Требующееся сильное сжатие и охлаждение делает этот метод очень дорогим.

Проще приводит к цели способ, при котором смесь воздуха и пара прогоняют через другую жидкость, совершенно поглощающую пары, как, например, серная кислота для алкоголя, масло или вода для ацетона и т. п. Это поглощение жидкостью паров можно устроить в виде беспрерывно действующего аппарата из одного большого или, лучше, нескольких меньших сосудов с жидкостью, через которую прогоняют смесь воздуха и паров, при чем свежая поглощающая жидкость беспрерывно притекает в первый из сосудов, а из последнего уходит насыщенной парами. Если при этом процессе поглощения происходит химическая реакция с выделением тепла, то эту теплоту следует устранить охлаждением. Кроме того, капельки увлеченной воздухом жидкости тоже необходимо улавливать.

15. Циркуляция воздуха в сушильных пространствах и каналах.

A. Сопротивление движению.

Циркуляция воздуха через сушильное пространство и над высушиваемым материалом может происходить при помощи тяги трубы, механического отсасывания или же нагнетания центробежным воздушным насосом.

Так как скорость воздуха в сушке и вытяжной трубе уже заранее может быть определена, а равно и потребное количество воздуха, то речь здесь идет об определении потребной тяги (z) для преодоления сопротивлений и сообщения воздуху предусмотренной скорости. Тягу можно выразить в килограммах на $м^2$, что одновременно обозначает высоту давления в миллиметрах водяного столба, или же тяга может быть выражена высотой вытяжной трубы

$$z = h\,(\gamma_a - \gamma_i).$$

Тяга должна раньше всего сообщить воздуху предусмотренную скорость v_h и затем преодолеть препятствующее этому сопротивление. Последние состоят в расширениях и съужениях, изменениях направлений закруглениями, острыми коленами, поворотами, в трении о стенки и о поверхность материала, а при топках также в препятствиях от колосников, топлива, шиберов и т. п. Если для достижения скорости v необходима высота давления h, то по известным законам

$$h = \frac{v^2}{2g},$$

и если назовем высоты давлений для преодоления отдельных сопротивлений через h_1, h_2, h_3, h_n, то эти последние могли бы (если бы не надо было преодолевать сопротивления) дать скорости v_1, v_2, v_3, v_n. Можно теперь выразить каждую из этих высот давления, как часть ξ_1, ξ_2, ξ_3, ξ_n той высоты h, которая нужна для получения скорости v, так что вся высота

$$h_h = h + h_1 + h_2 + \ldots h_n = h + \xi_1 h + \xi_2 h + \ldots \xi_n h =$$
$$= \frac{v^2}{2g} + \xi_1 \frac{v^2}{2g} + \xi_2 \frac{v^2}{2g} + \ldots \xi_n \frac{v^2}{2g}$$

или

$$h_h = h\left(1 + \zeta_1 + \zeta_2 + \zeta_3 + \ldots \zeta_n\right) = \frac{v^2}{2g}\left(1 + \zeta_1 + \zeta_2 \ldots \zeta_n\right).$$

Вес воздуха в сушке остается почти неизменным от начала до конца, так как поглощаемый им пар (w) отражается на весе его только в 0,5 — 4%, но зато объем воздуха значительно изменяется на своем пути, так как воздух в конце своего нагрева занимает больше места, и так как поперечное сечение везде одинаковое, то скорость v_h должна быть здесь максимальной, а именно на 6 — 16% больше, чем в других местах.

Здесь скорость воздуха обусловливается разностью гидростатических давлений более теплого или влажного, а потому и более легкого воздуха вытяжной трубы (γ_1)

и более холодного и тяжелого, бедного водяными парами — внешнего (γ_2) воздуха, которая и вызывает ускорение g_1, аналогичное ускорению силы тяжести g, и тогда:

$$g_1 : g = (\gamma_a - \gamma_i) : \gamma_i \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (57).$$

Поэтому:

$$g_1 = \frac{g(\gamma_a - \gamma_i)}{\gamma_i},$$

откуда

$$h = \frac{v^2}{2g_1} = \frac{v^2 \cdot \gamma_i}{2g(\gamma_a - \gamma_i)} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (58).$$

Так как живая сила движущегося воздуха — в его наиболее горячем пункте — максимальная, и давление, потребное для получения ее, — h_h самое важное, то подставим его в уравнение:

$$h = \frac{v_h^2 \cdot \gamma_h}{2g(\gamma_a - \gamma_i)} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (59)$$

и получим потребную высоту давления только для получения требуемой скорости воздуха (без учета сопротивлений).

Настоящая же высота трубы, образующей тягу, принимая во внимание сопротивления:

$$h_h = \frac{v_h^2 \cdot \gamma_h}{2g(\gamma_a - \gamma_i)} \left(1 + \zeta_1 + \zeta_2 + \zeta_3 + \ldots + \frac{\gamma \cdot w \cdot n}{f}\right),$$

а отдельные коэффициенты сопротивления $\zeta_1 - \zeta_n \ldots$ определяются следующим образом:

ζ_1 — при внезапном расширении площади сечения канала, по которому протекает воздух происходит потеря живой силы. Если f — сечение расширения его, то v и v_s соответствующие скорости воздуха, и тогда потеря живой силы:

$$h_1 = \frac{(v - v_\varepsilon)^2}{2g} = \frac{\left(v - v\frac{f}{f_\varepsilon}\right)^2}{2g} = \frac{v_s^2\left(1 - \frac{f}{f_\varepsilon}\right)^2}{2g} = \zeta_1 \cdot h \quad \ldots\ldots (60)$$

и, следовательно,

$$\zeta_1 = \left(1 - \frac{f}{f_\varepsilon}\right)^2.$$

И для:

$\frac{f}{f_\varepsilon} = 1$	0,8	0,6	0,4	0,2	0,1	0,01
$\zeta_1 = 0$	0,04	0,16	0,36	0,64	0,81	0,98

ζ_2 — при внезапном сужении канала (острыми краями) происходит потеря скорости в 0,04 от сужения и затем потеря живой силы от последующего за сужением расширения струи $= \left(\frac{1}{a} - 1\right)^2$, где уменьшается от 1 до 0,6 с уменьшением отношения $\frac{f}{f_\varepsilon}$.

Для

$\frac{f}{f_\varepsilon} = 1$	0,8	0,6	0,4	0,2	0,1	0,01
$a = 1{,}0$	0,77	0,70	0,65	0,62	0,61	0,60
$\zeta_2 = 0$	0,13	0,23	0,33	0,42	0,46	0,50

Для расширения с последующим за ним сужением:

$$\zeta_1 + \zeta_2 = 0 \quad 0{,}17 \quad 0{,}39 \quad 0{,}69 \quad 1{,}06 \quad 1{,}27 \quad 1{,}48$$

ζ_3 — сопротивление шибера. Если его полное отверстие $= f$, а суженное $= f_s$, то следует для:

$$\frac{f_s}{f} = 1 \quad 0{,}8 \quad 0{,}6 \quad 0{,}4 \quad 0{,}2$$
$$\zeta_3 = 0 \quad 0{,}25 \quad 0{,}5 \quad 0{,}75 \quad 1{,}0$$

ζ_4 — закругление в кривом сечении канала диаметром d и радиусом r требует для

$$r = 4\,d \quad 3\,d \quad 2\,d \quad 1\,d \quad 0{,}5\,d$$
$$\zeta_4 = 0{,}11 \quad 0{,}13 \quad 0{,}20 \quad 0{,}30 \quad 2{,}0$$

ζ_5 — для прямоугольного с острыми краями колена в канале $\zeta_5 = 1{,}5$.

ζ_6 — для двух прямоугольных с острыми краями колен близко одно от другого, когда среднее расстояние между ними $= e$, будет

$$e = 2\,d \quad 3\,d \quad 4\,d \quad 5\,d \quad 8\,d$$
$$\zeta_6 = 3{,}0 \quad 2{,}4 \quad 2{,}0 \quad 1{,}5 \quad 1{,}0$$

ζ_7 — слой топлива на решетке в зависимости от величины кусков топлива, высоты слоя его и рода материала требует силы тяги $z = 5 - 30$ *мм* водяного столба, тяга $z = h(\gamma_a - \gamma_i)$. Вес *куб. м* воздуха внутри (γ_a) и вне (γ_i) вытяжной трубы дают тогда высоту $z_7 = h_7 (\gamma_a - \gamma_i)$

$$h_7 = \frac{z_7}{\gamma_a - \gamma_i} .$$

R_1 [1])—трение обусловливает потерю живой силы, оно действует, как сила или вес, быстро проходящие путь w, почему потеря $= \frac{R \cdot v^2}{2 \cdot g}$.

Трение пропорционально количеству материала (u), приходившего по пути (w) воздушной струи в соприкосновение с воздухом, что в данном случае равносильно общей поверхности аппарата и материала $O = w \cdot u$, далее оно обратно пропорционально сечению канала f и прямо пропорционально постоянному числу ϱ

$$R = \varrho \cdot \frac{w \cdot u}{f} = \frac{\varrho \cdot O}{f} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \quad (61)$$

ϱ имеет следующие значения для:

$$f = 0{,}50 \quad 0{,}60 \quad 0{,}70 \quad 0{,}80 \quad 0{,}90 \quad 1{,}0\ м^2$$
$$\varrho = 0{,}038 \quad 0{,}012 \quad 0{,}010 \quad 0{,}0084 \quad 0{,}0080 \quad 0{,}0076$$
$$f = 1{,}5 \quad 2{,}0\ м^2$$
$$\varrho = 0{,}0073 \quad 0{,}0070$$

К рассчитанной таким образом высоте засасывания, когда она служит мерилом для устройства вытяжной или дымовой трубы или воздуходувки, надежности ради, следует прибавить некоторую значительную величину на разные неучтенные и непредвиденные сопротивления.

B. Дымовые (и вытяжные) трубы.

Так как трубы должны работать при самых различных атмосферных условиях, касающихся наружных температур, направления ветра, неплотностей, то легко может статься, что для удовлетворения своего назначения — во всякое время и при всех условиях — высота трубы должна быть выбрана с значительным избытком. В таких случаях предпочтительно циркуляцию воздуха обслуживать центробежной воздуходувкой, отработавший пар которой может быть применен для нагрева воздуха.

---

[1]) О коэффициентах сопротивления воздуха движению см.: H. Rietschel „Leitfaden z. Projektierung und Berechnung von Heizungs und Lüftungsanlagen", откуда и взяты б. ч. вышеприведенные значения для z.

Пример 41.

Внешняя температура . . . . . t_a	— 20				+ 10				+ 20				+ 30				
Вес наружного воздуха . . . . γ_a	1,30				1,25				1,20				1,14				
Внутренняя температура . . . t_i	300	150	70	40	300	150	70	40	300	150	70	40	300	150	70	40	
Вес внутреннего воздуха . . . γ_i	0,616	0,837	0,938	1,105	0,616	0,837	0,938	1,105	0,616	0,837	0,938	1,105	0,616	0,837	0,938	1,105	
$\gamma_a - \gamma_i$	0,684	0,463	0,360	0,195	0,634	0,413	0,310	0,143	0,584	0,363	0,262	0,095	0,524	0,303	0,202	0,075	
Вес воздуха L	10000				10000				10000				10000				
Максимальная температура . . t_h	1000	250	150	80	1000	250	150	80	1000	250	150	80	1000	250	150	80	
Объем воздуха . . . . . V_h	36000	14510	11100	10020	36000	14510	11100	10020	36000	14510	11100	10020	36000	14510	11100	10020	
Поверхность нагрева . . . . . H	—	—	200	80	—	—	200	80	—	—	200	80	—	—	200	80	
Наивысшая скорость . . . . . v_h	8,2	5	5	5	8,2	5	5	5	8,2	5	5	5	8,2	5	5	5	
Поверхность материала . . . . O	200	110	125	170	200	110	125	170	200	110	125	170	200	110	125	170	
$\frac{v_h^2 \cdot \gamma_i}{2g \cdot (\gamma_a - \gamma_i)}$	2,53	2,25	3,23	7,20	2,81	2,52	3,78	9,71	3,05	2,95	4,40	14,30	3,40	3,45	5,80	39,50	
$\zeta_1 + \zeta_2 = 0{,}54$ расширения	1,26	1,21	1,74	3,84	1,52	1,36	2,04	5,24	1,65	1,59	2,35	7,72	1,84	1,86	3,13	21,33	
$\zeta_3 = 0{,}65$ шибера	1,64	1,46	—	—	1,83	1,64	—	—	1,98	1,92	—	—	2,21	2,24	—	—	
$\zeta_4 = 2 \cdot 0{,}3$ закругления	0,80	0,70	0,65	2,13	0,85	0,80	1,13	2,71	0,91	0,90	1,32	4,30	4,50	4,50	1,74	11,20	
$\zeta_5 = 1 \cdot 1{,}5$ колена	3,76	3,38	4,96	10,60	4,20	3,76	5,67	14,56	4,57	4,45	6,66	21,40	5,10	5,16	8,70	59,20	
$\zeta_7 = 8$ *мм* топлива	11,68	17,28	—	—	12,56	19,36	—	—	13,68	22,00	—	—	23,28	26,40	—	—	
Трение: $\frac{\varrho \cdot H}{f}$ на поверхность нагрева.	—	—	1,40	0,62	—	—	1,40	0,62	—	—	1,40	0,62	—	—	1,40	0,62	
Трение: $\frac{\varrho \cdot O}{f}$ на высушиваемом материале	1,20	0,77	0,88	1,33	1,20	0,77	0,88	1,33	1,20	0,77	0,88	1,33	1,20	0,77	0,88	1,33	
Трение: $\frac{\varrho \cdot S}{f}$ в трубе	0,42	0,55	0,22	0,55	0,54	0,63	0,28	0,78	0,60	0,70	0,42	1,07	0,80	1,05	0,56	2,41	
Общая высота . . . . . h_h	23,29	27,60	13,08	26,27	25,51	30,84	15,18	33,95	27,64	35,28	17,43	50,74	43,33	45,43	22,21	135,63	

Что в каждом отдельном случае предпочесть, — трубу или воздуходувку, — может быть решено в сторону предпочтения воздуходувки (даже при достаточной тяге в трубе) и по другим основаниям, как, например, по надежности в работе, при дешевой силе, недостатке места, быстроте оборудования, легкой замене и др.

Вышеуказанные (стр. 70) примеры относятся к ежечасно циркулирующему весовому количеству воздуха $L = 10000$ *кг*. Температуры внешнего воздуха, колеблющиеся в пределах $t_a = -20 \div +30°$, воздуха вытяжной трубы $t_i = 300 - 40°$ и максимальный нагрев воздуха $t_h = 1000 - 80°$ требуют самых различных высот трубы h. Поверхности нагрева H, поверхность высушиваемого тела O, сечение каналов f, максимальная скорость воздуха v_h — в этих примерах приняты произвольные.

Размеры и данныя для работы вентиляторов для сушильных аппаратов помещены в конце книги в таблицах XXX и XXXI.

Часть II[1]).

Различные конструкции сушильных аппаратов для разных подлежащих высушиванию материалов.

---

1. Общие соображения.

Процессу сушки приходится подвергать многочисленные материалы и продукты, как в домашнем обиходе, так и в разнообразных областях промышленности. Только в очень редких случаях можно обойтись без применения того или другого вида высушивания.

В этих процессах речь не всегда идет об удалении из подвергаемых процессу сушки материалов, именно, воды; очень часто приходится удалять летучие, весьма ценные жидкости, как, например, алкоголь, бензол, бензин, эфир, ацетон, которые необходимо не только удалить из высушиваемых тел, но и собрать, по возможности, наисовершеннейшим способом, ничего не теряя, от чего процесс высушивания становится много сложнее. Но и вода, которую приходится удалять из высушиваемых тел, в большинстве случаев далеко не всегда находится в состоянии простой смеси с этими телами, как, например, в песке, бумаге, холсте, и поэтому она не может быть легко и просто удалена без риска подвергнуть коренным изменениям высушенные таким образом тела. Вода часто играет выдающуюся роль в самом составе различных тел. Многие тела с удалением из них воды теряют свою форму, при чем молекулы и волокна таких тел сжимаются; многие тела изменяют свой цвет, некоторые после удаления воды теряют значительную часть своей способности вновь поглощать воду или растворяться в воде, как, например, альбумин, молоко, жидкое стекло, в то время, как другие тела после удаления из них воды опять поглощают в известной мере воду из воздуха, как, например, растительные вещества, торф, дерево и пр. Некоторые тела, после удаления воды, становятся хрупкими и неэластичными или претерпевают даже химические изменения.

Минеральные вещества в большинстве сохраняют свои свойства и относятся индифферентно к процессу удаления из них воды; они, однако, совсем не индифферентны к температуре сушки, ее продолжительности и т. д.

Большинство тел требует медленного прохождения процесса, охватывающего высушиваемое тело, по возможности, со всех сторон при определенной температуре,

---

[1]) Zeitschrift d. Vereins Deutscher Ingenieure, 1921. E. Hausbrand „Das Trocknen", №№ 33, 37 и 38.

не превышающей требуемой степени нагрева, потому что иначе одни тела, как экстракты, молоко и кровь, очень пенятся, а другие, как кирпич, дерево и глина, искривляются, коробятся, трескаются, образуют кору, которая мешает дальнейшей сушке; так что при несоответствующем воздействии теплоты можно даже совершенно испортить высушиваемые материалы. Таким образом, каждое подлежащее высушиванию тело требует сообразно своим свойствам особых условий высушивания, которые могут быть изучены только специальными опытами над ним, и только на основании этих опытов могут быть выработаны и соответственные методы работы.

Некоторые товары высушивают для сокращения расходов по их транспорту, так как они занимают тогда меньше места, требуют более простой упаковки и меньше весят. У других материалов отнимают воду потому, что это необходимо для их применения, или потому, что при хранении их без высушивания — они портятся. Порча товаров, если в них не наступает никаких химических превращений (которым наличие большей влажности часто благоприятствует) — есть в большей части случаев следствие вредной работы бактерий. Поэтому необходимо, поскольку это возможно, затруднить и даже совершенно лишить эти бактерии возможности жить и размножаться. Почти все эти вредные организмы требуют для своего существования больших количеств воды, и так как почти все органические и многие неорганические вещества содержат в себе много воды (мясо — 75%, фрукты и овощи — 80 — 95%, молоко — около 88%, кровь — 80%, лекарственные растения и травы—85%), то для их сохранения необходимо удаление избытка влаги. Не всякая бактерия поражает любой материал; часто достаточно высушить материалы до 40 — 50% содержания воды, чтобы преградить развитие вредных организмов. Но в большинстве случаев удаление воды необходимо довести до содержания в 10—15%, ибо только тогда мелкие организмы окончательно исчезнут. Если не удастся умертвить все эти грибки и кокки помощью стерилизации, то необходимо высушиванием довести тела до указанного низкого %-ного содержания воды, чтобы затем сохранять их в герметической посуде. Чтобы получить материал, пригодный для размалывания, для расщепления или для получения из него совершенно безводного порошка (что может быть достигнуто в безвоздушном пространстве или помощью согретого воздуха), требуется особенно много времени, потому что последние порции влажности отделяются обычно весьма трудно и медленно. При горючих материалах (топливо), как торф, дубильная кора, угольный мусор, выжатый сахарный тростник довольствуются при транспорте на короткие расстояния высушиванием этих материалов до 50—25% содержания воды в них; хотя дальнейшее высушивание и улучшает их теплотворную способность, но расход топлива едва окупается этими улучшениями. Бурые угли с содержанием воды в 50—57% подвергаются большею частью высушиванию в особых устройствах — для их дальнейшего транспортирования — до содержания около 13% воды.

Так как высушивание является дорогим способом, то естественно, что при тех материалах, где это возможно, применяют дешевые пути хотя бы для удаления части воды: например, при сушке белья — удаление большей части воды производится отжиманием, при сахаре, солях, табаке, красках, пряже оно достигается с помощью центрофуг, при некоторых волокнистых веществах — отпрессовыванием между вальцами, при бумаге, сахаре, солях, некоторых порошках — отсасыванием под действием вакуума; при некоторых солях — наслаиванием в высокие кучи, из

которых вода стекает вниз и отводится. Стараются также использовать различными способами естественную воздушную сушку под крышей, или, просто, под открытым небом. За этой предварительной воздушной сушкой следует еще обычно быстрая искусственная сушка. Сырые и выделанные кожи, например, прессуют и пропускают через вальцы, чтобы удалить избыток впитанной ими воды прежде, чем подвергать их процессу высушивания.

В то время, как для удаления 100 *кг* воды выпаркой требуется 110, а, при многократных испарительных аппаратах, только 50 — 25 *кг* свежего пара или эквивалентное количество топлива, — высушивание этого же количества воды требует по большей части 200—300 *кг* пара. Поэтому целесообразно, и обычно принято, разбавленные жидкости, из которых нужно получить сухое вещество, предварительно выпарить, что очень часто удается, до содержания воды около 40—60%, как при молоке, клее, красочных отварах, крови и растворах солей.

Для предварительной выпарки лучше всего пользоваться вакуум-аппаратами, в которых отработавшие пары всякого рода от 100° и ниже используются очень экономно, в виду того, что 100 *кг* такого пара в соответствующих аппаратах могут удалить из растворов от 200 до 800 *кг* воды, не подвергая растворы ни малейшим вредным последствиям, благодаря низкой температуре, при которой происходит испарение (при разрежении).

Нижеследующая таблица показывает, какие большие количества могут быть удалены из слабых растворов помощью дешевой выпарки или прессования прежде, чем применять дорогой процесс непосредственного высушивания.

Чтобы получить 100 *кг* материала с содержанием 10—12½ или 15% воды из слабых растворов, содержащих от 5—30% твердых веществ, можно посредством испарения, прессования и центрофугования удалить воды:
при содержании твердых веществ:

5% 10% 15% 20% 25% 30%,

для товара с 10% остаточной влаги:

1636,5 713,5 436,5 286,5 196,5 136,5 литров воды,

для товара с 12,5% остаточной влажности:

1588,5 713,5 421,5 276,5 188,5 130,5 литров воды,

с 15% остаточной влаги:

1540 690,5 407,5 265,5 180,5 123,5 литров воды,

а затем на долю дорогого процесса высушивания останется лишь удалить для товаров с

10	12,5	15% воды
73,5	71,5	69,5 литров воды

Показательно соображение, что для того, чтобы довести жидкость с содержанием воды в

95 90 85 80 75 70 65 60%

до состояния 50%-ного содержания воды, необходимо удалить из них соответственно около

95 90 80 75 66 55 45 33% воды.

Вода в высушиваемых материалах распределена самым различным образом. В то время, как в некоторых телах вода является совершенно посторонней примесью (в песке, некоторых порошках), где она только облегает твердые частицы (зерна) этих тел, не принимая никакого участия в составе самих тел, и потому легко может быть удалена без изменения состава и структуры самих тел; в других телах, как, например, у всех почти органических веществ растительного или животного происхождения, она образует существенную составную часть их, и ее удаление очень часто совершенно изменяет характер самого тела. Вода смачивает кристаллы некоторых солей только снаружи, у других она скрывается в маленьких совершенно закрытых пустотах, стенки которых от превращения воды в пар разрушаются, — такие соли, как говорят, трещат при нагревании. Густые кашеобразные вещества состоят из влаги, в которой густо замешаны маленькие пылеобразные зерна сухого вещества, как, например, в красящих веществах. В других телах сухое вещество совершенно и вполне растворено, так что они имеют вид жидких или густых сиропообразных масс с молекулярным распределением ценной составной части, как, например, в мальц-экстракте. При еще большем содержании воды материал является совершенной жидкостью, как молоко, жидкие дрожжи, отвар клея и др. Можно высушивать как разбухшие вещества, содержащие 60—90% воды (клей, желатин), так и пористые тела, похожи ли они на мокрые губки, которые можно сжимать, или же тверды, как пемза.

В зависимости от свойств подвергаемых высушиванию тел, — к ним нужно подвести столько тепла, вплоть до самых отдаленных от переферий частиц, высушиваемой массы, чтобы влажность этих последних могла превратиться в пар. Так как вся влага, содержащаяся в телах, а также и твердые составные части суть плохие проводники тепла, то только в редких, единичных случаях удается довольно скоро подвести потребное количество тепла от поверхности к центру высушиваемой массы. Затруднения представляют часто форма и структура тел, которые не позволяют привести в соприкосновение с твердой нагревающей поверхностью большие поверхности этих тел, а только некоторые опорные точки их.

Это одна из основных причин, вследствие которой применение метода непосредственной передачи тепла высушиваемому материалу прикосновением его с нагреваемыми поверхностями ограничивается лишь подвижными, легко меняющими свою форму жидкими кашеобразными, сиропообразными и мелкозернистыми телами.

Передача тепла от наружных поверхностей отдельных тел во внутрь их происходит очень медленно, но, очевидно, что хотя необходимое время для передачи теплоты на определенную глубину еще не удалось подсчитать, — оно будет тем менее, чем меньше отдельные части, куски, из которых состоит высушиваемая масса. Поэтому необходимо перед процессом сушки крупных тел, если этому не мешают какие-либо другие соображения, постараться их измельчить, например, разрезая их на мелкие части, как это делают при фруктах, овощах, соломе, сене, или раздавливая и разламывая, как при свекле, клее, мыле и др. Спрессовывают некоторые подходящие для этого вещества в палочки, развальцовывают в пластинки, разбрызгивают их мелкими каплями в воздух, подвергают их действию обогревательной и лучистой теплоты в плоских чашках (выпарительные чрены), или же наносят кистями или вальцами на горячие поверхности. Такое развитие поверхности

высушивания делается с целью приблизить внешнюю поверхность высушиваемой массы к ее внутренним частям настолько, чтобы сократить путь, а, следовательно, и время, потребные для передачи тепла всей массе материала.

Легко подвергающиеся изменениям вещества портятся от „продолжительного" нахождения при высокой температуре. Иногда влияние высокой температуры в течение очень „короткого" времени не вредит даже и очень чувствительным веществам, так что некоторые из этих тел, нанесенные слоями толщиной менее $^1/_2$ *мм*, подвергаются в течение нескольких секунд действию температуры от 100 до 120° С, и их удается высушить, не рискуя их разрушить. Но вообще такие, легко подвергающиеся изменениям тела удается высушить непосредственным нагреванием, не причиняя им вреда, только тогда, если их заставляют в особо приспособленных аппаратах постоянно вращаться и поворачиваться и таким образом непрерывно подставлять горячим обогревательным поверхностям все новые части своей поверхности в то время, как части их поверхностей, только-что нагревшиеся, будут иметь время препровождать свое тепло внутрь; таким образом перегрев и порча их избегается.

Так как время, потребное для процесса высушивания тел, уменьшается с увеличением разницы температур обогревающей поверхности и высушиваемого тела, а от этого возрастает и производительность сушильной установки, то естественным стремлением техники является применение наивысших допускаемых температурных разниц.

Несмотря на значительные различия в свойствах подвергаемых сушке тел и в характере протекания самого процесса сушки при разных телах, — все же имеются только два основных метода нагрева тел, а именно: 1) непосредственным соприкосновением с горячими поверхностями нагрева и 2) действием проходящего над телами теплого газа (воздуха), при чем, во всяком случае, и при высушивании соприкосновением с горячими телами редко можно обойтись без помощи влияния воздуха. Поэтому вполне понятно большое разнообразие, которое представляют отдельные аппараты и оборудования для целей сушки.

2. Сушка методом непосредственного соприкосновения [1]).

а) На неподвижных поверхностях.

Простейшие и старейшие установки для сушки зернистых масс — это крытые глиной или железными плитами поверхности каналов, через которые проходят дымовые газы, (рис. 5 и 6). Соединяя эти каналы по несколько вместе, удается образовать значительные поверхности, на которых распределяют высушиваемые мате-

[1]) К подобным же процессам сушки непосредственным соприкосновением следует отнести употребляющиеся часто приемы предварительного удаления воды помощью губок, пропускной бумаги, торфа, гипса, сушильных плит, извести, не достигающие полного обезвожения, но в соединении с другими способами сушки серьезно способствующие полному или (в требуемой степени) удалению влаги из данных масс. Нужно еще упомянуть об одном остроумном способе, по которому вводят в жидкости сухие зерна желатины или клея, которые, разбухая, впитывают в себя значительное количество воды, совершенно не изменяя притом высушиваемых продуктов.

риалы. Большим или меньшим слоем глины или другого подобного плохопроводящего тепло материала можно уменьшить слишком высокую температуру поверхностей, непосредственно обогреваемых дымовыми газами, чем одновременно уменьшается производительность установки (с квадратного метра поверхности сушки), — если увеличением общей поверхности перекрытия каналов не удается все же хорошо использовать теплоту отходящих дымовых газов. Каждый род газов, отработавших в топках, печах, отопительных приборах, может быть здесь целесообразно применен, как это и имеет место в выпарительных чренах солеварен, на солодовых сушках, у печей для прокаливания животного угля, в недавно топленных пекарных печах, — в каковых случаях каждый квадратный метр испаряет от 0,4 до 0,6 *кг* воды. Полезно пропускать над высушиваемыми материалами легкий ток воздуха, чтобы увлечь пары воды, которые иначе мешают сушке. Вообще необходимо подвести столько воздуха, чтобы он в состоянии был впитать всю испаряемую влагу, не доводя степени своего насыщения более, чем до 75%.

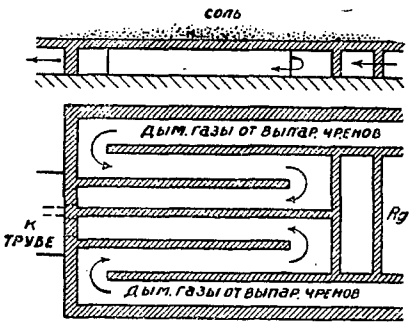


Рис. 5 и 6.
Сушильное устройство для зернистых сыпучих тел.

Сокращенные обозначения на чертежах.

Trg. — высушиваемый материал.
Dh. — паровое отопление.
Kw. — конденсационная вода.
Le. — впуск воздуха.
La. — выпуск воздуха.
Rg. — дымовые газы.
A. — привод (в движение).
F. — топка.
V. — воздуходувный прибор.
W. — вагон.
M. — нож.

Железные плиты с двойными стенками, отапливаемые паром, как на рис. 7, служат в разных предприятиях для сушки отдельных предметов, например, склеенного дерева, а в больших предприятиях применяют много таких плит, размещенных друг над другом в особых металлических шкафах (рис. 8) или каменных нишах с дверьми. В этих шкафах или камерах плиты обогреваются отработанным паром, и высушиваемый на них материал подвергается действию сильной противоточной, зигзагообразной струи воздуха, удаляющегося затем в дымовую трубу. С меньшим успехом, вследствие меньшего количества точек соприкосновения, применяются вместо плит с двойными стенками железные трубы, отапливаемые горячим паром.

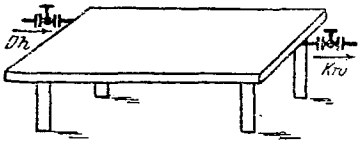


Рис. 7.
Сушильная плита (обогрев. паром).

На этих трубах горизонтально размещаются чашки, наполненные высушиваемым материалом.

Круглые плиты с двойными стенками, отапливаемые паром и снабженные подвижной мешалкой, оказываются полезными для высушивания клейкой, тестообразной, рыхлой массы.

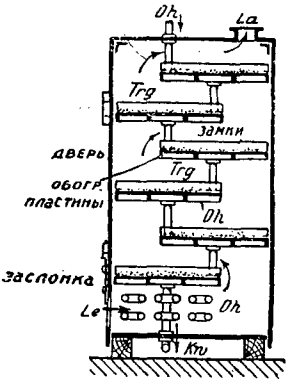


Рис. 8.
Паровой сушильный шкаф.

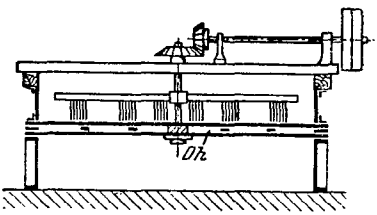


Рис. 9.
Сушильная плита с мешалкой.

в) Сушка во вращающихся барабанах.

В некоторых случаях обработанные газы пропускают снаружи металлических вращающихся барабанов или вальцов, внутри которых помещают зернистые тела, передвигаемые планками или лопатками от одного конца барабана к другому. Если для отопления металлических поверхностей служит пар, отдающий свое тепло высушиваемой и вращающейся в цилиндрах массе, то для этой цели выгоднее применять барабаны с двойными стенками, как показано на рис. 10.

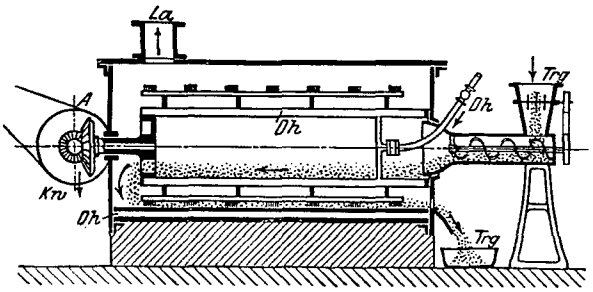


Рис. 10.
Сушильный барабан с паровым отоплением.

При необходимости для некоторых высушиваемых масс применять более высокие температуры, а значит, и высокие давления пара, служащего для высушивания, и связанной с этим необходимости увеличения прочности стенок барабанов, подвергающихся высокому давлению — предпочитают применять для отопления металлические змеевики, размещаемые на внутренней поверхности барабанов и вращающиеся или отдельно, или вместе с барабаном, отчего перелопачивание массы происходит более совершенно и различные части ее постоянно приводятся в соприкосновение с горячими поверхностями барабана. Этим способом удается удалять, например, из гипса 0,6 *кг* воды в час с каждого квадратного метра поверхности барабана, (рис. 11).

При более значительных поверхностях применяют вращающиеся пучки труб, при чем упрощаются также детали всей установки, (рис. 12).

Чтобы достигнуть значительной производительности, например, при высушивании свекловичной стружки (жома) устраивают несколько таких желобов друг над другом, снабжая мешалку пучком отапливаемых паром труб. При этом, несмотря на быстрое продвигание массы из одного желоба в следующий, нижележащий, стружка приходит вниз уже совершенно сухой, (рис. 13).

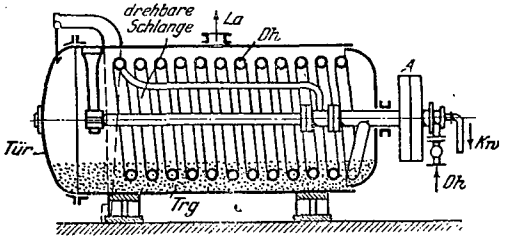


Рис. 11.
Сушильный барабан с вращающимся паровым змеевиком.

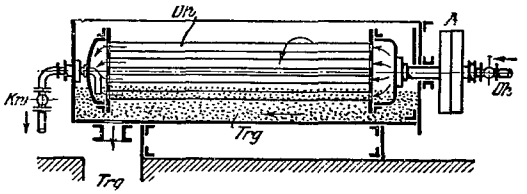


Рис. 12.
Сушильный желоб с вращающимся пучком труб.

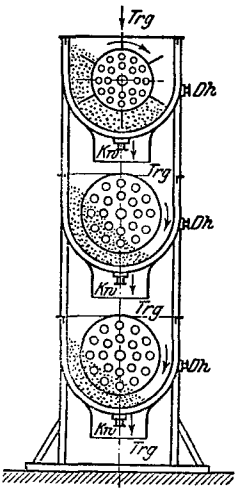


Рис. 13.
Сушильные желоба для свекловичной стружки.

Вместо совершенно закрытых барабанов иногда применяют также открытые, с двойными стенками, отапливаемые паром желоба с шнековыми приспособлениями для подачи материала. Они находят применение при высушивании выщелоченных масс на пути их транспортирования от выщелачивательного аппарата к складочному хранилищу (рис. 14 и 15), при чем предполагается, что горячая масса, оставляя шнек, использует свою теплоту на испарение еще оставшейся в ней влаги. Хорошее влияние оказывает также многократное соприкосновение массы с горячими стенками желоба при помощи лопастей шнека, так как вообще теплота передается только от поверхностей соприкосновения и медленно проникает во внутрь массы. Из совсем еще мокрых материалов горячая стенка испаряет 6 литров воды с каждого кв. метра в час, а из менее влажных материалов — значительно меньше.

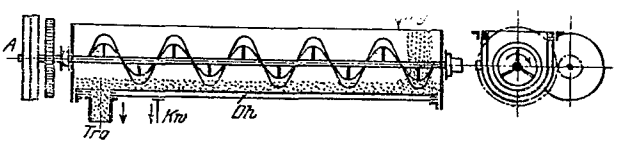


Рис. 14 и 15.
Сушильные желоба с шнековой подачей.

Для сушки бурого угля устраивают прочные горизонтальные, с двойными стенками плиты, отапливаемые паром, 2 – 3 метра диаметром, расположенные по 12—24 в ряду друг над другом с таким расчетом, чтобы беспрерывно поступающая на верхнюю плиту масса угля с 57% воды выходила бы с нижней плиты с 13% содержания воды. Во время этого процесса влажную массу с каждой плиты сбрасывают механическими скребками через внешний край плиты или через центральное отверстие в ней на следующую плиту. Для подачи пара и отвода конденсационных вод служат указанные на чертеже трубы-колонны (рис. 16). Эти сушки, работающие паром в 2,5 атм., испаряют с одного квадратного метра в час 2,3 *кг* воды, при этом высушиванию помогает также свободно циркулирующий воздух, обогреваемый нижними плоскостями горячих плит.

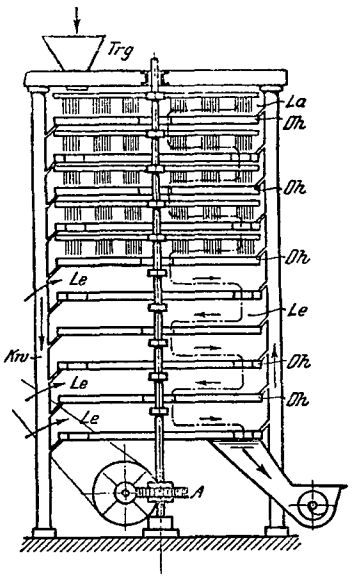


Рис. 16.
Башня для сушки бурого угля.

Поверхности более значительных размеров легче всего получить на сравнительно небольшом пространстве в форме труб. Поэтому новые сушки для бурых углей состоят из несколько наклонно уложенного, вращающе-

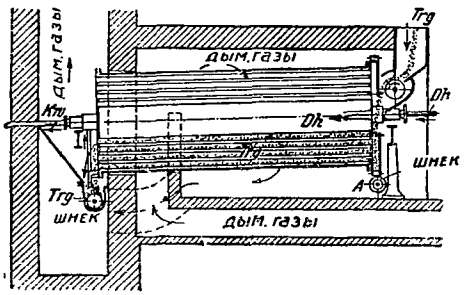


Рис. 17.
Сушка для бурого угля.

гося металлического кожуха, в котором помещают пучек труб (напр., 4 дюйма диам. и 7 метров длиной), нагреваемых снаружи паром в 3 атм. Загружаемый бурый уголь, наполняющий только до половины каждую трубу, подвигается книзу, а нагретый воздух в каждой трубе поднимается над углем вверх (рис. 17). Циркулирующий таким образом теплый воздух, помогая высушиванию угля, вместе с тем увлекает и уносит с собою образующиеся при сушке пары; производительность этой сушки достигает 3,4—4 *кг* воды в час с одного квадратного метра поверхности труб.

С. Сушка на вращающихся барабанах.

Очень часто, в особенности в бумажных и ткацких фабриках, применяют для высушивания бумаги, папки и тканей гладкие, вращающиеся, медные, полые, отапливаемые извнутри паром от 1 до 5 атм. барабаны (так называемые калландры), (рис. 18), над и между которыми, плотно их облегая, проходят высушиваемые материалы. Калландры состоят обыкновенно из 1—4 цилиндров, диаметром

300—800 *мм*, а бумагоделательные машины имеют часто 4—10 таких расположенных друг над другом цилиндров, диаметром 1—$2^1/_2$ метра при 1,5—2,5 метров длины, испаряющих от 6—12 *кг* воды в час с 1 квадратного метра покрытой материалом поверхности, в зависимости от давления пара. Но для достижения хорошей степени испаряемости необходимо устройство особенно целесообразной вентиляции и достаточного размера впускных и выпускных отверстий для пара, в чем часто неправильно экономят.

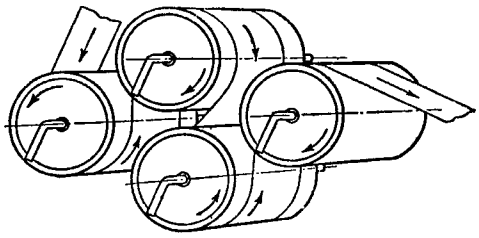


Рис. 18.
Паровые сушильные барабаны для бумаги

Бумага и ткани по структуре своей и по незначительной толщине их, через которую тепло легко проникает и которые совсем не мешают легкому и свободному удалению испарений, особенно подходят для высушивания на таких барабанах (рис. 19).

Но то же справедливо и для таких еще довольно легко подвижных, но не совсем жидких тел, как сгущенное молоко с содержанием 45—50% сухих

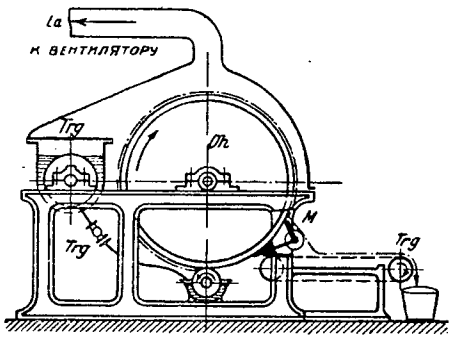


Рис. 19.
Сушильный барабан.

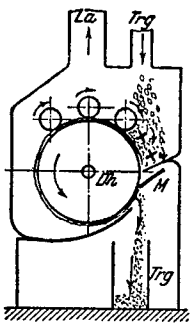


Рис. 20.
Картофельная сушка с одним барабаном.

веществ, вязкая, тягучая кровь с 20%, клей, жидкие дрожжи, а равно и кашеобразные массы, как, напр., картофельная мязга. Эти массы, нанесенные тонким слоем на горячие барабаны, натвердо высушиваются и могут быть сняты с них ножами в виде лент. На рис. 20 изображенный сушильный барабан состоит из чугунного цилиндра, обогреваемого паром в 1—3 атм., делающий 2—3 оборота в минуту, диаметром 0,8—1,3 метра, длиною 1,5—2 метра. На этот барабан жидкая масса попадает при помощи подающего валика. Масса, пройдя $^3/_4$ поверхности нагретого барабана, снимается удобно расположенными ножами, по желанию более или менее прижимаемыми к поверхности цилиндра.

Пенистость молока на подающем валике и склонность металлического цилиндра, особенно при неравномерной толщине стенок его, искривляться при нагревании и деформироваться, представляли значительные затруднения, в настоящее время,

впрочем, устраненные. Эти одиночные цилиндры окружаются металлическим кожухом, из которого отсасывают воздух, нагревшийся от соприкосновения с цилиндрами, с самой массой и обогревательными трубами и увлекающий с собою испаряющуюся влагу. Производительность от этого увеличивается до 50—70 литров воды с одного квадратного метра в час.

Вместо одного барабана такого значительного диаметра часто устраивают аппараты из двух вальцов, диаметром 500—800 *мм* и длиною 1,5—2,2 метра, обогреваемых паром от 3 до 8 атм. (рис. 21), также для сушки молока, крови,

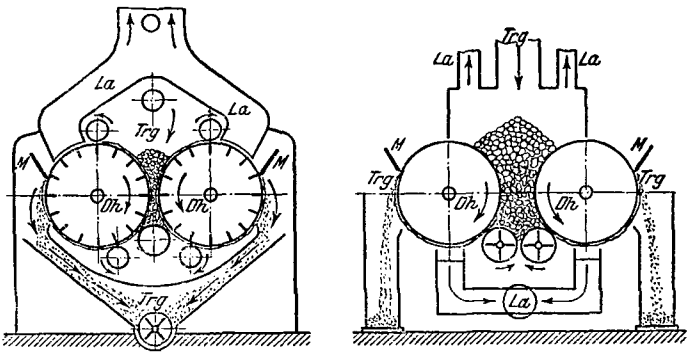


Рис. 21 и 22.
Картофельная сушка с двумя барабанами.

дрожжей, но главным образом для предварительно распаренного картофеля. Растояние между цилиндрами, вращающимися в противоположные стороны, делают таким узким, что слой поступающего сверху материала имеет как-раз ту толщину, которую оба барабана должны на себя принять, чтобы каждый цилиндр, пройдя $^5/_8$ своей окружности, мог быть освобожден ножами от массы, содержащей уже только 12—15% влажности. Особые механические мешалки равномерно распределяют массу; протягиваемый над вальцами теплый воздух увеличивает производительность аппарата; отапливаемые паром шнеки, принимающие готовый высушенный продукт, служат и для дополнительного высушивания массы, если бы она была еще влажна.

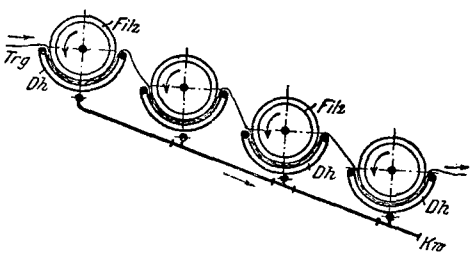


Рис. 23.
Калландр для сушки тканей.

Степень испарения весьма различна и составляет от 40 до 90 *кг* воды с одного квадратного метра в час в зависимости от сырья, температуры пара и прочих условий протекания процесса сушки. Расходы силы 1,5—2,5 лош. сил. Чтобы увеличить производительность этих барабанов-вальцов и избежать при этом внутреннего давления в них, их иногда обогревают вместо пара высокого давления — маслом с температурой от 227° до 238° С (способ Кельча). При таком опыте испаряемость достигла 89 литров с одного квадратного метра в час.

Некоторые связанные с работой в этих аппаратах неприятности (неравномерный слой массы, большие напряжения, разрушительно действующие посторонние тела) могут быть избегнуты, если расстояние между барабанами сделать больше и наносить массу на них с помощью распределительных валков (рис. 22).

Мокрые полотнища шелковой материи сушат в аппарате, состоящем из четырех корыт с двойными стенками, отапливаемыми паром. В этих корытах вращаются легкие, обтянутые войлоком, валики, протягивающие высушиваемое на горячих поверхностях корыт полотно (рис. 23).

3 Сушка в разреженном пространстве.

А. На неподвижных поверхностях.

Чтобы использовать свойство воды испаряться в разреженном пространстве при значительно более низкой температуре, а значит использовать и соответственно большую разницу температур пара и высушиваемого тела,— с целью увеличения производительности сушильного процесса и возможности применения дешевого

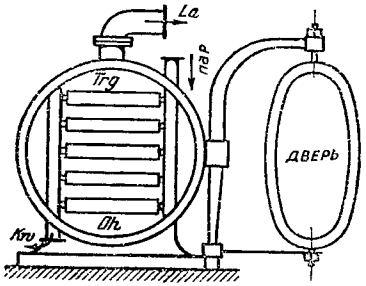


Рис. 24.
Сушильня-вакуум с паровым отоплением.

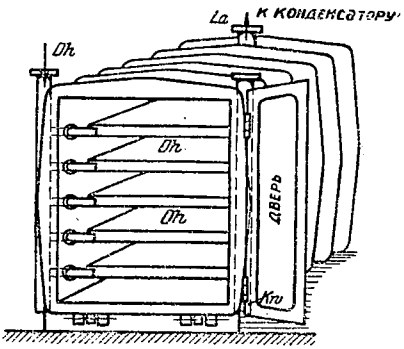


Рис. 25.
Четырехугольный сушильный вакуумный аппарат с паровым отоплением.

мятого пара, а также и предохранения высушиваемого материала от вредного влияния высоких температур — устраивают вакуум-сушки, получившие громадное распространение. Чаще всего их устраивают в виде лежащих цилиндров, легко противостоящих внешнему давлению (рис. 24), с легко открывающимися широкими дверьми по концам, снабженные внутри обогревательными горизонтальными плитами с двойными стенками. Нередко придают этим сушильным шкапам и четырехугольное сечение; чтобы прямоугольные стены легче противостояли внешнему противодавлению, приходится их снабжать чугунными ребрами; отчего вес этих шкапов значительно возрастает (рис. 25).

Сиропообразные массы, сильно пенящиеся уже на воздухе, еще в большей степени пенятся в безвоздушных сушильных приборах, что сильно затрудняет их высушивание (мальц-экстракт, гумми-арабикум). Поэтому предложено было протяги-

вать медленно над сушильными плитами вакуум-шкапов бесконечные проволочные латунные сита, приводимые механически в движение от устраиваемых на узких концах шкапов валиков. Эти движущиеся сита имеют назначение снимать с высушиваемой массы верхние быстро сохнущие слои ее. Это остроумное устройство страдает от некоторых трудно обслуживаемых механических деталей (рис. 26).

Простейшая вакуум-сушилка для электрических кабелей изображена на рис. 27.

Пары воды из аппаратов идут в оросительный конденсатор, а оттуда в мокрый воздушный насос; если пары нужно уловить (алкоголь, эфир и пр.), то их заса-

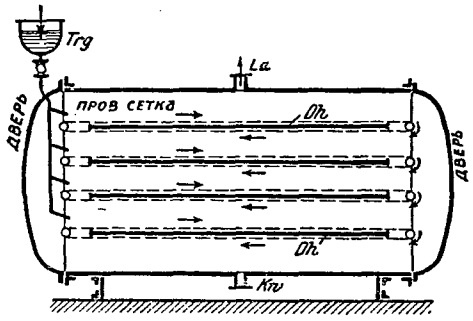


Рис. 26.
Вакуум-аппарат для сушки клейких масс.

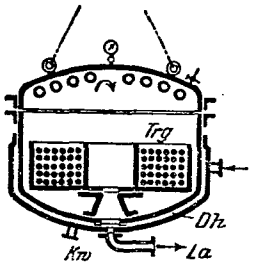


Рис. 27.
Вакуум-сушка для кабеля.

сывают через поверхностный конденсатор, приемник и сухой воздушный насос. Температура испарения воды внутри аппарата не выше 40 — 50° С. Нагреваемые полки питаются паром с давлением 1—8 атм., т.-е. 100—175°. Высушиваемый материал, чаще всего тесто и сиропообразные массы (напр., краски), ставят на плиты в плоских чашках слоем от 40 до 60 *мм*, при чем высота краев чашек так подобрана, что в них помещается суточная производительность, чтобы только раз в сутки приходилось нагружать и выгружать сушильные шкапы. Удаление воды из разных тел представляет неодинаковые сопротивления, поэтому испаряемость колеблется от 0,5 до 3,5 литров и замедляется оттого, что теплота обогревающего пара должна проникнуть через две металлические поверхности (плиты и чашки), разделенных тонким слоем воздуха. Обогревательные плиты укладывают друг от друга на расстоянии в 65—100 *мм*, так что нижняя поверхность плиты может излучать теплоту на расстоянии 20—30 *мм* на верхнюю поверхность высушиваемого слоя массы.

Краски, молоко, клей, экстракты, ультрамарин, опиум, жидкое стекло, солодковое стекло, солодковый корень, казеин, наждак и сотни других тел подвергаются процессу высушивания в таких сушильных шкапах. Расход пара достигает от 1,25 до двойного количества испаряемой воды. Расход же силы около 0,02—0,05 лош. сил. на 1 кв. метр поверхности, покрытой высушиваемой массой.

Вместо пара во многих случаях применяют воду с температурой ниже 100° С.

B. Сушка во вращающихся барабанах.

На тех же основаниях как и вакуум-шкафы с плитами,— устроены горизонтально вращающиеся барабаны с двойными стенками, с проведенными через них рядом паровых труб, соединенные с конденсатором и воздушным насосом. Большая поверхность нагрева, сосредоточенная здесь на сравнительно небольшом пространстве, с поворачиванием и размешиванием высушиваемой массы, состоящей из зерен или маленьких кусочков, при большой разнице температур, дает возможность повысить степень испарения даже при применении мятого пара до 3—4 литров с 1 кв. метра в час. Этот аппарат применяют особенно для отгона из высушиваемой массы ценных летучих жидких продуктов, пары которых сгущаются в поверхностном конденсаторе и улавливаются в особом сборнике (рис. 28).

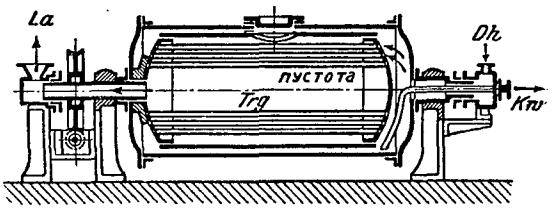


Рис. 28.
Вакуум-сушильный барабан.

C. На вращающихся барабанах.

Чтобы совместить выгоды большой температурной разницы плит и влажной массы, низкой температуры испарения и тонких слоев высушиваемой массы, устраивают вакуум-сушильные аппараты (рис. 29), у которых барабан, отапливаемый паром, вращается в особом корпусе, из которого выкачивают воздух. Эти барабаны нагружаются и высушенная масса с них снимается так же, как было выше описано. Необходимость производить наблюдения за работой через особые окошечки с искусственным освещением, затруднительность доступа к отдельным частям аппарата и естественно наступающая, вследствие герметической обособленности аппарата, запутанность и сложность приспособлений для механической передачи движения, для ввода и выпуска пара, конденсационной воды, влажного и высушенного материала, создает при них значительные затруднения в работе.

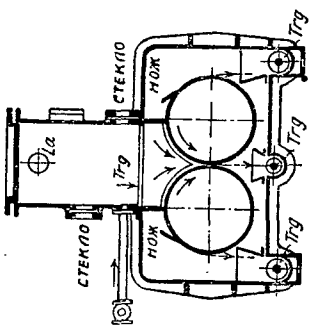


Рис. 29.
Сушильный вакуум-аппарат.

4. Сушка воздухом.

Так как при способе непосредственного нагревания соприкосновение материала с поверхностью нагрева бывает очень неполное, то сушка производится чаще всего помощью подогретого воздуха, который благодаря своей подвижности омывает тела со всех сторон.

Насыщение обыкновенного воздуха в наших широтах и на высоте до 300 *м* почти никогда не бывает полным, но в среднем оно составляет:

	весной	летом	осенью	зимой	ср. в году
только	75	67	77	83	75%

Это и обусловливает способность воздуха всегда воспринимать еще некоторое количество воды. Точно определить степень испарения в каждом отдельном случае невозможно, так как весовое количество воды, воспринимаемое атмосферным воздухом в один час с 1 *кв. м* водной поверхности, естественно зависит от температуры обоих тел, от действия солнечных лучей, от барометрического давления, от количества проносящегося над водой воздуха и от первоначальной его насыщенности, словом от многих переменных условий. Обыкновенно считают, в наших широтах, что в течение дня с совершенно открытой поверхности воды испаряется в среднем слой ее около 4 *мм*, на севере 2,6 *мм*, под тропиками 7—8 *мм*. Но влажные тела предоставляют действию воздуха только наружную поверхность и скрывают влагу внутри. Тем не менее высушивание помощью атмосферного воздуха вследствие того, что он протекает над влажным материалом в неограниченном количестве, является чрезвычайно продуктивным и самым дешевым из всех известных приемов. Так высыхает размокшая почва, мокрые хлеба и сено, мокрое белье, свежее мясо и рыба, богатые водой горючие материалы, формованный кирпич-сырец, торф и многие другие предметы.

Неудобством является то, что на действие воздушной сушки нельзя твердо рассчитывать в определенные периоды; ее следует применять во многих отраслях промышленности в большем объеме, чем до сих пор; конечно, материалы должны быть защищены от дождя и достаточно обеспечены естественной вентиляцией, что часто и делается при сушке табачных листьев, трав, семян, клея, кожи и других предметов, так как в среднем в течение дня можно рассчитывать на удаление от 0,3 до 7 *кг* воды с 1 *кв. м* поверхности.

В тех же случаях, когда естественная воздушная сушка недостаточна и ненадежна, когда хотят в определенное время иметь высушенный до определенного содержания воды материал в определенном количестве, рекомендуется применять сушку искусственно подогретым воздухом, дымовыми газами или паром. Теоретические соображения и обоснования процессов сушки нагретым воздухом уже были подробно изложены в I части.

Мы лишь заметим, что наблюдения заставляют полагать, что степень испарения воды (w) воздухом прямо пропорциональна корню квадратному из скорости (v) последнего, разности парциальных давлений паров воды в воздухе и на поверхности высушиваемого тела, поверхности высушиваемого материала (O) в *кв. м* и температурному двучлену $(1+\alpha t)$, т.-е.

$$w = f \cdot O(1+\alpha t)\sqrt{v^1}\,(l_w - l_b),$$

где f коэффициент, различный для различных тел, и перейдем к рассмотрению различных конструкций аппаратов для сушки воздухом.

A. Камерные сушки.

Самый простой и самый удобный вид воздушной сушки — это закрытая камера, куда укладываются или подвешиваются товары, например: мокрое платье, соль, белье; в камере есть печь или просто только колосниковая решетка в полу, для входа наружного воздуха (как, например, бывает в сушильных камерах для песка или формовочных ящиков в литейных) (рис. 30 и 31). Камера может нагреваться помощью

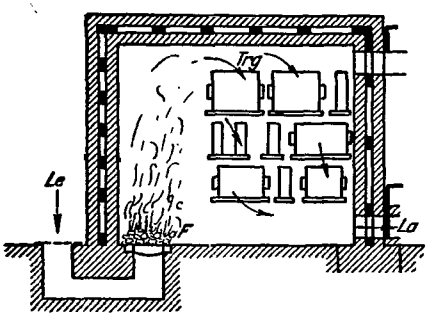


Рис. 30.
Формовочные ящики, высушиваемые открытым огнем.

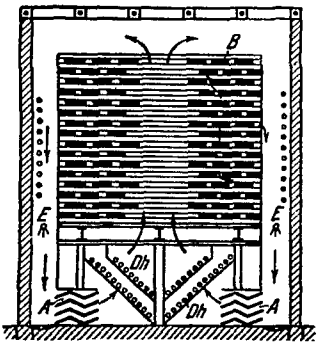


Рис. 31.
Сушка дерева.
B — брусья и доски
E — вспрыскивание воды
A — увлажнитель.

парообогревательных приборов, что и имеет место при сушке дерева, которое должно сохнуть медленно. Так как остывший влажный воздух обыкновенно тяжелее сухого с его высшей температурой, то в камере он легко направляется вниз, что несколько сбивает его направление, вследствие возникающих неизбежных воздушных течений непосредственно от входа к выходу. Точно так же трудно избежать образования в камере мертвых пространств (мешков), вовсе не подвергающихся влиянию теплого воздуха. Подобные камеры должны иметь вверху и внизу регулируемые вытяжные отверстия и соответствующие дымовые трубы, так как вопрос, является ли более выгодным отводить воздух вверх или вниз, решается в зависимости от обстоятельств (хотя в общем случае всегда рекомендуется выводить его вниз).

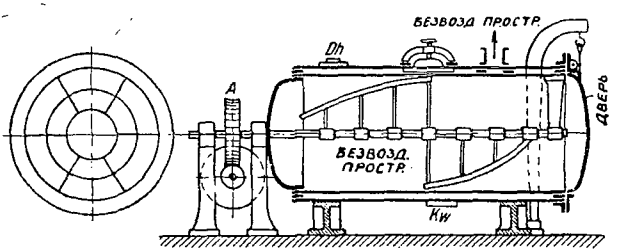


Рис. 32.
Вакуум-сушилка для зернистых, нетекучих тел. Барабан с двойными стенками, обогревающимися паром, с мешалкой.

Гораздо удобнее оказываются сушильные аппараты, подобные солодовым сушильням, в виде четырехугольных высоких камер, в которых две или три, устроен-

ные друг над другом и пропускающие воздух, полки, предназначаются для материала, а непосредственно под нижней поддерживается огонь, газы которого проходят сквозь полки и разложенный на них материал. Или же устраивают калорифер

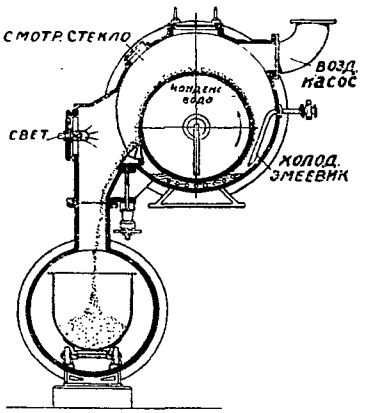


Рис. 33.
Вакуум-сушка фирмы Пассбург с вращающимся, нагреваемым барабаном, покрывающимся при погружении в высушиваемую массу тонким слоем ее.

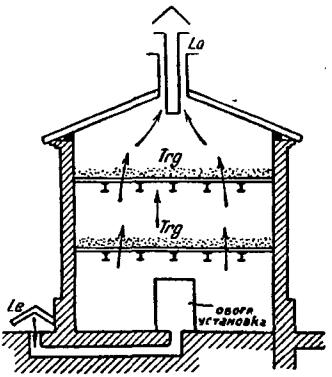


Рис. 34.
Солодовая сушилка.

нагревающий свежий чистый воздух, который не содержит дыма или сажи и не портит материала.

Влага, воздух или газ вытягиваются через самое высокое место камеры дымовой трубой или эксгаустором, как это делается с отходящими газами калорифера рис. 34). Так как ускорение процесса высушивания при пропускании через мате-

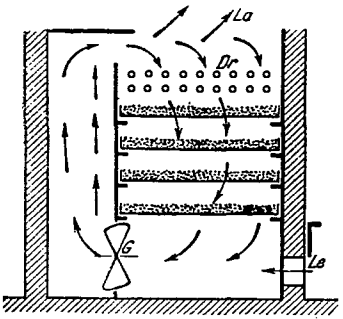


Рис. 35.
Циркуляционная сушка для зернистого материала.

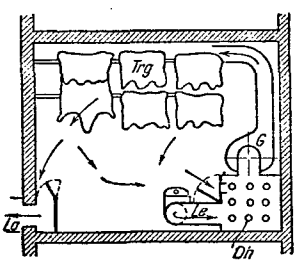


Рис. 36.
Циркуляционная сушка для кож.

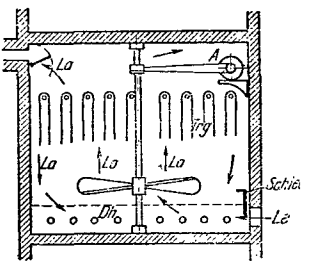


Рис. 37.
Циркуляционная сушка для шкур.

риал большего количества, хотя бы и не вполне сухого воздуха, очевидно, то можно часть воздуха, наполняющего сушильное помещение, заставить помощью вентилятора циркулировать несколько раз замкнутой струей через материал и нагревательный прибор (рис. 35—38), конечно, всегда вводя вновь время от времени некоторое количество свежего воздуха, какое удаляется из сушки.

Для очень чувствительного зерна, когда должна быть сохранена его способность прорастать, устраиваются силосообразные помещения. В их стенах устроены щели для впуска воздуха, нагретого до 50—55°. Воздух вступает через щели в хлеб и, пройдя через его зерна, выходит вверх. Над выходными воздушными отверстиями, во избежание их закупорки, приделаны небольшие наклонные щитки, над которыми ссыпается зерно; щитки облегчают также и прохождение

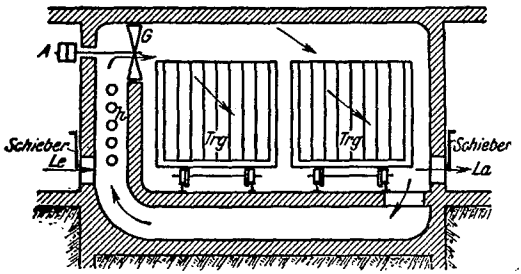


Рис. 38.
Циркуляционная сушка.
А — привод.

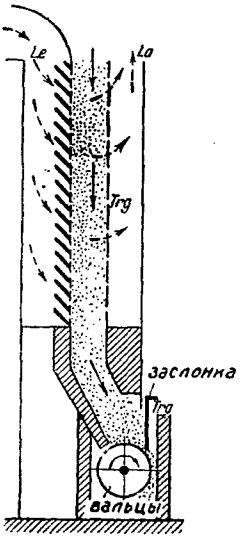


Рис. 39.
Сушилка для зернового хлеба.

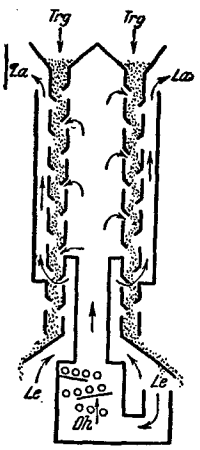


Рис. 40.

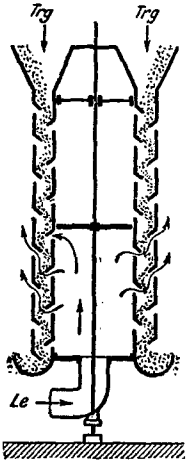


Рис. 41.

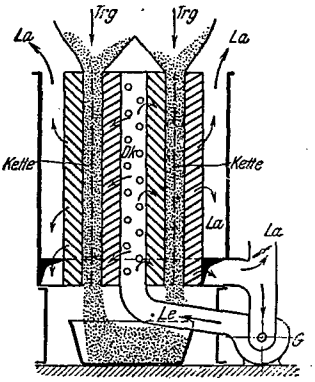


Рис. 42.

Сушилки для зернового хлеба.

воздуха. Хлеб должен освобождаться воздухом от влаги очень медленно (приблизительно 5—8% в течение 2-х часов) при температуре не выше 50°, а потому сушильни для него необходимо делать достаточно вместительными (рис. 39—42).

В вертикальных шахтах сопротивление прохождению воздуха на разной высоте различно, чем обусловливается и неодинаковое количество проходящего воздуха.

Недостаток этот устраняется медленно вращающимся барабаном, внутри которого зерно занимает кольцеобразное помещение, образованное цилиндром из продыравленной жести. Здесь выгода равномерного протекания воздуха соединяется с возможностью сушить раздельно массы зерна различных сортов (рис. 43—45).

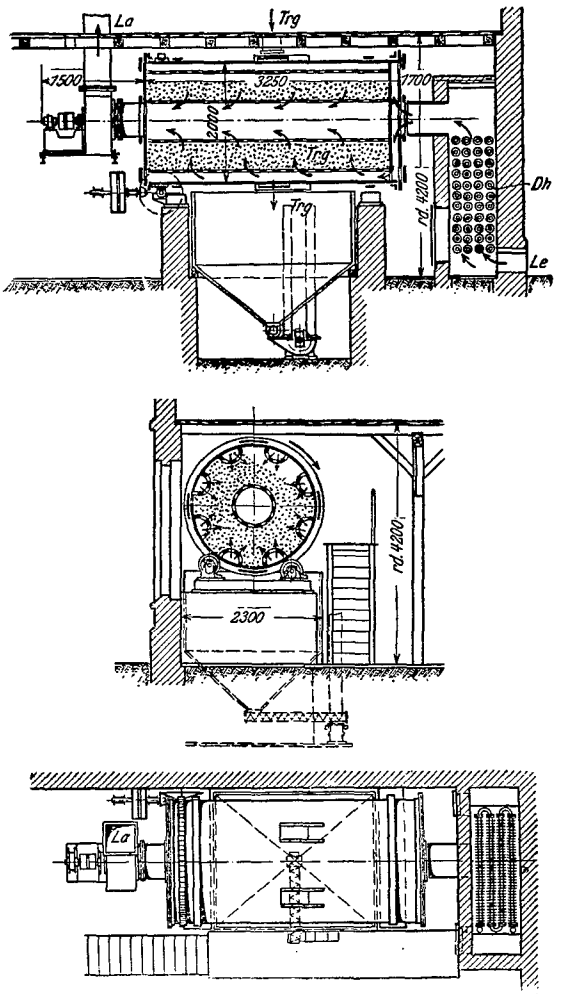


Рис. 43—45.
Сушилка для зернового хлеба, маиса и т. п.

На рис. 46 показан особый прием сушки. В четырех расположенных друг над другом горизонтальных закрытых сосудах, снабженных паровыми кожухами, вращаются закрытые цилиндры, нагреваемые паром и имеющие снаружи подающие ковши. В помещении вне цилиндров поддерживается разреженное состояние воздуха. Мокрое зерно через отверстие попадает в верхний сосуд,

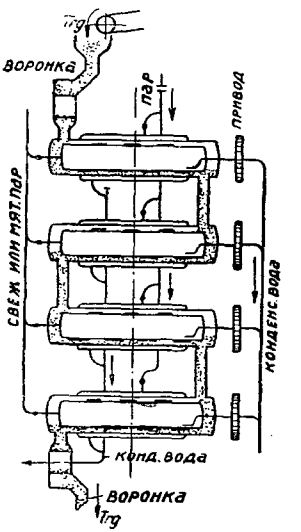


Рис. 46.
Сушилка зернового хлеба (фирмы Пассбург).

проходит поочереди через другие нижележащие, и высушенное выходи наружу через нижние отверстия. Необходимость по временам открывать эт камеры, наполнять и опоражнивать их влечет за собой потерю времен и тепла.

Сушильни, приспособленные для небольших фабрик, состоят из железно печи, обтянутой жестяным кожухом.

Кожух обогревает воздух, проходящий по кольцеобразному пространству и затем пропускает его по плоским, продолговатым, расположенным друг над другом камерам, в которых на проволочных сетках помещаются плоды или овощи. Часто употребляемые сушильни для овощей для больших фабрик подобны только что описанным; в тепловом отношении они не экономны. Они состоят из ряда ящиков или корыт, в которых на сетках размещается материал. Воздух подогревается помощью паровых обогревателей, втягивается вентилятором и продувается затем в ящики в пространство под сеткой, а оттуда, проходя через слой овощей он поднимается вверх и отводится из сушки (рис. 47).

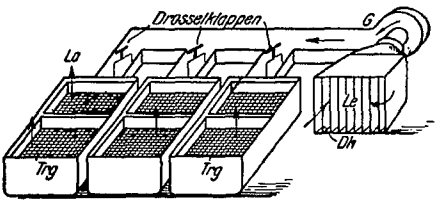


Рис. 47.
Сушилка для зелени и овощей.

В. Канальные сушилки.

Вообще более экономными и рациональными в работе оказываются сушильные каналы, применяющиеся часто для клея, табака, картона, пряжи. Главной составной частью их являются каналы — один, два или три, — расположенные параллельно и на концах закрытые, через которые медленно подается товар, расположенный на вагонетках. Через несколько времени вагонетки с сухим материалом выдвигаются из одного конца канала, а в другой вдвигается такое же количество со свежим материалом. Если в длинном канале катится много тяжелых вагонеток, то устраивают механический привод (рис. 48 и 49).

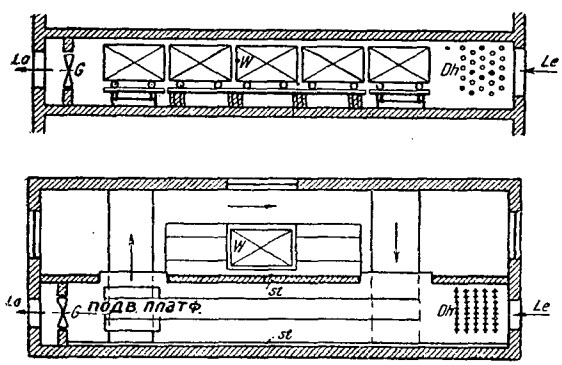


Рис. 48 и 49.
Канальные сушила для клея, табака и пр.
Материал помещается на вагонетках.

В виду необходимости открывать двери на концах каналов при каждой смене вагонеток, в канал входит холодный воздух, что, конечно, нежелательно. При сушке в каналах обычно применяется встречный ток, для чего со стороны ввода вагонеток устраивается вентилятор для вытягивания влажного воздуха, тогда как нагревание и впуск свежего воздуха в канал производится со стороны выхода вагонеток. Конечно, в тех или иных случаях направление движения может быть и обратное, если прямой ток оказывается выгоднее.

Так как в таких оборудованиях наивысшая температура почти всегда ниже 100°, то применение обратного пара для воздухоподогревателей может оказаться очень полезным, стоит только подобрать соответствующее поперечное сечение трубопроводов и подогревателей.

Такое высушивание в каналах можно усовершенствовать различными способами; напр., можно удалять воздух по середине канала, а для впуска открыть оба конца, перед которыми или же в начале самого канала, воздух подогревается горячими трубами (рис. 50).

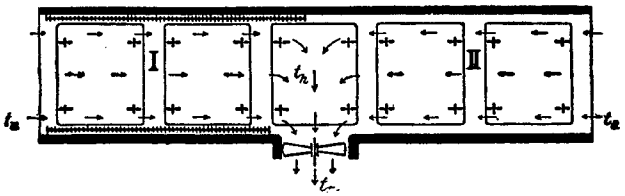


Рис. 50.
Проходной сушильный канал с двумя входами для воздуха.

Здесь вдвигаются вагонетки, наполненные свежим материалом, который высушивается теплым воздухом, проникающим параллельно, пока вагонетки дойдут до места выпуска воздуха. Оттуда вагонетки катятся по остальной части канала, и находящийся в них почти высушенный, но горячий материал охлаждается свежим воздухом, притекающим ему навстречу. Материал может быть окончательно высушен воздухом, нагретым в канале, а влажный и горячий отходящий воздух во второй части канала (справа) можно применить для предварительного подогрева свежего материала (рис. 51).

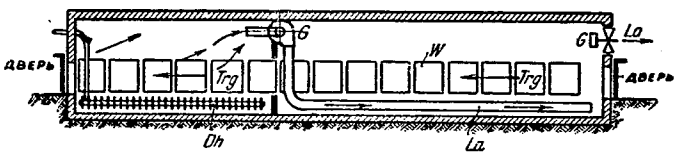


Рис. 51.
Сушильный канал. Левая часть: воздуходувка засасывает теплый влажный воздух (отработавший) и нагнетает его в обогревательную трубу правой половины, где он подогревает свежую массу.

Сушка значительно ускоряется, если через материал проходит много воздуха. Но этого нельзя сделать, пользуясь все время свежим воздухом, без большого расхода тепла, так как отходящий воздух недостаточно насыщен. Поэтому воздух, наполняющий канал, прогоняется вентилятором круговым потоком вокруг оси канала через материал, а для возмещения отданного им на испарение воды тепла он при каждом обороте вновь подогревается паровыми трубами. Удаляющийся из сушки нагретый воздух проходит через ребристые трубы, вокруг которых проходит, нагреваясь свежий воздух (рис. 52).

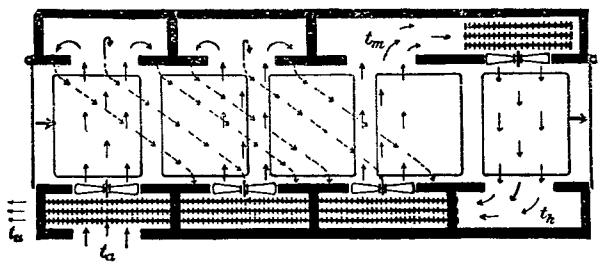


Рис. 52.
Сушильный канал с циркуляцией каждый раз вновь подогреваемого, уже работавшего воздуха (использование его тепла).

Принцип этот находит своеобразное применение в сушильне для макарон. В ней каждый раз подогреваемый высушивающий воздух прогоняется через горизонтальные слои макарон, особым вращающимся в разные стороны крылом, находящимся почти у самой стены (рис. 53).

Делалась также попытка обдавать материал все новыми и новыми количествами воздуха путем приведения в движение самого материала или даже вращения его (рис. 54); это может иметь некоторый успех при мелком и легком материале, напр., макаронах, фанере и т. д.

Недостатки, присущие всем сушильным каналам, состоят в том, что теплый воздух стремится проходить и действовать по большей части вверху или внизу канала, а также и в том, что двери на концах канала должны открываться, что вызывает потерю тепла; но эти недостатки могут быть уменьшены соответствующими приспособлениями (воздухонаправляющие приспособления на вагонетках) и устройством паровых труб вдоль канала у дна вагонеток.

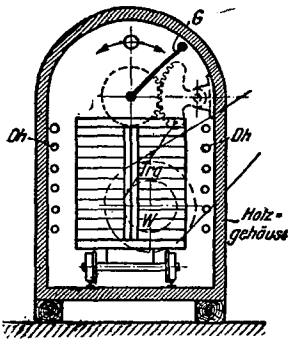


Рис. 53.
Сушилка для макарон.

Такие каналы имеют 1—2 *м* ширины, 1,5—2 *м* высоты и 10—30 *м* длины, скорость воздуха в них от 1 до 9 *м/сек.*

Часто каналы устанавливаются не горизонтально, а вертикально, как в шахтенных сушилках, в которых теплый воздух или вдувается снизу, или вытягивается сверху. Небольшие, легкие, зернистые, разделенные на кусочки, палочкообразные и вообще легко пропускающие воздух предметы помещаются на специальных сетках, так устроенных, что при вынимании внизу одной из них с сухим материалом, другая со свежим материалом автоматически загружается сверху механическими приспособлениями. Этот способ применяется при сушке спичек, пряжи, катушек, резанных овощей, волокнистых веществ (рис. 55). Конструкция аппарата с двумя стоящими рядом шахтами, через которые последовательно проходит материал, усложнена для того, чтобы подвергнуть последний действию горячего воздуха в течение большего времени.

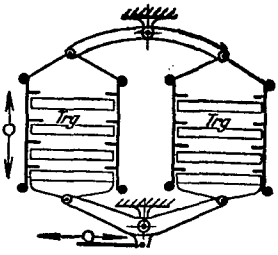


Рис. 54.
Качающаяся сушилка.

Для таких материалов, как, напр., клей, крахмал, табак, мыло, сахар, часто пользуются не вагонетками, а иными, соответствующими данному материалу, приспособлениями для его передвижения, напр., цепями с бортами, скобами или крючками, бесконечными канатами, бумажными или картонными противнями, пучками ниток, войлочными поясами и др. плоскими поддерживающими предметами, которые механически протягивают материал по каналу, а теплый воздух сушит, протекая параллельно их поверхности.

Воздух для сушки большей частью нагревается паровыми ребристыми трубами, или радиаторами, или же он пропускается по нагревателям, состоящим из ряда параллельных, извне обогреваемых паром, узких труб; но применяются и продукты горения непосредственно или смешанные со свежим воздухом, вдуваемые в одно или одновременно через много мест в канале, как, напр., при сушке кирпича, цемента и иных неорганических веществ, требующих высокой температуры. Так как содержание воды в этих предметах вообще незначительное

около 15—30%, а для нагревания сухих составных частей необходимо много тепла, для чего расходуется значительное количество его, то следует использовать тепло сухих и горячих предметов при их выходе, направляя свежий воздух по движущемуся в конце камеры теплому вышедшему из сушки материалу и, таким образом, предварительно его подогревая. Длина канала сильно зависит от времени, необходимого для обезвоживания материала, которое при толстых, чувствительных материалах бывает очень велико, напр., при кирпиче 20—24 часа, а при сушке наружным воздухом она может длиться около 5 недель. Поэтому каналы часто должны

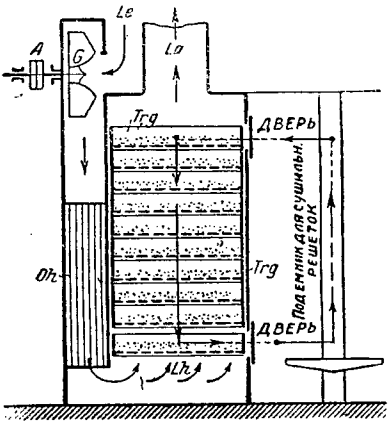


Рис. 55.
Вертикальные сушильные каналы.

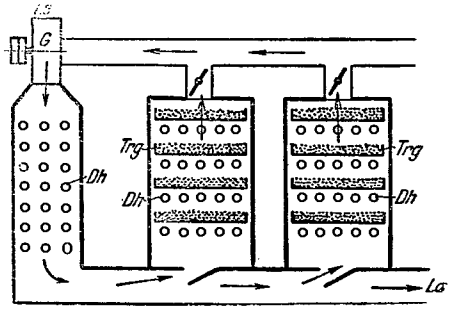


Рис. 56.
Вертикальные сушильные каналы.

вмещать большие массы материала и иметь длину 15—30—60 *м*. Если при сушке материал допускает лишь постепенное возрастание температуры воздуха и не должен образовать на своей поверхности корки или портиться как-либо иначе, то его высушивание производится в несколько приемов при разной температуре. Здесь представляется возможность смешивать со свежим паром ту горячую смесь пара с воздухом, которая уходит из сушильного помещения, конденсировать затем вместе помощью более низкой окружающей температуры выделившиеся из материала водяные пары и использовать их скрытую теплоту (рис. 56).

С. Ленточные сушильные аппараты.

Ленточные сушильные аппараты состоят из одной или нескольких, расположенных друг над другом, бесконечных полос, шириною в 500—1200 *мм* и до 15 *м* длиной. Полосы эти делаются из полотна, хлопчато-бумажной ткани, верблюжьей шерсти, а раньше их приготовляли также из резины и из жести. На верхнюю ленту непрерывно поступает порошкообразный или зернистый сыпучий материал, передающийся с одной ленты на другую, сверху вниз; с нижней материал попадает в приемник (рис. 57).

Однако, не всегда можно установить правильный приток воздуха к лентам, в особенности, если в данном помещении работают одновременно много таких аппаратов, так как необходимо оставить место и для обслуживания аппаратов. Поэтому ленты рекомендуется делать из густых проволочных сеток (с мелкими ячейками), чтобы воздух мог протекать через них снизу вверх.

Под действием сырого горячего воздуха рабочие ленты растягиваются и, перекашиваясь, принимают неправильную форму или даже сбегают с валиков, а кроме того, высушенный продукт уносит иногда с собой и волокна из ткани лент. Вследствие этого ленты начали заменять отдельными железными пластинами, соединенными друг с другом шарнирами и приводимыми в движение шести или восьмигранными валиками. Но такие пластины неудобны как вследствие их веса, так и потому, что покрываются ржавчиной. Пробовали применять для таких аппаратов бесконечные медные ленты толщиною в 2—3 *мм*, а в некоторых случаях применялось даже и серебро.

Все же и металлические ленты, из-за постоянного перегибания на валиках (сравнительно малого диаметра) служат очень недолго.

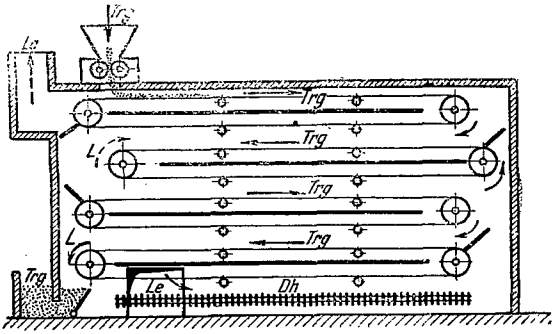


Рис. 57.
Ленточный сушильный аппарат.

Оригинальный сушильный аппарат построен для уксусио-кислой извести и подобных кашеобразных масс (рис. 58). Эти последние наполняют ячейки особо сконструированной проволочной сетки благодаря тому, что она проходит по барабану, помещенному в желобе, содержащем материал. Затем эта только-что наполненная сетка проводится в закрытом помещении по другим барабанам, а горячий воздух, увле-

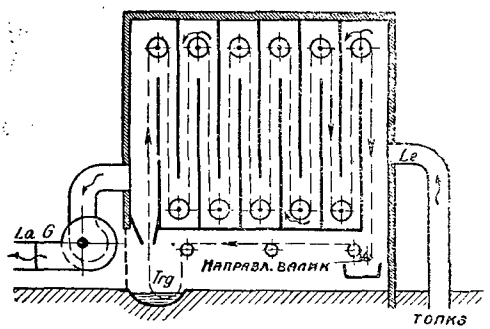


Рис. 58.
Бесконечное металлическое проволочное полотно для сушки уксуснокислого кальция.

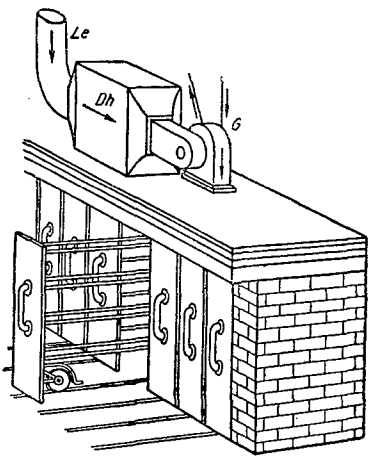


Рис. 59.
Сушилка для белья.

ченный в камеру встречной тягой, просушивает захваченный сеткой материал до сухого состояния. Материал выпадает из сетки при изгибе ее под острым углом на одном из ребристых барабанов.

Очень удобно, хотя и не всегда сполна используют тепло некоторые воздушные сушильные приспособления, предназначающиеся для каких-либо определенных целей, как, например, сушильный аппарат для сырого выжатого белья (рис. 59 и 60),

в котором вентилятор продувает воздух через белье, развешенное на отдельных вытяжных рамах для того, чтобы возможно было отдельно его снимать. Некоторое сходство с этим аппаратом имеет шкап, в котором полки для материала устроены как выдвижные ящики. Шкап запирается дверьми, открыв которые можно вытянуть

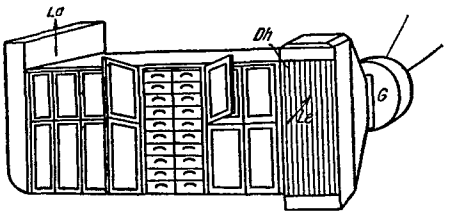


Рис. 60.
Сушилка для овощей с выдвижными ящиками, вентилятором и обогревательной батареей.

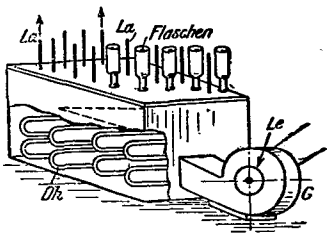


Рис. 61.
Сушилка для бутылок.

порознь каждый ящик для наполнения или для опоражнивания. Вентилятор *g* протягивает воздух через паровые обогреватели, чтобы продуть его затем через сетки. Далее можно упомянуть про устройство сушильного аппарата (рис. 61) для бутылок, одевающихся на трубки, по которым пропускается теплый воздух.

Рис. 62.
Сушилка для шерсти. Проволочный валец для прижима и удаления шерсти.

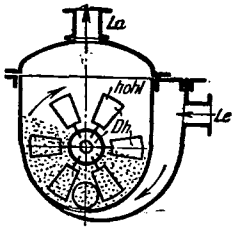


Рис. 63.
Сушильня-корыто.

Также следует указать на приспособление, в котором поток горячего воздуха прогоняет мокрые хлопья шерсти в широкой трубе, обезвоживает их и затем набрасывает на валик из проволочной сетки, от которого они потом отпадают (рис. 62). Интересен также и желоб, в который воздух вдувается снизу, тогда как косые лопатки непрестанно мешают и передвигают зернистый материал к выходу (рис. 63).

Д. Барабанные сушильные аппараты.

Так называемые барабанные сушильные аппараты пригодны для многих целей, и конструкции их весьма различны (универсальные сушильни). Зернистые и измельченные на куски материалы, лежащие в плотных кучах, дают теплому воздуху слишком незначительный доступ к поверхности их кусков и часто не позволяют ему пройти сквозь них, а потому в таких случаях для высушивания пользуются горизонтальными или даже несколько-наклонными вращающимися бара-

банами, 1—2 *м* в диаметре и 3—10 *м* длины, в которых непрерывно поступающий материал медленно передвигается помощью соответствующих брусков-лопаток от одного конца к другому, одновременно поднимаясь до середины барабана карманообразными черпаками, после чего, рассеиваясь, паает вниз. Таким образом вс внутренность барабана заполняется дождем зернышек или кусочков материала,

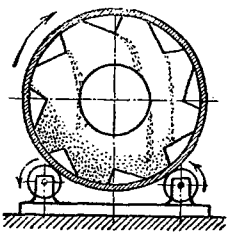


Рис. 64.

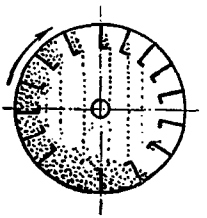


Рис. 65.

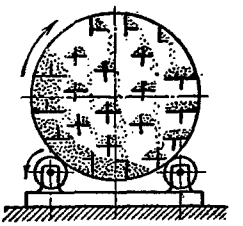


Рис. 66.

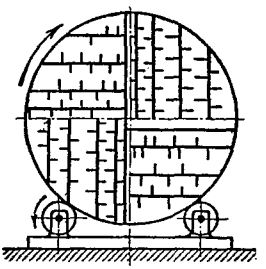


Рис. 67.

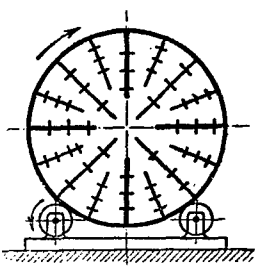


Рис. 68.

Сечения разгороженных барабанов.

и протекающий обыкновенно прямым и реже встречным током воздух может обвеивать частицы материала со всех сторон. Во избежание высокого падения зерен, их заставляют перекатываться друг через друга и тем менять наружную поверхность, для чего внутренность барабана перегораживается продольными стенками разной конструкции (рис. 64—68).

При низкой температуре, например, для поваренной соли, применяют деревянные барабаны (рис. 69), которые при незначительной потере тепла на излучение не подвержены ржавчине. Легкие короткие барабаны могут быть укреплены на осях (рис. 70), тяжелые и длинные вращаются на катках, большей частью в горизонтальном положении (рис. 69), а иногда несколько наклонном к выходу. Барабаны вращаются помощью зубчатого обода, наложенного на них снаружи, который сцепляется с малой

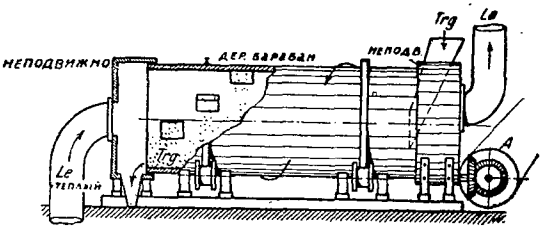


Рис. 69.
Деревянный барабан на роликах для сушки поваренной соли.

шестерней. Отопление часто производится паром: иногда воздух подогревается паром перед входом в барабан, а в некоторых случаях воздух нагревают внутри барабана обогревательным змеевиком (рис. 71).

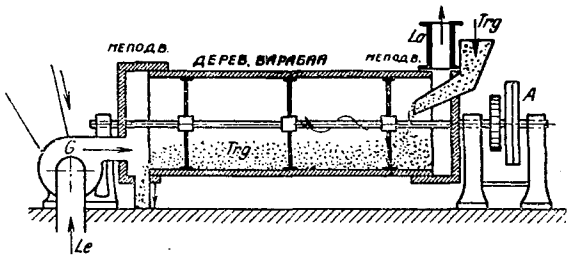


Рис. 70.
Деревянный барабан, вращающийся на средней осн, для сушки поваренной соли.

На рис. 68 представлен медный сушильный барабан для соли с отоплением внутреннего барабана и спиц. Деревянный барабан с отоплением паром спиральными змеевиками изображен на рис. 73. Этот аппарат предназначается для спичек. На рис. 74 показан неподвижно укрепленный, обогреваемый паром вал с шнековой подачей. На рис. 75 — такой же вал с вращающимся кожухом, неподвижным шнеком и обогревательным приспособлением. Хотя различными способами, как, например, посредством 2—3 вставленных друг в друга барабанов, через которые последовательно должен пройти материал (рис. 71 и 73), и стараются увеличить время пребывания материала в барабанах, тем не менее оно невелико, а потому разница температуры воздуха и температуры внутри барабана должна быть большой, чтобы можно было достигнуть значительного испарения. По этим соображениям в подобных барабанах сушка очень часто производится непосредственно дымовыми газами, так как тогда потеря отходящего тепла будет минимальной. Газы эти получаются от топки, возможно лучшей конструкции, помещенной у входа в барабан, а в качестве топлива лучше всего брать кокс, чтобы избежать увлечения газами золы (рис. 76 и 77); газы отводятся в дымовую трубу, находящуюся на другом конце или же в регулируемый вентилятор. В таких установках очень влажные продукты сельского хозяйства при прямом токе доводятся до 12—15% влажности с первоначальных 85%; кроме того в них сушатся разные соли, как, например, калиевые отбросы и другие

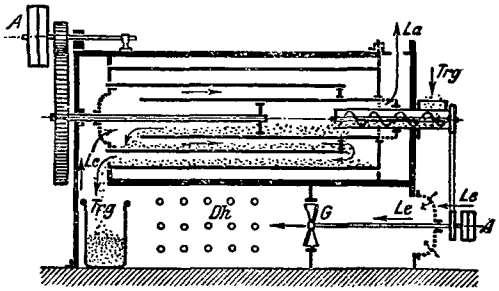


Рис. 71.
Тройной барабан для сушки буры.

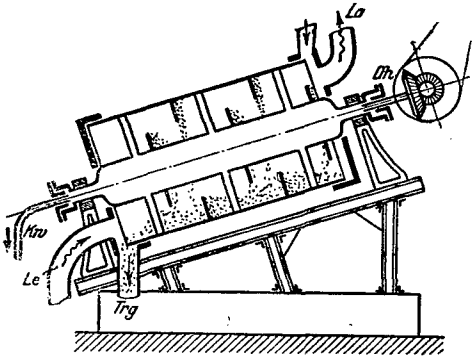


Рис. 72.
Медные барабаны, отапливаемые паром, для сушки солей.

химические вещества. Так как высокая температура чистых продуктов горения пригодна не для всех материалов, то часто за топкой в месте, где

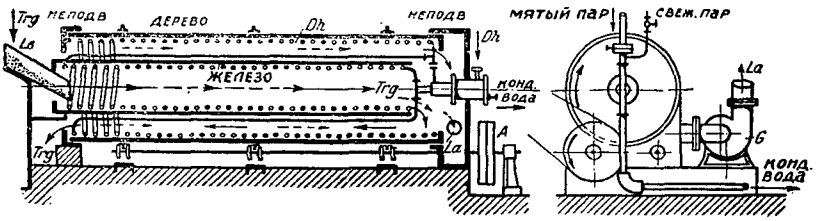


Рис. 73.
Сушильный аппарат с паровым обогревателем для спичечной соломки.

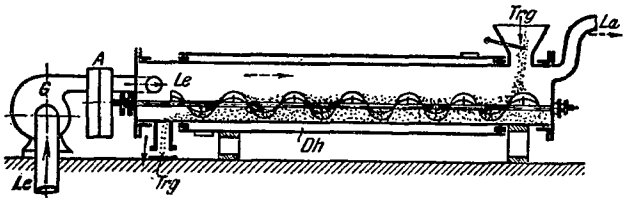


Рис. 74.
Неподвижный барабан с шнековой подачей.

Рис. 75.
Барабан с паровым отоплением.

горючие вещества уже окончательно сожжены, к газам примешивается свежий внешний воздух, с целью получения для сушки большего количества газов, но с низшей температурой в 300—500° (рис. 73—80). Благодаря этому температура отходящих газов и использование топлива понижается на 10 — 15%. В аппаратах, изображенных на рис. 78 и 79 с целью понижения температуры вместо воздуха могут быть введены в барабан частью дымовые газы, что дает, конечно, экономию.

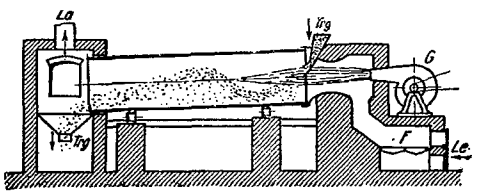


Рис. 76.
Барабанная сушка, отапливаемая дымовыми газами.

Барабан, изображенный на рис. 80, нагревается только снаружи, тогда как в сушильном аппарате для угольной пыли (рис. 81) дымовые газы, после того, как

они несколько охладятся, нагрев барабан снаружи, пропускаются затем внутрь барабана. При этих установках надо следить за тем, чтобы температура воздуха, уходящего из аппарата, была ниже 100°, приблизительно 70—80°, так как только тогда тепло будет наилучше использовано. Пар при 100° и при атмосферном давлении имеет наибольшую плотность; 1 *кг* воздуха с температурой выше 100° не может вместить большего весового количества пара, чем 1 *кг* воздуха при температуре около 100°, а поэтому следует избегать выпускать воздух и пар более горячим, чем это необходимо и полезно.

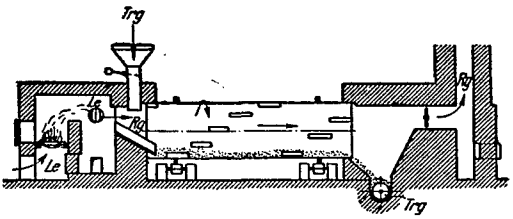
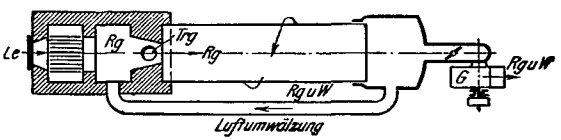


Рис. 77.
Сушильный барабан, отапливаемый дымов. газами.

Вместо вращающегося барабана можно применить и неподвижный желоб, как, например, для пивных дробин, в которых вращается ось, снабженная лопатками, имеющими своим назначением частое поворачивание и передвижение к концу, нагружаемого с одной стороны материала, в то время, как протекающие горячие газы обвевают его со всех сторон (рис. 82). Такие желоба при большом производстве устанавливаются по 2 или по 3 друг над другом таким образом, что материал проходит из одного в другой вниз вместе с газом, который отсасывается вентилятором. Вместо размешивающих лопаток устанавливаются также и иные подающие и нагревающие приспособления, состоящие из прямых пучков труб с паровым отоплением, касающихся почти стенок желоба. Недостаток места не позволяет описать здесь другие чрезвычайно многочисленные и часто весьма остроумные конструкции подобных сушильных аппаратов, как, например, аппарат Петри и Геккинга с двумя несколько коническими кожухами; барабан Куммера с его своеобразными отверстиями в трубе для входа газа; регулируемый выпуск газа Фелльнера и Циглера; приспособления для переворачивания материала Зауербрея и многие другие.



(Циркуляция воздуха).

Рис. 78.
Сушильный барабан с частичным возвращением дымового газа.

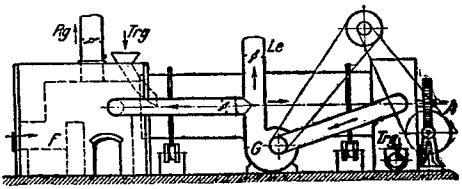


Рис. 79.
Сушильный барабан с частичным возвращением дымового газа (циркуляция воздуха).

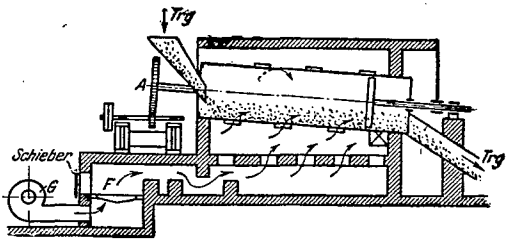


Рис. 80.
Сушильный барабан с наружным отоплением.

Если по предложенному Hausbrand'ом приему (рис. 83), в закрытом аппарате с нагреваемыми пластинками, заключающем в себе сушильное помещение, обогре-

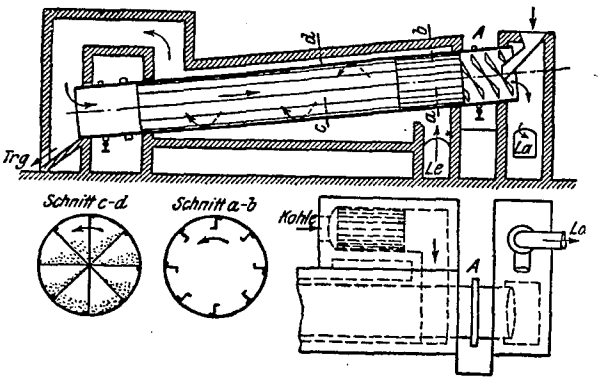


Рис. 81.
Сушильный аппарат для угольной пыли.
Дымовые газы обогревают барабан сначала извне, а затем внутри.

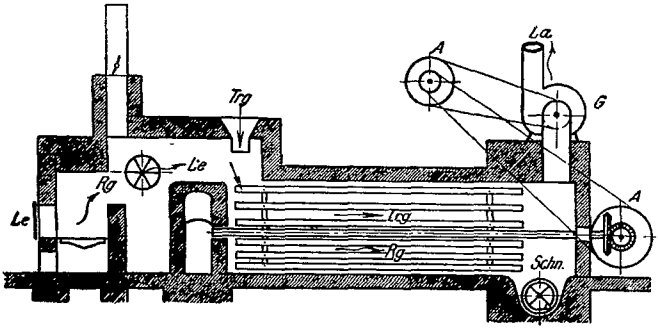


Рис. 82.
Сушильный аппарат с желобом.

вательное приспособление и вентилятор, заставить содержащийся там воздух при помощи вентилятора постоянно циркулировать над обогревателями и материалом, то воздух насыщается парами воды, выделяющимися из материала и увеличивается в объеме; излишек его выпускают через устроенный для этой цели клапан. Циркулирующий пар, выделившийся из материала, перегревается обогревателями и снова насыщается парами, проходя над материалом. Когда воздух через некоторое время будет совсем удален, то в аппарате будет циркулировать только пар, и выделяющаяся из материала влага будет покидать аппарат через клапан. Таким образом здесь отсутствуют потери тепла, обычно уносимого воздухом.

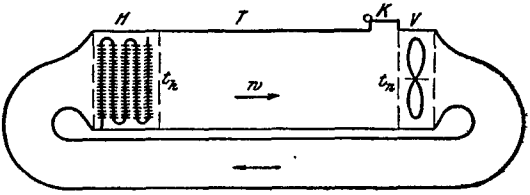


Рис. 83.
Схема метода сушки Hausbrand'a.

Е. Сушильные аппараты для жидкостей в капельном состоянии.

Часто делались попытки высушивать жидкости, например, молоко в распыленном (каплеобразном) состоянии, без непосредственного соприкосновения их

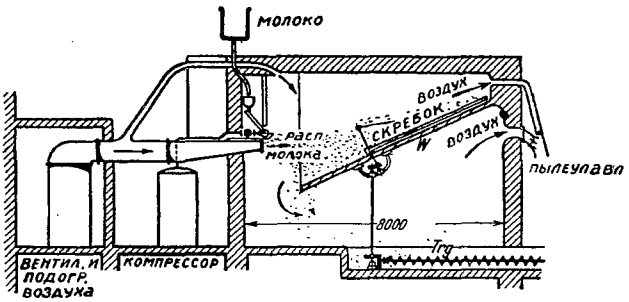


Рис. 84.
Сушилка для молока в капельном состоянии.

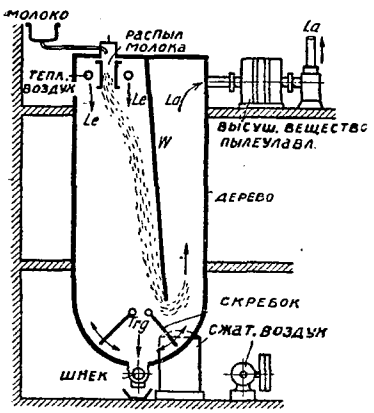


Рис. 85.
Сушилка для молока в капельном состоянии.

с другими телами, а только помощью горячей струи воздуха. О теоретических основах применения этого метода подробно было уже изложено в 1-ой части.

При фабричных установках такой сушки, как на рис. 84, молоко, стекающее по несколько наклонной металлической пластинке, распыляется у ее нижнего края при помощи струи сжатого воздуха, тогда как другая струя горячего воздуха обвевает капли, высушивает их и сдувает на наклонный лист, с которого молоко удаляется скребком. На рис. 85 показано, как горячее молоко, распыленное подобным же образом, направляется к почти вертикальной передвижной стене помощью струи горячего воздуха; со стены молоко падает уже в порошкообразном состоянии; затем порошок, собранный скребками, падает в шнековый транспортер.

5. Некоторые особые приемы сушки.

Лакированные предметы требуют при сушке высокой температуры, от 60, 100 и до 200°, при незначительной смене воздуха. А потому их подвешивают или укладывают в совершенно закрытых каменных или металлических помещениях с очень большими поверхностями нагрева, устроенными на полу и у боковых стен. В зависимости от требуемой температуры помещения, нагреватели питаются отходящим или котельным паром, или же горячей водой (Перкинс). Кроме того, помещения отапливаются также и помощью установки, в которой толстостенные

трубы диаметром от 15 до 23 *мм* в свету, образуют замкнутый змеевик, наполненный водой приблизительно на $^1/_3$; меньшая часть змеевика помещена в топке, а большая в сушильном помещении. Здесь вода и пар циркулируют при чрезвычайно сильном нагревании и потому легко доводят внутреннюю температуру помещения до 200 и более градусов.

Для высушивания свежих каменных стен пользуются обыкновенно переносными, свободно-устанавливаемыми и наполняющимися раскаленным коксом

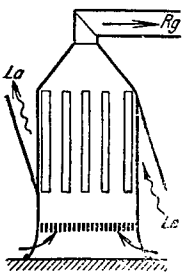


Рис. 86.

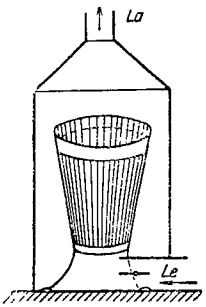


Рис. 87.

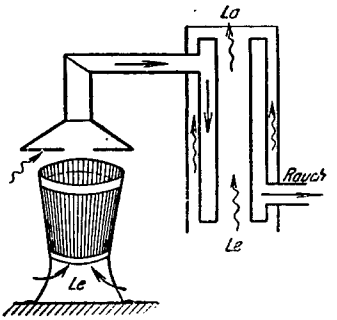


Рис. 88.

Коксовые корзины для высушивания сырых стен.

железными корзинами (рис. 86—88), которые нагревают окружающий воздух, отдают лучистую теплоту, а выделяющаяся угольная кислота помогает связать свежий гидрат окиси кальция раствора. На рис. 89 изображен сушильный лабораторный шкап обычного типа. Если бывает необходимо собрать испаряющуюся из материала влагу, когда она оказывается более или менее ценной, то сушильные аппараты или сушильные помещения должны быть герметически закрыты и иметь приспособления для отвода пара в конденсатор. Это сгущение при водяном паре может быть достигнуто впрыскиванием брызг воды или же поверхностным охлаждением, особенно, если сушка производится в безвоздушном пространстве.

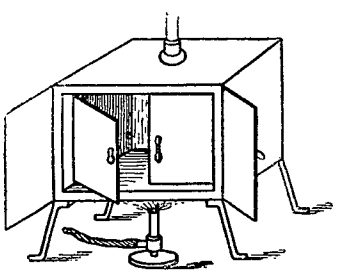


Рис. 89.
Лабораторный сушильный шкап.

В случае, если улавливаемые пары ценны, как, например, пары эфира, алкоголя, ацетона, бензина, хлороформа, то следует заботиться, чтобы они были свободны от воздуха, так как они уже при низкой температуре имеют значительную упругость и большой объемный вес, а потому даже сильно охлажденный воздух способен увлекать пары, отчего происходят потери. Методы поглощения этих паров жидкостями уже были указаны выше.

В общем обзоре вспомогательных средств, применяемых в технике высушивания, следовало бы, конечно, упомянуть также и о разнообразных машинах и приспособлениях, служащих для предварительной обработки материала, т.-е., для промывания, очистки от шелухи, удаления пыли, размельчения, размалывания, перетирания, разры-

вания, затем еще о вентиляторах, доставляющих и отсасывающих воздух, о приспособлениях для обогревания, о приборах для измерения температуры, влажности, скорости, силы тяги, количества воздуха и тепла, но для этого нет места в пределах данной книжки и приходится отослать к специальным сочинениям.

---

6. Некоторые соображения о сушке воздухом по Hausbrand'у и другим литературным данным.

Цифры в скобках указывают на нижеприведенные литературные источники под теми же номерами.

Жмыхи (1) содержат при выходе из диффузии 70—80% воды, из пресса с пропитыванием — 55—70% воды, после двойного прессования 45—55%. Они высыхают на солнце и их можно при содержании 35—50% воды сжигать.

Пивная гуща содержит около 76% воды, прессованием до сушки можно довести до 35% содержания влажности, а воздухом в 50—60° можно высушить ее до 10—13%.

Опыт (26): 3100 *кг* солода дают 3945 *кг* мокрой гущи, из которой отпрессовывают 1402 *кг* жидкости (35%). В сушильном аппарате испаряют 1601 *кг* 40—47% мокрой гущи в $3^1/_2$ часа. Конденсационная вода в 77°. Расход силы 1,3 $k\dot{W}$. Пара 193—200 *кг* на 100 *кг* сухой гущи. Использование тепла 91,8%.

Бурый уголь (3) содержит 55—57% воды, высушенный—13%. Удельная теплота его: мокрого—0,656; сухого—0,304—0,308. Сушилка Шульца с трубами в 4″ диаметром и 7 метров длины, 31,75% поверхности нагрева которых соприкасаются с углем и 68,25% — с воздухом, — испаряет 3,86 *кг* в час воды и дает 3,55 *кг* брикета в час при паре в 3,8 абс. атм.; $k = 2685—2705$ калорий. Для сего требуется 2,8 *кг* воздуха в 95° С на 1 *кг* воды. — Сушка Рольффа (вращающиеся бруски) дает 3,5—4,35 *кг/час* брикетов, 4,62 *кг/час* воды, $k = 3420$. Продолжительность сушки 25 минут. 1 *кв. м* тарелочного сушильного аппарата испаряет около 2,3 *кг*/час воды.

Яйца. Одно куриное яйцо весит в среднем 60 *г*, из которых 60,4% весит белок, 28,9% — желток, скорлупа 10,6%. Яичный белок содержит 86,8%, а желток 50,6% воды. Высушенное яйцо содержит 4,2 *г* белка, 7,2 *г* желтка (всего 11,4 *г*). 230—290 штук дают 1 *кг* сухого альбумина. Температура сушки 40—50°.

Мясо в кусках по 2 *кг* высушивают в течение 10 часов воздухом в 40° до потери 40—45% воды. В безвоздушном пространстве, обработанное сольк при 40° в кусках в 2—5 *кг*, в 60—72 часа.

Кормовые средства. Из 4-х центнеров картофельной ботвы получается 1 центнер сухого вещества. Листья свеклы (160—200 центнеров с десятины) дают 1 центнер сухого вещества из 7 центнеров сырья (7 *h*).

Свежие желуди имеют 50%, чищенные—35%, сухие—15% воды (7 *g*). 1 *кв. м* сушильни высушивает в 24 часа около 5 центнеров клевера, травы, стружек каштанов, люпины (7 *d*).

Овощи (7*k*) не должно подвергать действию температуры выше 50° С и не дольше 50 минут во избежание повреждений в составе, весе и цвете. Брюква (7*b*) дает только 6% сухой брюквы с 14% воды. 1 *кв. м* сушки (7*n*) с автоматически переворачивающим материал приспособлением высушивает в 16 часов воздухом в 50—60° около 25 *кг* моркови.—150 центнеров моркови требуют при этом 50 центнеров бурого угля (5000 калор.) и 60—80 *kw* в 24 часа. — Дикие каштаны (7*m*) в свежем виде содержат 49,2% воды, в сухом виде—18,8%, свежеочищенные — 51%, высушенные — 10,5%. Из 8—12 центнеров кормовой свеклы (7*i*) получают 1 центнер сухого вещества с 12% воды.

Содержание воды в овощах и вес в центнерах сухих овощей (7*p*), получаемых из 1 центнера свежих: белая капуста 91% (0,1), красная капуста 90% (0,11), кудрявая капуста 88% (0,11), лук 87% (0,13), листья сельдерея 82% (0,18), луковицы сельдерея 86% (0,14), шпинат 92% (0,75), стручковый горох 78% (0,26), брюква 86% (0,135), картофель 87% (0,125), репа (ранняя) 88% (0,115), картофельная шелуха 78% (0,22); см. также (7*s*). — При сушке овощей воздухом, служившим для охлаждения турбодинамы (в Дюисбурге), 1 *кв. м* проволочных сеток, удаленных на 300 *мм*, дает в 4—5 часов 10 *кг* сухих овощей. О производительности сушки см. (7*t*).

Обычно после мойки и резки овощей их быстро обдают кипятком и подвергают действию воздуха в 70° на совершенно мокрые и в 60° — на уже подсушенные овощи. Тогда удается в 2½ часа высушить их до содержания в 8—9% воды, при чем сохраняется цвет, способность поглощать влагу и вкус. Потребное количество воздуха около 4700 *куб. м* на 100 *кг* сырых овощей.

Зерновой хлеб имеет 29—30% воды, но должен содержать не более 12—14% и не должен при искусственной сушке нагреваться выше 50° (5); температура воздуха для хлеба, годного для выпечки, не должна превышать — 250°, а для способного прорастать 200 — 150° при температуре отходящего воздуха в 60° (50—60°). Барабан 2 *м* диаметром и 10 *м* длины высушивает 2500 *кг/час* пшеницы, расходуя 20—25 *кг* угля (7500 калорий) на 1000 *кг* (5). Длительность сушки зернового хлеба не должна быть меньше 1 часа, лучше 1,5—2 часа и в прямом токе. Сушка размерами 2 × 81 *кв. м* высушивает при нагрузке слоем в: 170 *мм*—185 центнеров в 6 часов от 15,7 до 6,8% воды, воздухом в 31—56°, расходуя 1,7 *кг* угля; слоем в 90 *мм*—100 центнеров в 4 часа от 18—9,2% воды, воздухом в 38—54° и 1,6 *кг* угля (7400 калорий) (6). При многочисленных опытах с барабанными сушками и коксовыми топками пшеница и рожь высыхают с 19,8 ÷ 16 ÷ 13% до 4 ÷ 7% воды, при температуре воздуха около 200° ÷ 40°, 150° ÷ 48°, 110° ÷ 33° при 3,6; 4,4; 9,1; 12,1 *м* скорости и подаче 7,5 и 4 куб. центнеров воздуха и 1,0 ÷ 1,95 *кг* центнеров угля (6500 калорий) в барабанах 1000 ÷ 1600 *мм* диам. и 4—8 *м* длины. Наклонная сушка (Topf'a) высушивает просасыванием через нее воздухом в 50—60° хлебные зерна, насыпанные слоем в начале высотой 400 *мм* (в течение 1 часа), затем в 600 *мм* (1 час), после того в 800 *мм* (2 часа)—всего за 4 часа до 15,8 — 10,5% воды. Аппарат Сиверса дает 713 *кг* в 1,5 — 2 часа с воздухом в 70—80° и 19,6—15,6% воды.

Ткани содержат в совершенно мокром виде 75% воды, выжатые рукой — около 60%, центрофугованные — около 45—50% воды. Температура воздуха при сушке 40—50° С.

Дерево (8) (дельное — доски и т. п.) должно быть сложено свободно, охватываться со всех сторон воздухом и не нагреваться выше 65° С; сушильный воздух обычно не теплее 30—40° (8). Сушка должна происходить медленно, при тонком лесе в 5—8 дней при более толстом в 14—30 дней. Полезно нагреть и увлажнить дерево паром слабой упругости, при чем оно теряет соки. Свежей валки лес содержит в зависимости от времени валки 20—35° воды, высушенное на воздухе 10—20%, сплавной лес до 60%.

Картофель (7b, 9, 10, 11). Многочисленные опыты с барабанными сушками дали следующие результаты:

Барабаны размеры в метр.	Центн. картоф.	Влажн. стружек %	Содерж. крахм. %	Отнош. картошки к сухим веществ.	Температ. газа.	Расход кокса в килогр.	Расход угля в килогр.	Л. С.
1,5 · 7,51	29,9	14	17,7	3,5 : 1	400 — 72°	1,8 (7274 кал.)	6 (6647)	15
10 · 3,75	8,8	10,79	18,5	3,5 : 1	400 — 72°	6,25 (35,05)	—	9
—	37	—	18,5	3,6 : 1	—	4,39	3.6 (6460)	22,5
—	8,26	10,25	19	3,61 : 1	175 — 70°	—	4,85	—
2 · 7	88,3	15,91	16,8	4,17 : 1	—	5,71	—	1,31
Воздушные барабаны.	21	14,8	16,5	3,75 : 1	163 — ?	4,75 (7350)	0.44	—

(*7b*). В среднем барабанная сушка производит 16 центнеров хлопьев в час при 20,4% крахмала, с 14,6% воды, расходуя 0,64 лош. с., 7 *кг* угля (6200 кал.) — (*7c*). Барабан 700 *мм* диаметром, 2000 *мм* длиной, 5,85 атм., температура воздуха 242° — сушит 691,2 *кг/час* картофеля и дает 177,3 *кг* хлопьев с 11,55% воды, 430,8 *кг/час* пара (62,3 *кг* пара на 100 *кг*) (*7v*, *7w*).

Ил из каналов: 7416 *кг* сырья дают 1016 *кг* сухого вещества (87,5—6,5% воды). Из 2296000 *кг* (66,5% воды) переработанного ила получено 91100 *кг* сухого ила (19,1% воды) 17,15% от сырья при расходе в 165200 *кг* угля. Из 3774000 *кг* (99%) получено сухого вещества 43230 *кг* (10% воды).

Осадочный ил (25) часто содержит только 1% сухих веществ, иногда 4—7% и может быть доведен центофугованием до содержания сухого вещества в 30—40%. В барабане в 2000 *мм* диаметром и 21000 *мм* длиной, доведенный воздухом в 200—300° до 75% имеет 2250 кал./*кг* 900 *кг* его дают 23,5—24,5 *куб. м* газа в 4100—4500 калорий.

Клевер (24). Опыт с 4 сушками по 8 $м^2$ каждая, из коих в ходу было от 1 до 3-х сушек; ненарубленный, накануне скошенный:

3,5 центн. в 2,5 ч. высушены до 0,76 ц., т.-е. 1,4 ц/ч — 21,7% остатка накануне скошенный:

3,5 центн. в 2,25 ч. высушены до 0,76 ц., т.-е. 1,55 ц/ч — 21,7% остатка свеже нарезанный:

2,1 центн. в 1,55 ч. высушены до 0,51 ц., т.-е. 1,33 ц/ч — 24,3% остатка свеже скошенный:

2,8 центн. в 1,17 ч. высушены до 0,63 ц., т.-е. 2,4 ц/ч — 22,5% остатка.

Расход угля 11,8 *кг*/центн. мокрого материала, воздух 77—104° а. топочном канале. Цвет остался зеленым. Резка до сушки ускоряет процесс. При равномерном производстве расход угля уменьшается.

Клеевой раствор содержит 85—90% воды, сгущением доводится до 65—70%, высушен воздухом в 25—35° до 10% воды.

Кора (дубильная) обыкновенно имеет 50% воды, иногда до 90%.

Молоко содержит 88% воды. Сушеное цельное молоко содержит 1,4% сушеное снятое молоко (из 11 *кг*—1 *кг* сухого) имеет еще 7% воды (12). По способу Trufood (1906) нагревают молоко до 150—200°, а воздух только до 78—80° (12).

Фрукты (70). Максимальная температура для фруктов с косточками в начале 85—90°, затем, до 60—70°. Орехи содержат 20—30% воды, подлежащей удалению при сушке. 2500—2800 литров весят со скорлупой 1000 *кг*. Яблоки содержат сырые 84,8% — сухие 27,9% воды; груши 83—29,4%; сливы — 81,2—29%. Сетки в 6 кв. *м* высушивают в $2^1/_2$—$2^3/_4$ часа воздухом в 75—80 около 75 *кг* яблочных пластинок в 2—3 *мм* толщиной (22). При сушке электричеством 41,8 *кг* воды испаряются 110 *kW*, что означает 2246 калорий для 1 *кг* воды.

7,2	*кг*	вишен	высушивают до	2	*кг* с	12	*kW*/час.
7,0	„	„	„	2,5	„ „	18	„ „
14,5	„	„	„	4,7	„ „	23,8	„ „
2,5	„	шпината	„	0,2	„ „	5,3	„ „
1,4	„	свеклы	„	0,1	„ „	4,7	„ „

Папка — содержит 50—60% воды.

Свекловичная резка содержит 83—85% воды, спресованная 70—65% высушенная 12—14% (4).

Свекловичные листья (1) с содержанием 85% воды сушат как и свеклу.

Свекловичные семена содержат 20—37% воды.

Соль (поваренная), без маточного рассола, содержит еще 10—14% воды подвергнутая отсасыванию в вакуумфильтре (нутреванию) 8—10%, центрофугованная 2—4% и совершенно сухая 0,02% воды. Высушенная в сушке в течение 3-х часов содержит еще 3—4% воды. В барабане 1500 *мм* на 6000 *мм* с воздухом в 80—90° эта соль высыхает в 15 минут с 3% до 0,02 влаги. Этот барабан высушивает помощью 90 *куб. м* воздуха в минуту в 125°—60°—ежечасно 333 *кг* соли с 14% до 0,03% влаги. Подобный же барабан производит 625 *кг* соли в час с 4 до 0,05% воздухом в 80—90°.

Песок с 14,8% влажности весит 1,92 *кг*/*л* (14).

Шелк (15). Если сушка происходит в аппаратах с двойными стенками, то температура пара должна быть 108°; если же струей воздуха, то температура последнего должна быть 130°.

Мыло. Содержит 40—50% воды и должно быть высушено до содержания влаги в 15—20%. Туалетное мыло — с 30% до 10% влажности.

Крахмал — сырой имеет 60% влаги, а сухой 20% влаги.

Табачные листья после долгого (многонедельного) высушивания атмосферным воздухом в сараях, защищенных от дождя, тумана, снега, содержат еще 12—15% воды. Разрез среднего стебля острым ножем ускоряет сушку.

Товары из теста, макароны с 35% воды высыхают до 10% воздухом с 25—40—50° (чем тоньше макароны, тем выше температура воздуха).

Торф (18, 19, 20). Свежий содержит 85—90% воды, на воздухе высыхает до 22—26% воды. Содержание в нем гигроскопической воды при нагреве от 0 до 100° равномерно уменьшается с 26 до 0%. Например, торф при 50° удерживает еще 13% воды, при 60—10%, при 70° еще 78%. Воздух для сушки должен иметь 350—400°, уходящий должен быть при—60° насыщенным, при 70° — $^3/_4$ насыщенным. Высушенный торф с 10% воды принимает на воздухе опять влагу до содержания в 25%.

Белье. Центрофуга удаляет половину воды. Температура воздуха для сушки 40—50°.

Кирпич имеет 15—18% воды.

Сахар (4). В двойном канале, ширина 1,5 *м*, высотой 2,65 *м*, длиной 30 *м* в 72 часа — высушивают 2700 *кг* головного (в 13,5 *кг*/шт.) с 750 *куб. м* воздуха в 120—130° при расходе в 12,5 *кг* пара на 100 *кг* сахара. Поверхность нагрева— 80 *кв. м*. Головки в 5 *кг*/шт. — в 48 часов, в 3 *кг* шт. — в 36 часов. Кусочный— в прямом канале 40000 *кг* в 24 часа, 6 *кг* пара для 100 *кг* сахара. Отходящий воздух 65° С.

Сахарная свекла (24) барабаном 1,6 *м* диам. высыхает в 3,25 час. 56 центнеров и расходует 6,53 *кг* кокса в час.

Таблицы.

Может наступить случай, что начальная (t_a) и конечная (t_n) температуры известны (заданы), а наивысшую температуру (t_h) нужно определить, так как она, не причиняя повреждений или затруднений, может достигать определенных границ. Тогда поступают, как ниже указано, и получают из таблиц представление о температуре, весе воздуха и расходе тепла.

Один кгр. воздуха принимает от температуры t_n до t_a: $d_n - d_a$ кгр. Для испарения w кгр. воды нужно $L = \frac{w}{d_n - d_a}$ кгр. воздуха. Чтобы быть в состоянии отдать теплоту $C_n = C_w + C_r + C_g + C_a$, воздух должен охладиться на $t_h - t_n = \frac{w \cdot c + C_r + C_g + C_a}{L.\,0{,}241}$, откуда немедленно получаем t_h.

Общий расход тепла C_s состоит из вышеуказанного + то количество, которое необходимо для нагрева воздуха с t_a на t_n. Последующие примеры содержат все данныя: для испарения 100 кгр. воды, при $c = 630$ калорий, весе воздуха (L), наивысшей температуре t_h, расходе пара (когда $w \cdot c = 63\,000$, $C_r + C_g + C_a = 5\,000 - 50\,000$ калор.) к тому же $L \cdot 0{,}241\ (t_n - t_a) = (C_s - C_n$ 1) когда наружный воздух вполне, а отходящий на $^5/_8$ насыщен и 2) когда наружный и отходящий воздух на $^3/_4$ насыщены, а температура уходящего воздуха $20 - 70^0$.

Атмосферный воздух вполне — уходящий на $^5/_8$ насыщены.

	Температура уходящего из сушки воздуха t_n								
	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°	60°	70°	
	Атмосферный воздух $t_a = -10^0$ C									
$d_n - d_a =$	0,753	0,0109	0,0154	0,02175	0,02884	0,04100	0,05259	0,0944	0,1738	кгр.
$L =$	13280	9174	6493	4600	3472	2439	1902	1059	576	„
$C_s - C_n =$	96000	77500	62564	49680	41640	32320	27450	17808	11096	кало
C_n =	Максимальная температура воздуха t_h									
68000	41,36	55,73	73,65	96,33	121,12	160,6	198,2	358,5	579,6	°C
73000	72,77	58,00	76,86	100,8	127,2	169,1	209,1	380,4	595,5	„
83000	45,89	62,51	83,28	109,9	139,2	186,1	230,9	424,3	667,6	„
93000	49,01	67,03	89,70	118,9	151,1	203,1	252,7	468,2	739,6	„
103000	52,13	71,55	96,13	127,9	163,0	220,7	274,5	512,2	811,6	„
113000	55,30	76,08	102,6	136,9	174,6	237,1	296,3	556,1	883,6	„
	Атмосферный воздух $t_a = 0^0$ C									
$d_n - d_a =$	0,00538	0,00875	0,01331	0,01900	0,02669	0,03694	0,05044	0,09238	0,17113	: »
$L =$	18587	11420	7519	5263	3745	2710	1984	1083	585	„
$C_s - C_n =$	98500	68700	54369	44396	36100	29370	23760	15600	9828	кало
C_n =	Максимальная температура воздуха t_h									
68000	35,16	46,48	67,53	88,60	115,3	149,0	192,1	320,4	552,5	°C
73000	36,27	51,49	70,29	92,56	120,9	156,6	202,5	339,5	588,0	„
83000	38,50	53,42	75,81	100,5	132,1	171,9	223,4	377,8	659,0	„
93000	40,73	58,75	81,33	108,3	143,2	182,3	244,3	416,1	729,3	„
103000	42,97	62,18	86,86	111,2	154,0	202,6	266,0	454,0	801,1	„
113000	45,20	66,02	92,38	124,0	165.0	217,9	286,2	492,8	872,2	„

Таблицы.

	Температура уходящего из сушки воздуха t_n									
	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°	60°	70°	
	Атмосферный воздух $t_a = +10°$ C									
$d_n - d_a =$	0,00244	0,00491	0,00947	0,01507	0,02258	0,0331	0,04654	0,08849	0,16729	кгр.
$L =$	40980	20367	10537	6630	4440	3021	2150	1130	598	„
$C_s - C_n =$	98700	73480	50900	39950	32100	25488	20725	13360	8640	калор.
$\frac{C_n}{\|}$	Максимальная температура воздуха t_h									
68000	26,87	38,84	63,52	77,50	103,7	138,2	180,8	309,5	541,2	°C
73000	27,37	39,80	64,98	80,62	108,4	145,0	190,4	337,9	575,8	„
83000	28,38	41,90	67,91	86,87	117,8	158,7	209,6	364,6	645,1	„
93000	29,39	43,90	70,50	93,12	127,1	162,4	229,0	401,3	714,4	„
103000	30,40	47,00	72,48	99,38	136,5	186,1	248,0	438,0	783,8	„
113000	31,43	48,50	74,40	105,63	145,9	199,8	267,5	474,7	853,1	„
	Атмосферный воздух $t_a = 20°$ C									
$d_n - d_a =$	—	—	0,00238	0,00807	0,01576	0,02601	0,03951	0,08145	0,1602	кгр.
$L =$	—	—	42020	12392	6349	3846	2532	1228	625	„
$C_s - C_n =$	—	—	101220	44400	30605	23150	18290	11800	7520	калор.
$\frac{C_n}{\|}$	Максимальная температура воздуха t_h									
68000	—	—	36,72	57,78	84,47	118,4	161,4	289,8	521,5	°C
73000	—	—	37,28	59,40	87,74	123,7	169,6	306,7	554,7	„
83000	—	—	38,29	62,78	94,28	134,5	186,6	340,5	621,4	„
93000	—	—	39,28	66,14	100,8	145,3	202,2	374,3	687,5	„
103000	—	—	40,27	69,50	107,4	156,0	218,8	408,7	753,9	„
113000	—	—	41,27	72,80	113,9	167,0	235,8	441,9	820,3	„
	Атмосферный воздух $t_a = 30°$ C									
$d_n - d_a =$	—	—	—	—	0,00306	0,01381	0,02681	0,0687	0,1475	кгр.
$L =$	—	—	—	—	32698	7246	3731	1455	677	„
$C_s - C_n =$	—	—	—	—	78800	26160	17978	10520	6505	калор.
$\frac{C_n}{\|}$	Максимальная температура воздуха t_h									
68000	—	—	—	—	48,62	83,9	125,5	253,8	486,1	°C
73000	—	—	—	—	49,26	86,7	131,0	268,3	516,7	„
83000	—	—	—	—	50,50	92,5	142,1	296,5	577,9	„
93000	—	—	—	—	51,80	98,2	153,2	325,0	639,1	„
103000	—	—	—	—	53,00	103,9	164,3	354,0	700,4	„
113000	—	—	—	—	54,30	109,6	175,4	382,1	761,6	„

Атмосферный воздух $^3/_4$ — уходящий на $^3/_4$ насыщены.

	Атмосферный воздух $t_a = -10°$ C									
$d_n - d_a =$	0,00973	0,01355	0,01920	0,02570	0,03380	0,04630	0,06380	0,10760	0,18760	кгр.
$L =$	10275	7380	5208	3891	2958	2159	1567,4	930,0	533	„
$C_s - C_n =$	74000	62213	50200	42010	35680	28500	12620	15717	102870	калор.
$\frac{C_n}{\|}$	Максимальная температура воздуха t_h									
68000	47,44	63,23	84,17	107,4	135,4	175,5	229,8	363,2	593,6	°C
73000	49,19	66,02	88,16	112,7	142,2	185,1	242,0	385,5	545,2	„
83000	53,53	71,64	96,14	123,4	156,6	204,4	269,6	325,9	724,0	„
93000	57,60	77,32	104,20	134,1	170,0	223,7	295,3	475,2	803,8	„
103000	61,61	82,89	112,00	145,0	184,3	242,8	321,2	509,4	873,4	„
113000	65.60	88.51	120.06	155.0	201.0	262.0	343.9	564,0	951,4	„

Таблицы.

	Температура уходящего из сушки воздуха t_n									
	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°	60°	70°	
Атмосферный воздух $t_a = 0°$ C										
$d_n - d_a =$	0,00815	0,01197	0,01762	0,02412	0,03222	0,04472	0,06222	0,10612	0,1861	кгр.
$L =$	12270	8350	5681	4149	3105	2237	16077	943	537,6	„
$C_s - C_n =$	59100	50760	41060	34940	29930	24190	19370	13670	9075	калор.
$\frac{C_n}{\|}$	Максимальная температура воздуха t_h									
68000	42,98	58,72	79,63	103,0	130,4	171,2	225,4	359,2	576,3	°C
73000	44,70	61,25	83,36	108,0	137,5	180,6	238,5	381,6	635,7	„
83000	48,05	66,16	90,59	118,0	151,7	199,0	264,4	425,2	712,4	„
93000	51,43	71,42	97,80	128,0	164,1	217,5	290,9	469,2	787,6	„
103000	54,81	76,09	105,2	138,0	177,5	236,0	316,7	503,3	864,1	„
113000	58,19	81,05	112,5	148,0	190,7	254,0	341,5	557,2	941,2	„
Атмосферный воздух $t_a = 10°$ C										
$d_n - d_a =$	0,00526	0,00908	0,01472	0,02123	0,02933	0,04183	0,05983	0,10333	0,18323	кгр.
$L =$	19011	11010	6800	4715	3413	2392	1672	965	546,4	„
$C_s - C_n =$	45790	40000	32776	28650	24654	20148	16099	11600	7890	калор.
$\frac{C_n}{\|}$	Максимальная температура воздуха t_h									
68000	34,83	50,63	71,48	94,84	142,8	171,7	213,8	350,6	586,5	°C
73000	35,91	52,52	74,53	99,24	148,90	177,4	225,7	368,2	614	„
83000	38,01	56,28	80,63	108,0	156,0	188,6	249,7	404,8	673	„
93000	40,27	60,01	86,73	116,8	163,0	202,8	274,1	441,6	731	„
103000	42,45	64,30	92,83	125,6	170,0	223,2	298,2	478,0	794	„
113000	44,63	67,60	98,93	134,4	177,0	250,5	322,0	518,0	852,0	„
Атмосферный воздух $t_a = 20°$ C										
$d_n - d_a =$	—	0,00877	0,01173	0,01823	0,02633	0,03883	0,05633	0,10023	0,18023	кгр.
$L =$	—	11402	8540	5495	3800	2577	1776	1000	555	„
$C_s - C_n =$	—	13720	20490	21460	18316	15650	12797	9640	6690	калор.
$\frac{C_n}{\|}$	Максимальная температура воздуха t_h									
68000	—	49,75	63,08	86,3	113,9	154,5	208,9	342,2	577,9	°C
73000	—	51,57	65,47	90,1	119,1	162,5	220,4	362,9	616,3	„
83000	—	55,18	70,38	97,6	130,0	178,6	244,0	404,4	686,0	„
93000	—	58,85	75,10	105,2	140,9	194,7	267,1	445,9	764,7	„
103000	—	62,19	80,06	112,8	148,7	210,8	290,5	487,5	839,4	„
113000	—	66,13	84,92	129,9	162,7	226,9	314,0	529,0	914,1	„
Атмосферный воздух $t_a = 30°$ C										
$d_n - d_a =$	—	—	—	0,00650	0,01460	0,02710	0,04460	0,08850	0,16840	кгр.
$L =$	—	—	—	15384	6849	3690	2242	1130	595,3	„
$C_s - C_n =$	—	—	—	18550	20840	13320	10845	8170	5735	калор.
$\frac{C_n}{\|}$	Максимальная температура воздуха t_h									
68000	—	—	—	53,33	81,20	121,5	175,8	319,5	543,9	°C
73000	—	—	—	54,68	84,23	127,2	185,4	327,9	577,8	„
83000	—	—	—	57,36	90,29	138,4	203,5	364,6	648,5	„
93000	—	—	—	60,06	96,35	149,8	222,0	401,2	718,2	„
103000	—	—	—	62,75	102,4	161,0	240,6	438,0	787,9	„
113000	—	—	—	65,45	108,5	172,0	259,1	474,7	857,6	„

Таблица I.

Упругость и вес кубического метра

Вес воды в 1 кгр. воздуха при абсолютном давлении (барометрическом) в
когда воздух вполне насыщен

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Температура	1 куб. м. насыщенного воздуха весит γ_d	Упругость насыщенного пара q_d	Упругость самого воздуха после вычета упругости пара, при барометрическом давлении			Вес 1 куб. м. **сухого** воздуха при упругостях, указанных в граф. 4, 5, 6, и барометрическом давлении			1 кгр. сухого содержит **насы**пара (d) при упругграф. 4, 5, 6, п рпческом	
			780	760	740	780	760	740	780	760
°C	кгр.	ртути мм.	мм.	мм.	мм.	кгр.	кгр.	кгр.	кгр.	кгр.
— 20	0,00106	0,927	779	759	739	1,4256	1,3890	1,3524	0,000743	0,000763
— 15	0,00157	1,400	778,6	758,6	738,5	1,4015	1,3655	1,3294	0,00112	0,00115
— 10	0,0023	2,093	778	758	738	1,3739	1,3386	1,3033	0,00167	0,00172
— 5	0,0035	3,113	776,9	756,9	736,9	1,3518	1,7178	1,2823	0,00248	0,00254
0	0,00504	4,600	775,4	755,4	735,4	1,3181	1,2832	1,2502	0,00376	0,00387
5	0,00696	6,53	773,47	753,47	733,47	1,2925	1,2589	1,2257	0,00538	0,00553
10	0,00951	9,16	770,84	750,84	730,84	1,2642	1,2332	1,1987	0,00752	0,00771
15	0,01319	12,70	767,3	747,3	727,3	1,2354	1,2050	1,1709	0,0105	0,01080
20	0,01753	17,39	762,61	742,61	722,61	1,2087	1,1770	1,1453	0,0145	0,01480
25	0,02312	23,55	756,46	736,46	716,46	1,1755	1,1445	1,1134	0,0197	0,0202
30	0,0308	31,55	748,45	728,45	708,45	1,1423	1,1168	1,0861	0,02696	0,0275
35	0,0397	41,83	738,17	718,17	698,17	1,1146	1,0845	1,0543	0,0356	0,0366
40	0,0512	54,91	725,09	705,09	685,09	1,0760	1,0463	1,0207	0,0476	0,0489
45	0,0657	71,40	708,60	688,6	668,6	1,0346	1,0054	0,9751	0,0635	0,0653
50	0,0834	91,98	688,02	668,02	648,02	0,9894	0,9610	0,9318	0,0843	0,0868
55	0,1045	117,98	662,52	642,52	622,52	0,9355	0,9070	0,8797	0,1117	0,1152
60	0,1311	148,79	631,21	611,21	591,21	0,8774	0,8497	0,8219	0,1495	0,1540
65	0,1623	186,94	593,06	573,06	553,06	0,8156	0,7880	0,7605	0,1989	0,2060
70	0,1992	233,09	546,91	526,91	506,91	0,7383	0,7115	0,6844	0,2696	0,2799
75	0,2440	288,50	491,50	471,50	451,50	0,6562	0,6295	0,6027	0,3718	0,387
80	0,2958	354,64	425,56	405,56	385,56	0,5600	0,5335	0,5018	0,5282	0,554
85	0,3574	433,04	346,96	326,96	306,96	0,4510	0,4250	0,3991	0,7924	0,840
90	0,4280	525,45	254,55	234,55	214,55	0,3248	0,2992	0,2747	1,3177	1,430
95	0,5110	633,75	146,25	126,25	106,25	0,1846	0,1591	0,1340	2,7681	3,211
100	0,6060	760,00	20,00	0	—	0,0249	0	—	24,3373	0

Таблица I.

насыщенного водяного пара и сухого воздуха.

250 — 500 — 740 — 760 — 780 — 1140 мм. и при температурах от — 20° до + 100°, водяными парами.

12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
воздуха **щенного** гостях в барометдавлении	Абсолютное давление в сушильном пространстве $1^1/_2$ атм. = 1140 мм.			Абсолютное давление в сушильном пространстве $^1/_3$ атм. = 500 мм.			Абсолютное давление в сушильном пространстве $^1/_3$ атм. = 250 мм			Температура
	Упругость воздуха после вычета упругости пара q_d	1 куб. м. сухого воздуха весит γ_d	1 кгр. воздуха содержит насыщ. пара d	Упругость воздуха после вычета упругости пара q_d	1 куб. м. сухого воздуха весит γ_d	1 кгр. воздуха содержит насыщ. пара d	Упругость воздуха после вычета упругости пара q_d	1 куб. м. сухого воздуха весит γ_d	1 кгр. воздуха содержит насыщ. пара d	
740 кгр.	мм.	кгр.	кгр.	мм.	кгр.	кгр.	мм.	кгр.	кгр.	°C
0,000783	1139	2,084	0,00050	499,07	0,91	0,00165	249,07	0,455	0,00233	— 20
0,00118	1138,6	2,049	0,00076	498,6	0,897	0,00175	248,6	0,447	0,00351	— 15
0,00176	1138,4	2,008	0,00115	497,90	0,877	0,00262	247,9	0,438	0,00525	— 10
0,00261	1136,9	1,978	0,00169	496,88	0,862	0,00387	246,89	0,429	0,0078	— 5
0,00396	1135,4	1,930	0,00257	495,4	0,842	0,00589	245,4	0,417	0,0119	0
0,00566	1133,5	1,894	0,00367	493,47	0,822	0,00846	243,47	0,407	0,0171	5
0,00795	1130,8	1,854	0,00513	490,84	0,805	0,0118	240,84	0,395	0,0240	10
0,0110	1127,3	1,815	0,00709	487,3	0,785	0,0165	237,3	0,382	0,0340	15
0,0153	1122,6	1,779	0,00981	482,61	0,765	0,0229	232,6	0,378	0,0464	20
0,0207	1116,5	1,735	0,0134	476,45	0,740	0,0312	226,45	0,352	0,0656	25
0,0283	1108,5	1,699	0,0181	468,45	0,718	0,0429	218,45	0,335	0,0919	30
0,0376	1098,2	1,658	0,0239	458,17	0,692	0,0573	208,17	0,314	0,1264	35
0,0501	1085,1	1,610	0,0318	445,09	0,660	0,0776	195,09	0,287	0,1784	40
0,0673	1068,6	1,560	0,0421	428,6	0,626	0,1049	178,6	0,261	0,2517	45
0,0895	1049	1,508	0,0553	408,02	0,586	0,1423	158,02	0,227	0,3674	50
0,1185	1022,5	1,444	0,0723	382,52	0,539	0,1939	132,52	0,187	0,5588	55
0,1590	991,2	1,378	0,0951	351,21	0,488	0,2685	101,21	0,141	0,9300	60
0,2130	953,1	1,311	0,1239	313,06	0,430	0,3774	63,06	0,0867	1,877	65
0,2915	897	1,211	0,1644	266,91	0,360	0,533	16,91	0,0228	8,737	70
0,4050	851,5	1,133	0,2153	211,5	0,282	0,865	—	—	—	75
0,5890	785,4	1,033	0,286	145,36	0,191	1,548	—	—	—	80
0,894	707	0,919	0,388	66,96	0,087	4,108	—	—	—	85
1,557	614,5	0,784	0,546	—	—	—	—	—	—	90
3,813	506,3	0,638	0,801	—	—	—	—	—	—	95
—	380	0,473	1,281	—	—	—	—	—	—	100

Таблицы.

Таблица II.

Расход тепла (C_g или C_r) для нагрева указанного в строке 6 под- (или оборудования G), (считая на 100 кгр. подлежащей высушива-

Максимальная температура	Удельная теплота остатка или оборудования G	Должно испарить из 100 кгр.					
		75	60	50	40	33,3	25
		Из них получается высушенный					
		25	40	50	60	66,6	75
		Для 100 кгр. высушенной воды остаток R					
t_h	σ	33,3	66,6	100	150	200	300
		Количество калорий для 100 кгр.					
30	1	666	1332	2000	3 000	4 000	6 000
	0,8	533	1065	1600	2 400	3 200	4 800
	0,6	400	799	1200	1 800	2 400	3 600
	0,4	266	533	800	1 200	1 600	2 400
	0,2	133	266	400	600	800	1 200
40	1	999	1998	3000	4 500	6 000	9 000
	0,8	800	1600	2400	3 600	4 800	7 200
	0,6	600	1199	1800	2 700	3 600	5 400
	0,4	400	799	1200	1 800	2 400	3 600
	0,2	200	400	600	900	1 200	1 800
50	1	1332	2664	4000	6 000	8 000	12 000
	0,8	1064	2130	3200	4 800	6 400	9 600
	0,6	799	1598	2400	3 600	4 800	7 200
	0,4	433	1065	1600	2 400	3 200	4 800
	0,2	266	533	800	1 200	1 600	2 400
60	1	1665	3330	5000	7 500	10 000	15 000
	0,8	1352	2664	4000	6 000	8 000	12 000
	0,6	1000	1998	3000	4 500	6 000	9 000
	0,4	666	1332	2000	3 000	4 000	6 000
	0,2	333	666	1000	1 500	2 000	3 000
70	1	2000	4000	6000	9 000	12 000	18 000
	0,8	1600	3200	4800	7 200	9 600	14 400
	0,6	1200	2400	3600	54 000	7 200	10 800
	0,4	800	1600	2400	36 000	4 800	7 200
	0,2	400	800	1200	18 000	2 400	3 600
80	1	2331	4662	7000	10 500	14 000	21 000
	0,8	1864	3905	5600	8 400	11 200	16 800
	0,6	1398	2797	4200	6 300	8 400	12 600
	0.4	932	1865	2800	4 200	5 600	8 400
	0,2	466	932	1400	2 100	2 800	4 200

Таблицы.

Таблица II.

заголовка этой страницы веса остатка высушенного материала R нию воды) с первоначальной температуры t_u до температуры t_h.

сырого вещества кгр. воды							
20	14	10	7	5	4	3	2
остаток R в кгр.							
80	86	90	93	95	96	97	98
(или оборудования G) веепт кгр.							
400	600	900	1330	1900	2400	3230	4900
подлежащей испарению воды C_g или C_r							
8 000	12 000	18 000	26 600	38 000	48 000	64 600	48 000
6 400	9 600	14 400	21 280	30 400	38 400	51 680	38 400
4 800	7 200	10 800	15 960	22 800	28 800	38 760	28 800
3 200	4 800	7 200	10 640	15 200	19 200	25 840	19 200
1 600	2 400	3 600	5 320	7 600	9 600	12 920	9 600
12 000	18 000	27 000	39 900	57 000	72 000	96 900	147 000
9 600	14 400	21 600	31 920	45 600	57 600	77 520	117 600
7 200	10 800	14 200	23 940	34 200	43 200	58 140	88 200
4 800	7 200	10 800	15 960	22 800	28 800	38 760	58 800
2 400	3 600	5 400	7 980	11 400	14 400	19 380	29 400
16 000	24 000	36 000	53 200	76 000	96 000	139 200	196 000
12 800	19 200	28 800	42 560	60 800	76 800	111 360	156 800
9 600	14 400	21 600	31 920	45 600	57 600	79 520	117 600
6 400	9 600	14 400	21 280	30 400	38 400	55 680	78 400
3 200	4 800	7 200	10 640	15 200	19 200	27 840	39 200
20 000	30 000	45 000	66 500	95 000	120 000	161 500	245 000
16 000	24 000	36 000	53 200	76 000	96 000	129 200	196 000
12 000	18 000	27 000	39 900	57 000	72 000	96 900	147 000
8 000	12 000	18 000	26 600	38 000	48 000	64 600	98 000
4 000	6 000	9 000	13 300	19 000	24 000	32 300	49 000
24 000	36 000	54 000	79 800	114 000	144 000	193 800	294 000
19 200	28 800	43 200	63 840	91 200	115 200	155 040	235 200
14 400	21 600	22 400	47 880	68 400	86 400	116 280	176 400
9 600	14 400	21 600	31 920	45 600	57 600	77 520	117 600
4 800	7 200	10 800	15 960	22 800	28 800	38 760	58 800
28 000	42 000	63 000	79 800	133 000	168 000	224 100	343 000
22 400	33 600	50 400	63 840	106 400	134 400	179 280	274 400
16 800	25 200	37 800	47 880	79 800	100 800	134 460	205 800
11 200	16 800	25 200	31 920	53 200	67 200	89 640	137 200
5 600	8 400	12 600	15 960	26 600	33 600	44 820	68 600

Таблицы.

Таблица III.

Веса и объемы воздуха, температуры отходящего воздуха и расход тепла для испарения

100 кгр. воды при наружной температуре $t_a = -20^0$ до $+30^0$, максимальной температуре $t_h = 30^0$ до 130^0, барометрическом давлении $q = 760$ мм., в том случае когда и наружный и отходящий воздух насыщены парами (только предварительный нагрев).

1	2	3	4	5	6	7	8
Температура наружного воздуха	Температура воздуха при выходе	Вес сухого воздуха l	Вес влаги в воздухе l_{da}	Объемы воздуха			Расход тепла для нагрева воздуха
				при вступлении V_{la}	после нагрева V_{lh}	при выходе V_{ln}	
t_a	t_n	кгр.	кгр.	куб. м.	куб. м.	куб. м.	калорий
Наивысшая температура $t_h = 30^0 C$							
— 20	11	13 230	10,09	9 520	11 360	10 780	157 347
— 15	11,5	13 550	15,58	9 900	11 641	11 070	145 147
— 10	12	14 000	24,08	10 450	11 940	11 470	133 480
— 5	12,75	14 560	36,98	11 048	12 495	11 960	121 660
0	13,5	16 666	64,49	12 650	14 380	13 735	119 640
5	15,5	17 640	97,54	14 050	15 262	14 630	105 625
10	17,25	20 500	158,26	16 645	17 797	17 010	98 880
15	19,75	26 200	282,96	21 850	22 857	22 230	95 340
20	22,75	38 000	665,0	32 285	33 833	32 771	93 000
25	26,0	66 666	1346,65	58 250	59 010	58 530	87 357
Наивысшая температура $t_h = 35^0 C$							
— 20	12,75	11 800	9,00	8 495	10 295	9 694	154 363
— 15	13,0	11 830	13,60	8 670	10 318	9 730	140 800
— 10	13,5	12 222	21,02	9 134	10 770	10 076	131 085
— 5	14.25	12 900	32,94	9 850	11 356	10 725	120 000
0	15,5	13 100	50,69	10 000	11 458	10 890	109 725
5	17,0	14 550	80,46	11 580	12 792	12 188	104 820
10	19	15 920	123,00	12 900	13 858	13 460	96 225
15	21	19 230	207,68	16 000	17 063	16 430	93 300
20	24	23 260	346,25	19 250	20 670	20 230	85 335
25	27	33 333	673,33	29 107	30 013	29 500	82 350
30	30	66 666	1333,32	59 690	60 706	60 000	82 000

Таблицы.

Таблица III.

1	2	3	4	5	6	7	8
Температура наружного воздуха	Температура воздуха при выходе	Вес сухого воздуха l	Вес влаги в воздухе l_{da}	Объемы воздуха			Расход тепла для нагрева воздуха
				при вступлении V_{la}	после нагрева V_{lh}	при выходе V_{ln}	
t_a	t_n	кгр.	кгр.	куб. м.	куб. м.	куб. м.	калорий
Наивысшая температура $t_h = 40^0\,C$							
— 20	15	10 000	9,63	7 200	8 790	8 290	142 716
— 15	15,25	10 150	11,67	7 435	8 928	8 440	132 880
— 10	15,5	10 550	18,14	7 865	9 350	8 773	125 710
— 5	16,25	10 800	27,43	8 250	9 586	9 015	115 997
0	17,0	11 710	45,32	9 125	10 415	9 881	112 120
5	18,75	12 090	66,86	9 625	10 781	10 335	101 258
10	20,75	13 020	100,51	10 530	11 650	11 100	94 200
15	22,75	15 000	162,0	12 500	13 488	12 935	90 975
20	25,25	17 070	252,64	14 130	15 445	14 910	85 000
25	28,25	21 700	438,34	18 901	19 801	19 660	82 445
30	31,75	32 260	887,25	28 890	29 770	29 170	80 818
Наивысшая температура $t_h = 50^0\,C$							
— 20	17,5	8 250	6,33	6 000	7 582	6 950	138 180
— 15	18,0	8 300	9,54	6 080	7 592	7 118	128 505
— 10	18,5	8 400	14,45	6 278	7 692	7 175	120 120
— 5	19,5	8 630	21,92	6 550	7 912	7 350	113 300
0	20,5	8 800	34,06	6 670	8 085	7 500	105 300
5	22,0	9 000	49,77	7 165	8 292	7 610	97 245
10	23,0	9 600	79,72	7 758	8 830	8 446	92 160
15	25	10 640	114,91	8 866	9 906	9 306	90 370
20	27	11 760	174,05	9 809	10 993	10 370	86 250
25	30	13 700	276,74	11 970	12 845	12 267	84 625
30	33,5	15 700	431,75	14 058	14 968	14 410	78 874

Таблицы.

Таблица III.

1	2	3	4	5	6	7	8
Температура наружного воздуха	Температура воздуха при выходе	Вес сухого воздуха l	Вес влаги в воздухе l_{da}	Объемы воздуха			Расход тепла для нагрева воздуха
				при вступлении V_{la}	после нагрева V_{lh}	при выходе V_{ln}	
t_a	t_n	кгр.	кгр.	куб. м.	куб. м.	куб. м.	калорий
Наивысшая температура $t_h = 60^\circ C$							
— 20	21	6 600	5,03	4758	6 221	5637	125 600
— 10	21,5	6 800	11,69	5082	6 427	5840	113 470
0	23	7 000	27,09	5310	6 638	6185	100 500
10	25,75	7 310	56,43	5935	6 974	6400	88 145
20	29,5	8 370	123,87	6925	8 075	7475	83 248
30	35,25	10 310	283,53	9232	10 143	9520	77 490
Наивысшая температура $t_h = 70^\circ C$							
— 20	24	5 430	4,14	3950	5 266	4720	116 242
— 10	24,5	5 555	9,54	4155	5 396	4840	105 920
0	26	5 610	21,71	4265	5 468	5000	94 010
10	28	5 950	46,03	4835	5 836	5380	86 040
20	31,5	6 930	103,30	5775	6 922	6305	82 700
30	37,5	8 200	225,50	7342	8 294	7695	77 200
Наивысшая температура $t_h = 80^\circ C$							
— 20	26	4 845	3,70	3485	4 910	4240	115 250
— 10	26,5	4 848	8,34	3623	4 920	4270	103 950
0	28	4 850	18,77	3675	4 939	4390	92 880
10	30	5 070	39,14	4119	5 122	4540	85 610
20	33	5 555	82,21	4600	5 675	5180	81 498
30	38	6 100	167,75	5461	6 356	5915	74 400
Наивысшая температура $t_h = 90^\circ C$							
— 20	28	4 125	3,15	2893	4 243	3657	107 910
— 10	28,75	4 155	7,15	3106	4 260	3670	99 010
0	30	4 235	16,39	3215	4 377	3792	91 170
10	31,75	4 370	33,74	3550	4 544	3954	84 320
20	34,5	4 750	70,30	3925	5 195	4366	81 340
30	39,5	4 950	136,13	4432	5 308	4710	75 400

Таблицы.

Таблица III.

1	2	3	4	5	6	7	8
Температура наружного воздуха	Температура воздуха при выходе	Вес сухого воздуха l	Вес влаги в воздухе l_{da}	Объемы воздуха: при вступлении V_{la}	Объемы воздуха: после нагрева V_{lh}	Объемы воздуха: при выходе V_{ln}	Расход тепла для нагрева воздуха
t	t_n	кгр.	кгр.	куб. м.	куб. м.	куб. м.	калорий
Наивысшая температура $t_h = 100° C$							
— 20	30,5	3610	2,75	2532	3820	3245	103 080
— 10	31	3630	6,24	2710	3875	3275	95 150
0	32	3670	14,20	2780	3901	3267	87 900
10	34	3740	28,87	3035	4000	3430	81 180
20	36,25	4000	59,20	3389	4323	3721	78 260
30	41	4050	111,38	3626	4503	3840	74 980
Наивысшая температура $t_h = 110° C$							
— 20	32	3290	2,51	2375	3615	2980	101 790
— 10	32,5	3300	5,68	2465	3621	3000	95 040
0	33,5	3333	12,89	2529	3680	3101	87 780
10	35	3460	26,71	2809	3845	3195	83 400
20	37,5	3560	52,69	2947	4003	3341	78 300
30	41,75	3690	101,48	3304	4228	3575	74 000
Наивысшая температура $t_h = 120° C$							
— 20	33,6	2980	2,27	2089	3318	2722	100 632
— 10	34	3000	5,16	2245	3346	2750	92 950
0	35	3015	11,67	2285	3374	2795	86 640
10	36,5	3080	23,78	2505	3450	2870	81 730
20	39	3150	46,62	2607	3587	3031	77 000
30	42,75	3230	88,83	2892	3751	3150	72 810
Наивысшая температура $t_h = 130° C$							
— 20	35,5	2700	2,06	1895	3086	2495	96 300
— 10	36	2720	4,68	2033	3113	2432	90 720
0	36,5	2753	10,65	2088	3162	2565	85 540
10	37,75	2800	21,63	2274	3262	2630	81 000
20	40,25	2860	42,33	2365	3342	2730	77 000
30	43,75	2895	79,61	2592	3451	2845	72 600

Таблица IV.

Упругости и веса куб. метра до $^3/_4$, $^1/_2$, $^1/_4$

содержание водяного пара в 1 кгр. воздуха насыщенного до $^3/_4$, $^1/_2$, $^1/_4$

прп температурах

1	2	3	4	5	6	7	8
	Воздух па $^3/_4$ насыщен водяными парами					Воздух на $^1/_2$	
Температура	Вес пара в 1 куб. м.	Упругость пара q_d	Упругость воздуха q_l	Вес сухого воздуха в 1 м³	1 кгр. воздуха содержит пара d	Вес пара в 1 куб. м.	Упругость пара q_d
°C	кгр.	мм.	мм.	кгр.	кгр.	кгр.	мм.
— 20	0,00080	0,697	759,3	1,390	0,000575	0,00053	0,461
— 15	0,00122	1,080	759	1,366	0,00090	0,00078	0,720
— 10	0,00175	1,325	758,7	1,339	0,00130	0,00115	0,816
— 5	0,00252	2,320	757,7	1,317	0,00192	0,00168	1,540
0	0,00372	3,444	756,6	1,286	0,00288	0,00248	2,254
5	0,00522	4,999	755	1,261	0,00414	0,00348	3,32
10	0,00713	6,886	753,1	1,237	0,00577	0,00475	4,55
15	0,00974	9,54	750,5	1,208	0,00806	0,00640	6,36
20	0,01317	13,2	746,8	1,184	0,01103	0,00877	8,84
25	0,01736	17,8	742,2	1,159	0,01485	0,01156	11,8
30	0,0231	24,1	735,9	1,128	0,0205	0,0154	16,1
35	0,0298	31,0	729	1,101	0,0270	0,0199	20,6
40	0,0384	41,3	718,7	1,067	0,0351	0,0256	27,5
45	0,0492	53,1	707	1,032	0,0476	0,0328	35,4
50	0,0626	69,2	691	0,994	0,0651	0,0417	46,3
55	0,0783	81,6	679	0,951	0,0823	0,0522	54,4
60	0,0984	112,8	647,2	0,899	0,109	0,0656	75,0
65	0,1217	141,5	618,5	0,850	0,143	0,0811	94,3
70	0,1494	175,6	584,4	0,789	0,189	0,0996	117,7
75	0,1830	218,9	541,1	0,722	0,523	0,1220	145,9
80	0,2109	255,1	505	0,665	0,317	0,1479	180,0
85	0,6281	330,0	420	0,546	0,491	0,1787	220,0
90	0,3210	401,1	359	0,458	0,700	0,214	267,4
95	0,3830	485,0	275	0,347	1,104	0,255	323,4
100	0,4845	619,0	141	0,176	2,750	0,303	412,6

Таблица IV.

насыщеннго пара и сухого воздуха,

водяного пара при барометрическом давлении в 760 мм. и

— 20° до + 100°.

9	10	11	12	13	14	15	16	17
насыщен вод. парами			Воздух на $^1/_4$ насыщен вод. парами					
Упругость воздуха q_l	Вес сухого воздуха в 1 м³	1 кгр. воздуха содержит пара d	Вес пара в 1 куб. м.	Упругость пара q_d	Упругость воздуха q_l	Вес сухого воздуха в 1 м³	1 кгр. воздуха содержит пара d	Температура
мм.	кгр.	кгр.	кгр.	мм.	мм.	кгр.	кгр.	°C
759,5	1,395	0,00038	0,00027	0,235	759,8	1,391	0,00020	— 20
759,3	1,367	0,00057	0,00044	0,360	759,7	1,368	0,00032	— 15
759,2	1,340	0,00086	0,00060	0,408	759,6	1,341	0,000447	— 10
758,5	1,319	0,00127	0,00084	0,770	759,2	1,320	0,000336	— 5
757,75	1,288	0,00220	0,00124	1,164	758,8	1,290	0,00100	0
756,7	1,264	0,00275	0,00174	1,660	758,3	1,267	0,00136	5
755,4	1,240	0,00384	0,00238	2,275	757,7	1,243	0,00192	10
753,7	1,213	0,00530	0,00325	3,180	756,8	1,218	0,00257	15
751,2	1,190	0,00737	0,0044	4,440	755,5	1,197	0,00369	20
748,2	1,164	0,01100	0,0058	5,930	754,0	1,172	0,00500	25
744,0	1,141	0,0135	0,0077	8,03	752,0	1,153	0,00668	30
739,4	1,116	0,0170	0,0099	10,30	749,7	1,132	0,00874	35
732,5	1,087	0,0235	0,0128	13,77	746,2	1,107	0,0115	40
724,6	1,057	0,0310	0,0164	17,70	742,3	1,084	0,0151	45
713,7	1,026	0,0406	0,0209	23,0	737,0	1,060	0,0197	50
705,6	0,996	0,0530	0,0261	27,2	733,0	1,045	0,0250	55
685,0	0,952	0,0689	0,0328	37,5	722,5	1,004	0,0327	60
665,7	0,915	0,0886	0,0406	47,2	712,8	0,980	0,0420	65
642,3	0,867	0,1149	0,0496	58,9	701,1	0,946	0,0524	70
614,1	0,820	0,1485	0,061	72,9	687,0	0,917	0,0665	75
580,0	0,763	0,1938	0,073	90,0	670,0	0,882	0,0827	80
540,0	0,702	0,2540	0,0894	110,0	650,0	0,845	0,106	85
492,6	0,628	0,3407	0,107	133,7	626,3	0,799	0,134	90
436,6	0,551	0,4630	0,128	161,7	598,3	0,755	0,169	95
347,4	0,433	0,7000	0,1515	206,3	553,7	0,689	0,220	100

Таблицы.

Таблица V.

Температуры уходящего воздуха — Веса и объемы воздуха — Расход теплоты для испарения

100 кгр. воды при наружной температуре от — 20° до + 30°, при наивысших температурах в 35, 50, 70, 100, 130°, при барометрическом давлении 760 мм., когда наружный воздух вполне, а уходящий из сушки воздух только на $^3/_4$, $^1/_2$, $^1/_4$ насыщен водяными парами (только предварительный нагрев).

Таблица V.

Наружный воздух вполне — уходящий на $^3/_4$ насыщен. Давление в сушильн. простр. q = 760 мм.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
				Объем воздуха					
Температура насыщенного наружного воздуха	Температура воздуха при выходе из сушки	Вес сухого воздуха l	Вес влаги в воздухе ld_a	при входе V_{la}	после нагрева V_{lh}	при выходе V_{lm}	Расход тепла для нагрева воздуха C_s	Температура на $^3/_4$ насыщенного наружного воздуха	Калории, когда вступающий воздух на $^3/_4$ насыщен C_s
t_a°	t_n	кгр.	кгр.	м³	м³	м³	калор.		
Максимальная температура t_h = 35° C									
— 20	14,6	12 720	9,7	9 158	11 108	10 316	166 408	— 25	152 162
0	18,6	15 720	60,8	12 256	13 499	13 123	130 763	— 5	113 151
15	24,75	24 300	262,4	20 850	21 384	20 770	116 640	10	89 424
20	27,25	37 040	548,2	31 470	32 595	32 200	133 344	15	91 860
25	30,75	71 430	1442,9	62 280	63 572	63 620	171 434	20	91 433
Максимальная температура t_h = 50° C									
— 20	21	9 000	6,87	6 478	8 229	7 561	149 849	— 25	139 769
0	24	9 823	38	7 655	9 026	8 367	117 550	— 5	106 549
15	28,5	12 500	135	10 424	11 625	11 062	105 875	10	90 875
30	38	20 412	561	18 274	19 460	18 896	102 275	25	67 187
Максимальная температура t_h = 70° C									
— 20	27,1	6 075	4,64	4 374	5 911	5 272	130 050	— 25	123 246
0	29,25	6 337	24,5	4 938	6 196	5 588	106 159	— 5	98 062
15	33,5	7 142	77,1	5 950	7 028	6 493	94 988	10	85 918
30	41,66	8 621	239	7 719	8 749	8 164	83 994	25	71 298
Максимальная температура t_h = 100° C									
— 20	35,25	3 963	3,02	2 853	4 193	3 608	113 113	— 25	108 675
0	36	4 076	15,8	3 176	4 334	3 726	97 655	— 5	93 090
15	39,5	4 130	45,9	3 540	4 561	4 000	87 361	10	82 265
30	45,75	4 505	123,9	4 034	4 968	4 383	79 013	25	73 450
Максимальная температура t_h = 130° C									
— 20	40,1	2 896	2,21	2 085	3 265	2 716	103 320	— 25	100 077
0	41,3	2 900	11,2	2 260	3 322	2 741	90 227	— 5	86 979
15	43,75	3 000	32,4	2 500	3 483	2 960	83 490	10	74 890
30	49,4	3 003	82,6	2 689	3 570	3 033	74 996	25	71 288

Таблицы.

Таблица VI.

Наружный воздух вполне — уходящий воздух на $^1/_2$ насыщен.
Давление в сушильн. проетр. $q = 760$ мм.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Температура насыщенного наружного воздуха	Температура воздуха при выходе из сушки	Вес сухого воздуха l	Вес влаги в воздухе ld_a	Объем воздуха при входе V_{la}	Объем воздуха после нагрева V_{lh}	Объем воздуха при выходе V_{lm}	Расход тепла для нагрева воздуха C_s	Температура на $^3/_4$ насыщенного наружного воздуха	Калории, когда вступающий воздух на $^3/_4$ насыщен C_s
$t_a{}^0$	t_h	кгр.	кгр.	м³	м³	м³	калор.		
Максимальная температура $t_h = 35^0 C$									
— 20	17,75	15 151	11,56	10 907	13 231	12 621	198 212	— 25	181 242
0	23	19 762	76,5	15 400	17 344	16 922	165 543	— 5	143 410
12,5	27,00	44 444	44,1	36 500	38 667	38 600	240 886	7,5	191 069
17,5	30,75	70 000	906	58 820	61 600	61 400	290 800	12,5	212 400
Максимальная температура $t_h = 50^0 C$									
— 20	24,3	10 582	8,08	7 618	9 678	9 154	176 190	— 25	164 339
0	28,25	11 736	45,32	9 146	10 784	10 210	140 441	— 5	127 712
30	44,2	42 553	1170	38 191	40 505	40 070	233 220	25	180 672
Максимальная температура $t_h = 70^0 C$									
— 20	32,5	6 990	5,33	5 033	6 801	6 100	149 634	— 25	141 866
0	35,25	7 463	28,9	5 832	7 297	6 711	123 262	— 5	114 904
30	47,5	10 753	295,7	9 628	10 906	10 329	107 768	25	94 460
Максимальная температура $t_h = 100^0 C$									
— 20	40,1	3 125	3,33	3 144	4 619	4 010	124 621	— 25	119 733
0	41,8	4 444	17,2	3 468	4 724	4 260	106 362	— 5	101 385
30	52,5	5 155	141,7	4 616	5 687	5 099	90 412	25	84 046
Максимальная температура $t_h = 130^0 C$									
— 20	46,1	3 125	2,36	2 250	3 173	2 975	111 493	— 25	107 993
0	47,5	3 135	12,1	2 443	3 592	3 006	97 500	— 5	93 989
30	56,5	3 309	90,75	2 963	3 923	3 358	82 685	25	78 599

Таблицы.

Таблица VII.

Наружный воздух вполне — уходящий воздух на $^1/_4$ насыщен.
Давление в сушильн. простр. $q = 760$ мм.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Температура насыщенного наружного воздуха	Температура воздуха при выходе из сушки	Вес сухого воздуха l	Вес влаги в воздухе ld_a	Объем воздуха			Расход тепла для нагрева воздуха C_s	Температура на $^3/_4$ насыщенного наружного воздуха	Калории, когда вступающий воздух на $^3/_4$ насыщен C_s
				при входе V_{la}	после нагрева V_{lh}	при выходе V_{lm}			
$t_a{}^0$	t_h	кгр.	кгр.	м³	м³	м³	калор.		
Максимальная температура $t_h = 35^0\,C$									
— 20	24,5	24 940	18,93	17 955	21 721	21 234	326 271	— 25	298 339
0	29	40 820	157,97	31 811	35 820	34 950	340 915	— 5	295 197
7,5	32	72 460	479,7	58 430	63 330	63 560	478 236	2,5	397 081
10	33,8	112 300	865,8	91 080	99 263	98 770	673 800	5	548 024
Максимальная температура $t_h = 50^0\,C$									
— 20	32,3	14 760	11,26	10 626	13 496	12 028	245 749	— 25	229 749
0	35,9	18 520	71,7	14 443	17 017	16 433	221 686	— 5	200 944
10	39	25 640	199,2	20 800	23 717	23 310	244 144	15	214 428
Максимальная температура $t_h = 70^0\,C$									
— 20	41,75	8 873	6,77	6 400	8 633	8 067	189 445	— 25	183 551
0	43,6	9 852	38,1	7 678	9 333	9 034	165 116	— 5	154 082
15	48,5	13 165	237	10 920	15 000	12 331	178 090	20	163 000
30	60,3	27 000	742,5	24 167	27 371	26 865	270 570	25	237 225
Максимальная температура $t_h = 100^0\,C$									
— 20	50,3	5 263	4,02	3 789	5 568	4 990	150 223	— 25	144 423
0	52,33	5 460	21,1	4 255	5 805	5 185	130 677	— 5	124 562
30	63,5	6 862	188,70	6 144	7 527	6 850	120 351	25	111 877
Максимальная температура $t_h = 130^0\,C$									
— 20	58,5	3 600	2,75	2 620	4 104	3 575	94 193	— 25	90 193
0	60,25	3 704	14,33	2 886	4 243	3 692	115 258	— 5	124 562
30	68,8	4 255	117	3 809	5 057	4 364	106 606	25	101 252

Таблицы.

Таблица VIII.

Сопоставление температур,

при которых 1 куб. м. воздуха содержит одинаковое весовое количество воды при любой степени насыщения.

Температура	Пара в 1 куб м. возд.	Степень насыщения воздуха									
		100%	90%	80%	70%	60%	50%	40%	30%	20%	10%
°C	G	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
—20	1,06	—20	—19	— 18	—16,5	—14,5	—12,5	—9,5	—5,0	1,5	11
—15	1,57	—15	—14,25	— 13	—11,5	—9,5	—7,5	—4,5	0,2	7	18,5
—10	2,3	—10	— 9,25	—7,5	—5,75	—4,0	—2,0	2,2	5,1	13	25,5
— 5	3,5	— 5	— 3,5	— 2	0,5	2,7	5,5	9,0	13,5	20,6	33
0	5,04	0	2,1	3,8	6	7,3	12	14,8	19	26,8	40
5	6,96	5	7,0	8,7	11	13,3	16,5	20,3	25,3	32,8	47
10	9,51	10	12,3	13,7	16	18,3	22	25,7	31	38,8	54
15	13,19	15	17,2	19,5	21,6	24	27,5	31,8	37,3	46	61,5
20	17,53	20	22,5	24,3	27,6	29,4	33	37,3	43	52	67,5
25	23,12	25	27	29,2	31,3	35	38,3	43	49	58	74
30	30,8	30	32,5	34,5	36,3	40,5	43,5	48	50,5	64	81,5
35	39,7	35	37	39,6	42,5	45	45,5	53	60	70	88
40	51,2	40	42,5	45	47,5	50,5	54,5	59	66	76,5	95
45	65,7	45	47,5	50	52,5	56,1	60,2	65	71,5	82,5	—
50	83,4	50	52,5	55	58	61,5	65,2	71,5	77,5	89	—
55	104,5	55	57,5	60	63	67	71	77	84	95	—
60	131,1	60	62,5	65,2	69	72,7	77	82,5	90,2	—	—
65	162,3	65	67,5	70,5	74,5	77,5	82,5	88	96	—	—
70	199,2	70	72,5	77	81,5	82,5	87,3	94	—	—	—
75	244,0	75	77,5	81	84,5	88	93	—	—	—	—
80	295,8	80	82,5	86	89,2	94	—	—	—	—	—

Таблица IX.

Вес (в граммах) пара в 1 м³. — Его упругость в мм. *Q*. Его вес до + 100° *C* и 760 мм.

Температура °C	100% Вес в м³ / Упругость в м/м. Вес в 1 кгр. возд.	90% Вес в м³ / Упругость в м/м. Вес в 1 кгр. возд.	80% Вес в м³ / Упругость в м/м. Вес в 1 кгр. возд.	70% Вес в м³ / Упругость в м/м. Вес в 1 кгр. возд.	60% Вес в м³ / Упругость в м/м. Вес в 1 кгр. возд.
— 20	1,06 0,927 0,760	0,954 0,834 0,679	0,848 0,742 0,606	0,742 0,648 0,531	0,636 0,556 0,452
— 15	1,57 1,400 1,15	1,413 0,260 1,031	0,256 1,120 0,917	1,099 0,980 0,801	0,942 0,840 0,684
— 10	2,30 2,093 1,72	2,070 1,882 1,451	1,840 1,674 1,371	1,610 1,465 1,197	1,380 1,256 1,023
— 5	3,50 3,113 2,797	3,150 2,800 2,520	2,800 2,450 2,236	2,450 2,179 1,966	2,100 1,868 1,672
0	5,44 4,60 3,855	4,536 4,140 3,474	4,032 3,680 3,080	3,528 3,220 2,701	3,024 2,760 2,309
5	6,96 6,53 5,519	6,264 5,877 4,950	5,568 5,224 4,409	4,872 4,571 3,850	4,176 3,918 3,298
10	9,51 9,16 7,71	8,559 8,244 6,930	7,608 7,328 6,14	6,657 6,412 5,373	5,706 5,495 4,606
15	13,19 12,70 10,93	11,87 11,43 9,804	10,55 10,160 8,68	9,230 8,890 7,606	7,91 7,620 6,518
20	17,53 17,39 14,80	15,76 15,65 13,21	14,03 13,91 11,77	12,27 12,13 10,26	10,52 10,43 8,80
25	23,12 23,55 20,10	20,80 21,19 18,00	18,49 18,84 15,90	16,19 16,48 13,84	13,87 14,14 10,85
30	30,80 31,55 27,50	27,72 28,36 24,60	24,64 25,24 21,78	21,56 22,07 18,96	18,48 18,94 16,89
35	39,70 41,83 36,55	35,70 27,63 32,67	31,76 33,46 28,93	27,79 29,28 25,17	23,82 25,10 21,46
40	51,2 54,91 48,92	46,08 49,41 43,72	40,96 43,92 38,66	35,84 38,43 33,65	30,72 32,94 28,59
45	65,7 71,40 64,61	59,13 64,26 57,17	52,56 57,12 50,50	45,99 49,98 43,63	39,42 42,84 37,01
50	83,4 91,98 86,69	75,06 82,78 77,00	66,72 73,58 67,42	58,38 64,38 57,90	50,04 55,19 49,49
55	104,5 117,98 115,7	94,10 106,1 102,4	83,60 94,30 84,28	73,10 82,50 76,66	62,70 70,70 64,73
60	131,1 148,70 153,3	117,9 133,8 134,8	104,81 119,0 117,0	91,77 103,7 100,0	78,60 78,60 83,76
65	162,3 186,94 206,0	146,1 168,2 179,3	129,9 149,5 154,5	113,6 130,8 130,9	97,30 112,1 109,2
70	199,2 233,09 279,5	179,2 209,7 240,7	159,3 186,4 205,0	139,4 161,3 171,9	119,4 139,8 141,7
75	244,0 288,50 387,5	219,6 259,7 329,4	195,2 230,4 276,3	170,8 201,0 229,5	146,4 173,1 228,4
80	295,8 354,64 552,8	266,4 318,9 456,4	236,6 283,7 375,0	207,0 248,1 310,0	177,5 212,4 245,2
85	357,4 433,04 844,0	322,0 389,7 670,6	286,8 346,4 532,6	250,2 303,1 422,2	214,5 259,8 331,2
90	428,0 525,45 1430	385,2 472,9 1179	342,4 420,4 751,0	299,6 367,8 594,5	256,8 315,3 450,5
95	511,0 633,75 3211	459,9 570,3 1914	408,8 507,0 1276	357,7 443,3 892,8	306,6 380,3 638,3
100	606 760,00 ∞	545,4 675,0 5760	484,8 608,0 2556	424,2 532,0 1490	363,6 456,0 958,0

Таблица IX.

(грамм) в 1 кгр. воздуха при насыщении от 100% до 10% при — 20° барометрическаго давления.

50% Вес в м³ / Упругость в м/м. Вес в 1 кгр. возд.	40% Вес в м³ / Упругость в м/м. Вес в 1 кгр. возд.	30% Вес в м³ / Упругость в м/м. Вес в 1 кгр. возд.	20% Вес в м³ / Упругость в м/м. Вес в 1 кгр. возд.	10% Вес в м³ / Упругость в м/м. Вес в 1 кгр. возд.	Температура °C
0,530 0,463 0,322	0,424 0,370 0,303	0,318 0,278 0,227	0,212 0,185 0,152	0,106 0,093 0,076	— 20
0,785 0,700 0,573	0,628 0,560 0,458	0,471 0,420 0,344	0,314 0,280 0,229	0,157 0,140 0,115	— 15
1,150 1,047 0,855	0,920 0,837 0,684	0,690 0,628 0,513	0,460 0,420 0,341	0,230 0,209 0,170	— 10
1,750 1,557 1,395	1,400 1,243 1,117	1,050 0,934 0,837	0,700 0,623 0,558	0,350 0,311 0,278	— 5
2,520 2,300 1,919	2,016 1,840 1,537	1,512 1,380 1,155	1,008 0,920 0,779	0,504 0,460 0,384	0
3,480 3,165 2,741	2,784 2,512 2,192	1,988 1,959 1,647	1,392 1,306 1,096	0,696 0,653 0,570	5
4,760 4,580 3,830	3,800 3,664 3,392	2,850 2,748 2,295	1,800 1,832 1,528	0,950 0,916 0,763	10
6,590 6,350 5,436	5,276 5,080 4,393	3,957 3,810 3,100	2,638 2,540 2,156	1,319 1,270 1,077	15
8,77 8,695 7,348	7,000 6,956 5,846	5,250 5,117 4,378	3,500 3,478 2,904	1,750 1,739 1,450	20
11,56 11,775 9,916	9,248 9,420 7,888	6,936 7,065 5,99	4,624 4,710 3,92	2,312 2,355 1,953	25
15,40 15,775 13,44	12,320 12,610 10,70	9,240 9,475 8,002	6,160 6,310 5,3	3,080 3,155 2,642	30
19,90 20,92 17,78	15,880 16,732 14,14	11,91 12,543 10,54	7,740 8,366 6,995	3,970 4,183 3,475	35
25,60 27,45 23,68	20,48 21,96 18,80	15,36 16,47 13,99	10,24 10,98 9,26	5,12 5,49 4,59	40
32,90 35,75 30,56	26,28 28,56 24,37	19,71 21,42 17,98	13,14 14,28 11,87	6,57 7,14 5,88	45
41,70 45,99 40,76	33,36 36,79 32,01	25,02 27,59 23,72	16,68 18,39 15,48	8,34 9,20 7,70	50
52,30 58,99 51,12	41,92 47,19 40,73	31,32 35,30 30,80	20,90 23,60 20,20	10,45 11,80 9,94	55
65,60 74,35 68,47	52,44 58,48 53,55	39,33 44,61 39,31	26,22 29,74 25,69	13,11 14,87 12,56	60
81,20 83,47 88,62	64,80 74,77 68,91	48,60 55,08 50,32	32,40 37,39 32,68	16,20 18,69 13,90	65
99,60 116,5 114,3	79,68 93,24 88,20	59,76 69,93 63,86	39,84 46,61 41,16	19,92 23,31 19,91	70
122,0 144,3 186,8	97,60 115,4 113,6	73,20 86,55 81,52	48,80 57,70 52,10	24,46 28,85 24,79	75
147,7 177,3 193,0	118,3 141,9 144,9	88,74 106,4 102,8	59,16 70,93 64,96	29,58 35,46 30,91	80
178,7 216,5 253,9	142,9 173,2 189,0	107,2 129,9 131,3	71,48 86,61 81,95	35,74 43,30 38,60	85
214,0 262,7 334,0	171,2 210,2 242,8	128,4 157,6 166,3	85,60 105,1 101,8	42,80 52,55 47,10	90
255,5 316,9 456,5	204,4 253,5 318,7	153,3 190,1 212,5	102,2 126,8 127,6	51,10 63,38 57,90	95
303,0 380,0 641,0	242,4 304,0 426,2	181,8 228,0 274,5	121,2 152,0 159,8	60,60 76,00 70,96	100

Таблицы.

Таблица X.

Веса и объемы воздуха,

которые при 760 мм. баром. давл. и при температурах — 20° до + 100° вполне, на $^3/_4$, $^1/_2$, $^1/_4$ насыщенные содержат 1 кгр. водяных паров.

Температура	вполне насыщен		$^3/_4$ насыщен		$^1/_2$ насыщен		$^1/_4$ насыщен	
°C	кгр.	м³	кгр.	м³	кгр.	м³	кгр.	м³
— 20	1360	943	1739	1250	2632	1887	5000	3704
— 15	893	637	1111	820	1754	1282	3125	2500
— 10	581	435	769	571	1163	870	2250	1667
— 5	394	286	521	397	787	595	1570	1190
0	258	201	347	269	455	403	1000	806
5	181	144	242	192	364	287	735	575
10	130	105	173	140	260	211	521	420
15	93	77	124	103	189	156	389	308
20	67,6	57	91	76	136	114	271	227
25	49,5	43	68	58	100	86,6	200	172
30	36,4	32,5	48,8	43	74	65	150	130
35	27,3	25,2	37	34	58,8	50	114	101
40	20,4	19,5	28,5	26	42,6	39	87	78
45	15,3	15,2	21	20	32,2	30	66	61
50	11,5	12	16	16	24,6	24	51	48
55	8,7	9,6	13	12,7	18,9	19,2	40	38
60	6,5	7,6	9,2	10	14,5	15,2	33	31
65	4,85	6,2	7	8,2	11,3	12,3	23,8	24,6
70	3,57	5,0	5,3	6,7	8,7	10	19,1	20
75	2,58	4,1	3,95	5,5	6,8	8,2	15,1	16,4
80	1,80	3,39	3,1	4,7	5,2	6,8	12	13,7
85	1,19	2,80	2,0	3,7	3,95	5,6	9,4	11,2
90	0,7	2,34	1,43	3,1	2,94	4,7	7,5	9,3
95	0,31	1,96	0,9	2,6	2,16	3,9	5,9	7,8
100	—	1,65	0,36	2,1	1,43	3,3	4,5	5,6

Таблицы.

Таблица XI.

Вес 1 м³ воздуха и водяного пара,

который при 760 мм. барометр. давлен., при температуре — 20° до + 100 °C вполне, на $^3/_4$, $^1/_2$, $^1/_4$ насыщен водяными парами.

Температура °C	вполне насыщен кгр.	на $^3/_4$ насыщен кгр.	на $^1/_2$ насыщен кгр.	на $^1/_4$ насыщен кгр.	совершенно сухой кгр.
— 20	1,3900	1,3908	1,3910	1,3913	1,394
— 15	1,3670	1,3672	1,3678	1,3684	1,368
— 10	1,3402	1,3407	1,3411	1,3416	1,342
— 5	1,3123	1,3195	1,3207	1,3160	1,320
0	1,2881	1,2897	1,2908	1,2912	1,293
5	1,2658	1,2662	1,2674	1,2687	1,270
10	1,2427	1,2440	1,2447	1,2453	1,246
15	1,2120	1,2177	1,2194	1,2212	1,224
20	1,1940	1,1961	1,1987	1,2014	1,203
25	1,1676	1,1713	1,1755	1,1778	1,184
30	1,1476	1,1511	1,1564	1,1607	1,164
35	1,1242	1,1308	1,1359	1,1419	1,145
40	1,0975	1,1054	1,1126	1,1198	1,126
45	1,0711	1,0812	1,0898	1,1004	1,108
50	1,0444	1,0586	1,0677	1,0809	1,090
55	1,0115	1,0243	1,0482	1,0711	1,075
60	0,9808	0,9974	1,0176	1,0368	1,059
65	0,9503	0,9717	0,9961	1,0206	1,043
70	0,9107	0,9384	0,9666	0,9956	1,029
75	0,8735	0,9050	0,9420	0,9780	1,013
80	0,8293	0,8759	0,9109	0,9550	0,998
85	0,7824	0,8141	0,8807	0,9344	0,984
90	0,7272	0,7790	0,8420	0,9060	0,970
95	0,6701	0,7300	0,8060	0,8830	0,958
100	0,6060	0,6605	0,7370	0,8405	0,946

Таблицы.

Таблица XI (продолжение).

Вес 1 м³ сухого воздуха (L) и 1 м³ горячего газа (F) при 97—1100 °C и 760 мм. Q. — Объемы 1 кгр. горячего газа (F) с 0,1—0,5 кгр. воды при 100—1000 °C и 760 мм. Q.

Температура °C	Вес 1 м³ сухого воздуха L кгр.	Вес 1 м³ горячего газа F кгр.	Объемы 1 кгр. горячего газа с содержанием: 0,1 кгр. воды м³	0,2 кгр. воды м³	0,3 кгр. воды м³	0,4 кгр. воды м³	0,5 кгр. воды м³
97	—	1,00	1,22	1,39	1,56	1,73	1,90
100	0,946	0,993	—	—	—	—	—
119	0,900	—	—	—	—	—	—
125	0,883	0,927	—	—	—	—	—
139	—	0,900	—	—	—	—	—
150	0,837	0,878	—	—	—	—	—
168	0,800	—	—	—	—	—	—
175	0,784	0,823	—	—	—	—	—
190	—	0,800	—	—	—	—	—
200	0,742	0,779	1,57	1,79	1,98	2,01	2,73
225	0,704	0,739	—	—	—	—	—
231	0,700	—	—	—	—	—	—
250	0,686	0,720	—	—	—	—	—
256	—	0,700	—	—	—	—	—
275	0,642	0,674	—	—	—	—	—
300	0,616	0,646	1,89	2,16	2,73	2,71	2,98
315	0,600	—	—	—	—	—	—
325	0,587	0,616	—	—	—	—	—
345	—	0,600	—	—	—	—	—
350	0,568	0,593	—	—	—	—	—
375	0,542	0,569	—	—	—	—	—
400	0,522	0,548	2,23	2,55	2,88	3,20	3,53
450	0,475	—	—	—	—	—	—
500	0,455	0,476	2,52	2,94	3,31	3,68	4,06
600	0,403	0,424	2,90	3,33	3,75	4,18	4,61
700	0,363	0,380	3,22	3,70	4,17	4,65	5,13
800	0,329	0,345	3,56	4,18	4,61	5,03	5,62
900	0,301	0,315	3,89	4,46	5,04	5,61	6,19
1000	0,273	0,290	4,22	4,84	5,47	6,09	6,70
1100	0,258	0,269	—	—	—	—	—

Таблицы.

Таблица XII.

Объем 1 кгр. воздуха в м³

вполне насыщенного, на ³/₄, на ¹/₂, на ¹/₄ насыщенного и совершенно сухого при температурах от — 20° до + 100° при баром. давлен. в 760 мм.

Температура °C	вполне насыщен м³	³/₄ насыщен м³	¹/₂ насыщен м³	¹/₄ насыщен м³	Совершенно сухой м³
— 20	0,719	0,719	0,719	0,719	0,716
— 15	0,732	0,732	0,731	0,730	0,730
— 10	0,746	0,746	0,746	0,745	0,745
— 5	0,760	0,760	0,760	0,760	0,759
0	0,787	0,780	0,775	0,775	0,773
5	0,794	0,794	0,790	0,789	0,789
10	0,810	0,808	0,806	0,805	0,802
15	0,826	0,825	0,824	0,823	0,816
20	0,850	0,846	0,840	0,838	0,831
25	0,875	0,864	0,859	0,885	0,847
30	0,900	0,884	0,877	0,870	0,858
35	0,930	0,909	0,900	0,885	0,872
40	0,955	0,935	0,923	0,900	0,886
45	1,000	0,971	0,945	0,926	0,900
50	1,040	1,010	0,975	0,943	0,914
55	1,100	1,050	1,000	0,958	0,928
60	1,180	1,110	1,050	1,000	0,942
65	1,270	1,180	1,090	1,020	0,956
70	1,400	1,270	1,150	1,060	0,970
75	1,590	1,390	1,220	1,090	0,984
80	1,880	1,500	1,310	1,130	0,999
85	2,350	1,830	1,420	1,180	1,013
90	3,340	2,060	1,590	1,250	1,027
95	6,290	2,880	1,810	1,320	1,038
100	—	5,680	2,310	1,450	1,056

Таблицы.

Таблица XII (продолжение).

Объем 1 кгр. совершенно сухого воздуха в м³

при температурах от 100° до 1200° C.

Температура °C	м³	Температура °C	м³	Температура °C	м³
100	1,056	225	1,411	350	1,765
105	1,071	230	1,425	355	1,779
110	1,084	235	1,439	360	1,793
115	1,098	240	1,453	365	1,808
120	1,113	245	1,467	370	1,822
125	1,130	250	1,482	375	1,837
130	1,142	255	1,496	380	1,852
135	1,156	260	1,510	385	1,865
140	1,170	265	1,524	390	1,878
145	1,184	270	1,538	395	1,892
150	1,198	275	1,553	400	1,906
155	1,213	280	1,566	450	2,062
160	1,226	285	1,580	500	2,198
165	1,241	290	1,594	600	2,481
170	1,255	295	1,610	700	2,755
175	1,269	300	1,623	800	3,049
180	1,284	305	1,638	900	3.322
185	1,298	310	1,653	1000	3,597
190	1,312	315	1,672	1100	3,880
195	1,325	320	1,680	1200	4,167
200	1,339	325	1,695	—	—
205	1,354	330	1,709	—	—
210	1,368	335	1,723	—	—
215	1,382	340	1,737	—	—
220	1,397	345	1,751	—	—

Таблицы.

Таблица XIII.

Вес водяного пара в м³ воздуха при — 20° до + 100° C при полном, ³/₄, ¹/₂ и ¹/₄ насыщении (графы 2, 5, 8, 11), и приблизительные температуры, при которых воздух с данным весовым содержанием влаги был бы вполне насыщен (температура насыщения t_s) (графы 1, 4, 7, 10) и соотв. упругость пара (графы 3, 6, 9, 12).

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Температура насыщения t_s ° C	1 м³ воздуха вполне насыщ. содержит пара кгр.	Упругость вполне насыщ. пара мм.	Температура насыщения t_s ° C	1 м³ воздуха на ³/₄ насыщ. содержит пара кгр.	Упругость на ³/₄ насыщ. пара мм.	Температура насыщения t_s ° C	1 м³ воздуха на ¹/₂ насыщ. содержит пара кгр.	Упругость на ¹/₂ насыщ. пара мм.	Температура насыщения t_s ° C	1 м³ воздуха на ¹/₄ насыщ. содержит пара кгр.	Упругость на ¹/₄ насыщ. пара мм.
—20	0,00106	0,927	—	0,00080	0,697	—	0,00053	0,461	—	0,00027	0,235
—15	0,00157	1,400	18	0,00122	1,080	—	0,00078	0,720	—	0,00044	0,360
—10	0,00230	2,093	—13,5	0,00175	1,325	—19	0,00115	0,816	—	0,00060	0,408
— 5	0,00350	3,113	— 9,8	0,00252	2,320	—14,3	0,00168	1,540	—	0,00084	0,770
0	0,00504	4,600	— 4,1	0,00372	3,444	— 9,5	0,00248	2,254	—18	0,00124	1,164
5	0,00696	6,53	0,1	0,00522	4,993	— 4,8	0,00348	3,32	—13,5	0,00174	1,660
10	0,00951	9,16	5	0,00713	6,886	— 0,5	0,00475	4,55	—10	0,00238	2,276
15	0,00132	12,70	10,1	0,00974	9,54	4,5	0,00640	6,36	— 6	0,00325	3,180
20	0,01753	17,39	15	0,01317	13,2	9,25	0,00877	8,84	— 1,5	0,0044	4,440
25	0,02312	23,55	20	0,01736	17,8	13,8	0,01156	11,8	3	0,0058	5,930
30	0,0308	31,55	25	0,0231	24,1	18,4	0,0154	16,1	8	0,0077	8,030
35	0,0397	41,83	30	0,0298	31,0	23	0,0199	20,6	11,0	0,0099	10,30
40	0,0512	54,91	34,7	0,0384	41,3	27,3	0,0256	27,5	15,5	0,0128	13,77
45	0,0657	71,4	39,4	0,0492	53,1	31,7	0,0328	35,4	20	0,0164	17,7
50	0,0834	91,98	44,5	0,0626	69,2	36	0,0417	46,3	24	0,0209	23,0
55	0,1045	117,98	47,6	0,0783	81,6	40,4	0,0522	54,4	28	0,0261	27,2
60	0,1311	148,79	52,6	0,0984	112,8	45	0,0656	75,0	32	0,0328	37,5
65	0,1623	186,94	57,6	0,1217	141,5	49,5	0,0811	94,3	36	0,0406	47,2
70	0,1992	233,09	62,6	0,1419	175,6	53,8	0,0996	117,7	40	0,0496	58,9
75	0,2440	288,50	67,5	0,1830	218,9	58,3	0,1220	145,9	43,8	0,061	72,9
80	0,2958	354,64	72,1	0,2109	255,1	62,7	0,1479	180,0	47,5	0,073	90,0
85	0,3574	433,04	77,6	0,2681	330,0	67,4	0,1787	220,0	51,3	0,0894	110,0
90	0,4280	525,45	82,4	0,3210	401,1	71,8	0,214	267,4	55	0,107	133,7
95	0,5110	633,75	87,3	0,3830	485,0	76,5	0,255	323,4	58,5	0,128	161,7
100	0,6060	760,0	93	0,4845	619,0	81	0,303	412,6	62	0,1515	206,3

Таблицы.

Таблица XIV.

Содержание тепла в калориях в 1 кгр. сухого воздуха

и в 1 кгр. 100 — 10% насыщенного воздуха.

Температура °C	Количество пара в 1 кгр. воздуха g	Содержание тепла в 1 кгр. Пара калорий	Сухого воздуха калорий	Вполне насыщ. возд. калор.
— 20	0,760	600	— 4,820	— 4,363
— 15	1,15	601,6	— 3,615	— 2,923
— 10	1,72	603,2	— 2,410	— 1,373
— 5	2,797	604,8	— 1,205	0,695
0	3,855	606,5	0	2,333
5	5,519	608,03	1,205	4,561
10	7,71	609,55	2,41	7,015
15	10,93	611,08	3,615	10,275
20	14,80	612,60	4,820	13,907
25	20,10	614,13	6,025	18,365
30	27,50	615,65	7,230	24,197
35	36,55	617,18	8,43	31,023
40	48,92	618,70	9,640	39,906
45	64,61	620,23	10,84	50,89
50	86,69	621,76	12,05	65,95
55	115,7	623,28	13,25	85,05
60	153,3	624,80	14,45	111,33
65	206,0	626,33	15,66	144,61
70	279,5	627,85	16,87	192,08
75	386,5	629,38	18,07	262,12
80	552,8	630,90	19,28	368,8
85	844,0	632,43	20,48	553,88
90	1430	633,95	21,69	928,29
95	3211	635,48	22,89	2026,89
100	∞	637	24,10	∞

Таблицы.

Таблица XV.

Вес и объем воздуха и расход тепла

для испарения 100 кгр. воды при наружных температурах — 20° до + 20° C и максимальных температурах 30° до 90°, когда воздух нагрет до этих температур и поддерживается при **этих же температурах в сушильном аппарате.** Барометрическое давление 760 мм.

Таблица XV.

Наружный воздух вполне, выходящий на $^3/_4$ насыщен.

Температура холодного воздуха t_a	Вес воздуха l кгр.	Воды в воздухе $l \cdot d_a$ кгр.	Объем холодного воздуха V_{la}	Объем горячего воздуха V_{lh}	Калорий C_s
			$t_h = 30°$		
— 20	5076	3,85	3610	4500	122 850
— 10	5347	9,28	4005	4740	111 020
0	6024	23,29	4700	5340	105 760
10	7874	60,50	6490	6950	100 300
20	17543	259,0	14906	14660	115 960
			$t_h = 40°$		
— 20	2915	2,28	2090	2732	104 140
— 10	3003	5,16	2240	2814	98 300
0	3205	12,40	2500	3000	93 180
10	3650	28,05	2950	3417	88 930
20	4926	72,70	4188	4617	86 400
			$t_h = 50°$		
— 20	1620	1,28	1160	1625	89 450
— 10	1647	2,82	1230	1650	86 080
0	1706	6,60	1330	1716	82 590
10	1828	9,66	1485	1830	80 060
20	2096	30,0	1790	2100	77 860
			$t_h = 60°$		
— 20	926	0,76	662	1030	80 100
— 10	934	1,70	700	1040	78 100
0	951	3,68	741	1053	76 165
10	991	7,7	820	1101	74 350
20	1064	15,9	905	1183	72 700

Таблицы.

Таблица XV (продолжение).

Температура холодного воздуха t_a	Вес воздуха l кгр.	Воды в воздухе $l \cdot d_a$ кгр.	Объем холодного воздуха V_{la}	Объем горячего воздуха V_{lh}	Калорий C_s
			$t_h = 70°$		
— 20	532	0,41	380	670	73 930
— 10	535	0,90	400	674	72 740
0	540	2,00	420	675	71 600
10	552	4,23	448	690	70 490
20	575	8,50	495	720	69 550
			$t_h = 80°$		
— 20	316	0,24	226	316	70 000
— 10	317	0,56	239	318	69 340
0	319	1,30	248	320	68 580
10	323	2,48	262	324	67 890
20	331	5,0	300	332	67 360
			$t_h = 90°$		
— 20	143	0,11	100	311	66 240
— 10	143	0,24	108	313	65 800
0	144	0,53	112	315	65 600
10	145	1,11	118	317	65 200
20	146	2,10	128	319	64 950

Таблица XVI.

Наружный воздух вполне, а выходящий на $^1/_2$ насыщен.

			$t_h = 30°$		
— 20	8064	6,15	5765	7070	178 300
— 10	8347	14,36	6240	7316	142 500
0	10173	39,37	8580	8916	135 580
10	16700	128,76	14190	14639	143 000
			$t_h = 40°$		
— 20	4237	3,22	3027	3980	122 980
— 10	4424	7,61	3300	4070	115 200
0	4878	18,84	3870	4484	109 180
10	5988	67,9	4840	5520	106 060
20	10416	154,0	9000	9585	115 360

Таблицы.

Таблица XVI (продолжение).

Наружный воздух вполне, а выходящий на $^1/_2$ насыщен.

Температура холодного воздуха t_a	Вес воздуха l кгр.	Воды в воздухе $l \cdot d_a$ кгр.	Объем холодного воздуха V_{la}	Объем горячего воздуха V_{lh}	Калорий C_s
		$t_h = 50°$			
— 20	2364	1,75	1690	2304	101 840
— 10	2415	4,13	1807	2353	97 060
0	2551	9,86	2000	2486	92 850
10	2824	21,67	2300	2752	89 940
20	3533	62,3	3005	3443	89 600
		$t_h = 60°$			
— 20	1312	0,90	916	1247	87 460
— 10	1329	2,28	995	1263	84 690
0	1368	4,26	1067	1300	82 300
10	1443	11,10	1177	1371	79 700
20	1607	23,7	1366	1527	78 220
		$t_h = 70°$			
— 20	719	0,54	514	830	77 890
— 10	725	1,24	542	836	76 340
0	735	2,83	574	848	74 820
10	758	5,83	615	875	73 480
20	800	11,8	698	923	72 250
		$t_h = 80°$			
— 20	363	0,28	258	480	71 100
— 10	364	0,62	273	484	70 240
0	366	1,41	295	488	69 460
10	372	2,85	328	496	68 800
20	382	5,63	325	508	68 260
		$t_h = 90°$			
— 20	140	0,11	100	222	66 240
— 10	140	0,24	109	224	65 900
0	141	0,54	110	224	65 650
10	141	1,08	114	224	65 300
20	143	2,08	125	228	65 020

Таблицы.

Таблица XVII.

Наружный воздух вполне, а выходящий на $^1/_4$ насыщен.

Температура холодного воздуха t_a	Вес воздуха l кгр.	Воды в воздухе $l \cdot d_a$ кгр.	Объем холодного воздуха V_{la}	Объем горячего воздуха V_{lh}	Калорий C_s
		$t_h = 30^0$			
— 20	16 949	12,78	12 540	14 700	264 145
— 10	20 408	34,78	15 290	17 700	257 380
— 0	35 714	138,20	27 950	31 000	318 830
		$t_h = 40^0$			
— 20	9 346	7,12	6 670	8 420	196 960
— 10	10 300	17,72	7 700	9 300	183 200
0	13 158	50,88	10 250	11 789	228 500
10	27 000	207,9	22 000	24 366	257 875
		$t_h = 50^0$			
— 20	5 291	3,83	3 780	5 000	151 560
— 10	5 580	9,81	4 170	5 280	141 360
0	6 329	24,40	4 950	6 030	137 650
10	8 333	63,9	6 500	7 930	122 770
20	20 400	298,0	17 300	19 245	202 050
		$t_h = 60^0$			
— 20	3 425	2,60	2 460	3 420	127 700
— 10	3 546	6,09	2 650	3 546	121 650
0	3 831	14,81	2 985	3 825	117 460
10	4 348	33,2	3 530	4 340	114 850
20	6 579	97,2	5 590	6 570	128 900
		$t_h = 70^0$			
— 20	1 937	1,47	1 390	2 050	103 990
— 10	1 976	3,39	1 595	2 090	99 300
0	2 062	7,83	1 675	2 180	96 870
10	2 237	17,15	1 950	2 472	94 900
20	2 660	39,3	2 260	2 812	95 000
		$t_h = 80^0$			
— 20	1 221	0,93	872	1 400	91 500
— 10	1 236	2,10	924	1 410	89 050
0	1 269	4,87	995	1 440	86 740
10	1 333	10,26	1 090	1 512	84 900
20	1 473	21,7	1 251	1 561	84 100
		$t_h = 90^0$			
— 20	752	0,57	539	940	84 890
— 10	758	1,30	567	947	80 600
0	769	3,01	600	961	78 700
10	794	6,10	700	961	77 700
20	840	12,4	714	1 050	77 200

Таблицы.

Таблица XVIII.

Вес и объем воздуха. — Температуры выходящего из сушки воздуха и расход тепла

для испарения 100 кгр. воды, при наружных температурах — 20°, ± 0°, + 30° максимальных температурах 35, 50, 70, 100, 130°, когда наружный воздух и выходящий из сушки воздух вполне насыщены водяными парами.

XVIII. при абс. давлении в 1140 мм. (1,5 атм. абс.)
XIX. „ „ „ „ 500 „
XX. „ „ „ „ 250 „ } разреженный воздух.
(подогрев воздуха только предварительный).

Таблица XVIII.

Наружный и выходящий воздух вполне насыщены.
Давление в сушильном пространстве q = 1140 мм. (1,5 атм.).

1	2	3	4	5	6	7	8
Наружная температура воздуха	Температура воздуха при выходе из сушки	Вес сухого воздуха l	Вес влаги в воздухе l, d_a	Объемы воздуха			Расход тепла для нагрева воздуха C_s
				при вступлении V_{la}	после нагрева V_{lh}	при выходе V_{lm}	
t_a	t_n	кгр.	кгр.	м³	м³	м³	калорий
Максимальная температура t_h = 35° C							
— 20	16,5	14 300	10,91	10 280	8 318	7 665	187 000
± 0	19,75	17 240	66,6	12 464	10 077	9 860	144 410
+ 30	—	—	—	—	—	—	—
Максимальная температура t_h = 50° C							
— 20	22	9 430	7,2	6 782	5 760	5 341	157 010
± 0	25	10 500	40,6	7 591	6 443	5 947	125 650
+ 30	39,75	25 000	687,6	22 385	15 920	14 750	125 540
Максимальная температура t_h = 70° C							
— 20	28	6 235	4,75	4 480	4 039	3 554	131 470
± 0	30,75	6 666	25,8	4 819	4 339	3 933	111 650
+ 30	43,75	9 260	257,8	8 292	6 251	5 538	92 960
Максимальная температура t_h = 100₀ C							
— 20	36	4 085	3,1	2 935	2 904	2 395	116 604
± 0	37,5	4 180	16,2	3 022	2 986	2 849	100 100
+ 30	47,5	4 760	130,9	4 261	3 527	2 856	83 300
Максимальная температура t_h = 130° C							
— 20	41,5	2 930	2,22	2 014	2 230	1 758	104 750
± 0	42,5	3 000	11,61	2 170	2 294	1 840	93 210
+ 30	51	3 205	88,14	2 870	2 543	1 955	80 200

Таблицы.

Таблица XIX.

Наружный и выходящий из сушки воздух вполне насыщены.
Давление в сушильном пространстве $q = 500$ мм. (— 260 мм разрежения).

1	2	3	4	5	6	7	8
Наружная температура воздуха	Температура воздуха при выходе из сушки	Вес сухого воздуха l	Вес влаги в воздухе l. d_a	Объемы воздуха			Расход тепла для нагрева воздуха C_s
				при вступлении V_{la}	после нагрева V_{lh}	при выходе V_{lm}	
t_a	t_m	кгр.	кгр.	м³	м³	м³	калорий
Максимальная температура $t_h = 35^\circ C$							
— 20	8,75	10 000	7,63	7 184	13 260	12 662	130 790
± 0	11,25	10 950	42,4	7 916	14 588	12 900	91 756
+ 30	25,2	25 000	687,5	22 385	34 557	34 065	31 385
Максимальная температура $t_h = 50^\circ C$							
— 20	13	7 143	5,44	5 135	9 941	9 085	118 930
± 0	15,5	7 559	35,2	5 465	10 585	10 400	90 500
+ 30	27,33	11 000	302,5	9 850	15 962	15 135	55 240
Максимальная температура $t_h = 70^\circ C$							
— 20	18	5 000	3,82	3 597	7 390	6 698	107 010
± 0	20,1	5 235	20,2	4 075	7 782	6 843	87 640
+ 30	30,25	6 250	171,8	5 596	9 630	8 825	62 800
Максимальная температура $t_h = 100^\circ C$							
— 20	24	3 440	2,62	2 473	5 511	4 665	98 280
± 0	25,5	3 505	13,6	2 534	5 643	4 875	83 800
+ 30	33,75	3 816	104,9	3 417	6 376	5 264	66 920
Максимальная температура $t_h = 130^\circ C$							
— 20	29,25	2 470	1,89	1 795	4 288	3 286	88 200
± 0	29,75	2 602	10,1	1 884	4 540	3 575	80 990
+ 30	36,75	2 700	74,25	2 418	4 888	4 150	74 360

Таблицы.

Таблица XX.

Наружный и выходящий воздух вп ıе насыщены.
Давление в сушке $q = 250$ мм. (510 мм. разрежения).

1	2	3	4	5	6	7	8
Наружная температура воздуха t_a	Температура воздуха при выходе из сушки t^n	Вес сухого воздуха l кгр.	Вес влаги в воздухе $l.d_a$ кгр.	Объемы воздуха при вотуплении V_{ta} м³	Объемы воздуха после нагрева V_{th} м³	Объемы воздуха при выходе V_{tn} м³	Расход тепла для нагрева воздуха C калорий
Максимальная температура $t_h = 35^0\,C$							
— 20	1,5	7 874	6,0	5 660	20 875	20 152	108 515
+ 0	3,75	8 403	32,5	6 082	22 414	20 543	70 350
+ 30	15,75	12 820	352,6	11 480	35 447	33 272	25 920
Максимальная температура $t_h = 50^0\,C$							
— 20	5,5	5 900	4,5	4 239	16 403	14 514	98 280
+ 0	7,25	6 060	23,5	4 383	16 826	15 310	72 500
+ 30	17,75	8 130	223,57	7 280	23 512	21 010	40 820
Максимальная температура $t_h = 70^0\,C$							
— 20	9,5	4 340	3,31	3 120	12 817	11 480	92 880
+ 0	11	4 464	17,2	3 230	13 241	11 500	74 760
+ 30	20,25	5 000	127,5	4 478	15 284	12 642	50 000
Максимальная температура $t_h = 100^0\,C$							
— 20	14,6	3 033	2,31	2 167	9 716	8 056	86 644
+ 0	16	3 102	12	2 243	10 008	8 116	74 200
+ 30	23	3 280	90,2	2 937	10 905	9 144	57 470
Максимальная температура $t_h = 180^0\,C$							
— 20	18,75	2 381	1,8	1 711	8 262	6 362	75 050
+ 0	19,75	2 385	9,2	1 724	8 299	6 240	74 100
+ 30	25,75	2 400	66	2 149	8 582	6 917	60 000

Таблицы.

Таблица XXI.

Вес паров и объем их до и после нагрева, нужные для испарен

при абсолютн. давлен. от 148 до 2660 мм. Q и при

Температура внутри: t_n Абсолютное давление: мм. или разрежение: мм.					60° 148 612	75° 288 472	90° 525 235
$t_h = 65°\,C$	Вес пара		D	=	26 315	—	—
	Объем пара	до	V_{dn}	=	201 528	—	—
		после нагрева	V_{dh}	=	206 843	—	—
$t_h = 70°\,C$	Вес пара		D	=	13 158	—	—
	Объем пара	до	V_{dn}	=	101 245	—	—
		после нагрева	V_{dh}	=	105 001	—	—
$t_h = 75°\,C$	Вес пара		D	=	8 778	—	—
	Объем пара	до	V_{dn}	=	67 630	—	—
		после нагрева	V_{dh}	=	70 997	—	—
$t_h = 80°\,C$	Вес пара		D	=	6 579	26 316	—
	Объем пара	до	V_{dn}	=	52 954	111 054	—
		после нагрева	V_{dh}	=	54 027	107 790	—
$t_h = 85°\,C$	Вес пара		D	=	5 263	13 158	—
	Объем пара	до	V_{dn}	=	40 714	56 316	—
		после нагрева	V_{dh}	=	43 836	54 005	—
$t_h = 90°\,C$	Вес пара		D	=	4 386	8 778	—
	Объем пара	до	V_{dn}	=	34 224	38 097	—
		после нагрева	V_{dh}	=	37 017	36 363	—
$t_h = 95°\,C$	Вес пара		D	=	3 760	6 579	26 316
	Объем пара	до	V_{dn}	=	29 448	28 958	63 527
		после нагрева	V_{dh}	=	32 816	27 357	61 474

Таблицы.

Таблица XXI.

100 кгр. воды в циркуляционном аппарате без воздуха,
температуре нагрева от 65 до 200° С.

Температура внутри t_n =		100°	110°	120°	130°	140°
Абсолютное давление	в мм.	760	1064	1520	2090	2660
	в атм.	1	1,4	2,0	2,75	3,5
$t_h = 110° C$	D =	13 157	—	—	—	—
	V_{dn} =	22 422	—	—	—	—
	V_{dh} =	22 827	—	—	—	—
$t_h = 120° C$	D =	6 579	13 157	—	—	—
	V_{dn} =	10 876	15 933	—	—	—
	V_{dh} =	11 447	17 696	—	—	—
$t_h = 130° C$	D =	4 386	6 579	13 157	—	—
	V_{dn} =	7 237	7 967	10 315	—	—
	V_{dh} =	7 807	9 079	11 605	—	—
$t_h = 140° C$	D =	3 473	4 386	6 579	13 157	—
	V_{dn} =	5 730	5 311	5 658	8 394	—
	V_{dh} =	6 321	6 197	5 947	8 605	—
$t_h = 150° C$	D =	2 632	3 473	4 386	6 579	13 157
	V_{dn} =	4 343	4 206	3 772	4 197	6 684
	V_{dh} =	4 922	6 174	4 057	4 408	6 842
$t_h = 160° C$	D =	2 193	2 632	3 473	4 386	6 579
	V_{dn} =	3 618	3 187	2 987	2 798	3 342
	V_{dh} =	4 145	3 901	3 269	3 004	3 500
$t_h = 180° C$	D =	1 644	1 879	2 193	2 632	3 473
	V_{dn} =	2 613	2 275	1 886	1 679	1 764
	V_{dh} =	3 288	2 912	2 173	1 887	1 939
$t_h = 200° C$	D =	1 299	1 531	1 644	1 879	2 193
	V_{dn} =	2 143	1 854	1 414	1 199	1 114
	V_{dh} =	2 715	2 480	1 702	1 405	1 303

Таблица XXII.

Производительность 1 кгр. топлива при сушке

1	2	3	4	5	6
Строка			Дерево воздушно-сухое	Торф воздушно-сухой	Бурый уголь землистый
1	1 кгр. топлива состоит из	C	0,396	0,42	0,504
2		H	—	0,014	0,018
3		H_2O	0,594	0,516	0,378
4		золы	0,01	0,05	0,10
5	Двойное теоретическое количество воздуха	воздуха кгр.	8,9	10,5	12,6
6		воздуха (куб. м (760мм.)	6,932	8,088	9,768
		в том числе:			
7		O 23,58 %	2,1	2,48	2,97
8		N 76,42 %	6,8	8,02	9,60
9		H_2O $^3/_4$ насыщ.	0,071	0,084	0,101
10	Сжигание дает: строка 3 + 9 + 15	C	0,396	0,42	0,504
		+			
11		O_2	1,046	1,12	1,344
		вместе			
12		CO_2	1,442	1,54	1,848
13		O	—	0,112	0,144
		+			
14	„ 12 + 16 + 17	H_2	—	0,014	0,018
		вместе			
15		H_2O	—	0,126	0,162
16	Газа и воды:	O свободн.	1,054	1,248	1,482
17		N свободн.	6,8	8,02	9,63
18		Вся вода	0,665	0,726	0,641
19		Одни газы	9,296	10,706	12,962
		газ и вода			
20	газ:	вместе G:	9,961	11,43	13,603
		Теплота из:			
21	Калорий теплоты; температура t_h и объем V_g, удельная теплота σ_g, уд. вес $= S_g$, калорий $c\delta_g$ для поднятия газов с 1 кгр. топлива на 1° C	$C =$	3200	3334	4072
22		из: $H =$	—	406	542
		вместе			
23		Калорий =	3200	3740	4614
24		при этом $t_h =$	1040°	1102°	1212°
25		$\sigma_g =$	0,2757	0,2783	0,2713
26		$c =$	2,751	3,175	3,699
		Газ и вода			
27		при этом $s_g =$	0,98	1,042	1,046
		только газ			
28		при этом: $s =$	1,073	1,076	1,066
29		$V_g =$	37,56	42,75	54,26

Таблица XXII.

непосредственно горючими газами.

7	8	9	10	11	12
Сеянный уголь	Жирный уголь	Тощий уголь	Антрацит	Кокс	Древесн. уголь
0,704	0,766	0,796	0,877	0,92	0,88 кгр.
0,031	0,041	0,041	0,031	—	0,02 „
0,235	0,163	0,133	0,072	—	0,08 „
0,03	0,03	0,03	0,02	0,05	0,02 „
18	20,2	20,8	22	19,2	20,8 кгр.
13,954	15,564	16,09	16,982	14,883	16,032 куб. м.
4,24	4,76	4,91	5,19	4,53	4,91 кгр.
13,76	15,44	15,89	16,81	14,67	15,89 „
0,144	0,1616	0,1614	0,176	0,1536	0,1664 „
0,704	0,766	0,796	0,877	0,92	0,88 кгр.
1,876	2,043	2,122	2,338	2,452	2,346 „
2,580	2,809	2,918	3,215	3,372	3,226 „
0,248	0,328	0,328	0,248	—	0,16 „
0,031	0,041	0,041	0,031	—	0,02 „
0,279	0,369	0,369	0,279	—	0,180 „
2,116	2,389	2,460	2,604	2,078	2,404 „
13,76	15,440	15,89	16,81	14,67	15,89 „
0,658	0,693	0,663	0,527	0,1536	0,426 „
18,456	20,628	21,268	22,629	20,05	20,520 „
19,114	21,331	21,931	23,156	20,204	20,946 „
5688	6189	6432	7087	7433	7110 Калор.
899	1179	1189	899	—	580 „
6587	7369	7621	7986	7433	7690 „
1259°	1280°	1273°	1370°	1415°	1161° C
0,2693	0,2676	0,2672	0,2635	0,2603	0,2820
5,151	5,721	5,863	6,099	5,282	5,914 Калор.
1,049	1,044	1,050	1,056	1,075	1,113 „
1,076	1,062	1,063	1,066	1,082	1,122 „
78,69	89,15	91,10	97,20	87,87	76,07 „

Таблицы.

Таблица XXII (продолжение).

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Строка			Дерево воздушно-сухое	Торф воздушно-сухой	Бурый уголь землистый	Сеянный уголь	Жирный уголь	Тощий уголь	Антрацит	Кокс	Древесн. уголь
30	Газ из 1 кгр. вещества содержит воды при температурах выхода t_n от 100 и более градус.	$t_n = 300°$	2,76	3,45	4,58	6,70	7,61	7,27	8,29	7,96	6,92 кгр.
31		$t_n = 250°$	3,02	3,75	4,94	7,60	8,16	8,35	9,03	8,56	7,53 „
32		$t_n = 200°$	3,37	4,17	5,46	7,88	8,93	9,15	9,85	9,32	8,30 „
33		$t_n = 150°$	3,67	4,56	5,94	8,98	9,66	9,89	10,64	10,07	8,99 „
34		$t_n = 100°$	4,03	4,97	6,53	9,73	10,76	10,77	11,55	10,91	9,84 „
35	При температуре t_n ниже 100° (80,9—82°)	1 кгр. сухого газа содержит воду при вступлении в сушильное пространство =	$d_a = 0{,}0716$	0,0579	0,0495	0,0357	0,0336	0,0314	0,0233	0,0076	0,020 кгр.
36		Температура отходящего газа t_n =	76°	76,5°	77°	78,7°	79,5°	79,5°	79,5°	81°	77,5°
37		Газ из 1 кгр. вещества содержит при этом воду (насыщен) =	4,20	5,10	6,12	9,83	11,24	11,56	12,49	11,89	9,92 кгр.
38	Объемы V отходящих газов (G) и паров (D) из сушки при температуре 80°—300° в м³ на 1 кгр. вещества	G при $t_n = 300°$	16,13	18,47	22,03	30,94	34,57	35,47	37,50	32,72	33,85 куб. м.
39		D	7,47	9,34	12,35	18,15	20,72	19,70	22,49	21,57	18,75 „
40		$G+D$ V_n	23,60	27,81	34,38	49,09	55,29	55,17	59,99	54,29	52,60 „
41		G при $t_n = 250°$	14,54	16,64	19,85	27,88	31,09	31,97	33,72	29,49	30,51 „
42		D	7,40	9,26	12,20	18,77	21,15	20,62	22,30	21,14	18,59 „
43		$G+D$ V_n	21,94	25,90	32,05	46,65	52,24	52,59	56,02	50,63	49,10 „
44		G при $t_n = 200°$	13,44	15,39	18,36	25,78	28,75	29,56	31,18	27,27	28,21 „
45		D	7,48	9,25	12,12	17,49	19,82	20,31	21,86	20,69	18,42 „
46		$G+D$ V_n	20,92	24,64	30,48	43,27	48,57	49,87	52,04	47,96	46,63 „
47		G при $t_n = 150°$	11,85	13,56	16,18	22,72	25,24	26,06	27,48	24,03	24,87 „
48		D	6,93	8,61	11,22	16,97	18,25	18,69	20,10	19,00	16,99 „
49		$G+D$ V_n	18,78	22,17	27,40	39,69	43,59	44,75	47,58	43,03	41,86 „
50		G при $t_n = 100°$	10,55	12,08	14,41	20,24	22,57	23,21	24,48	21,41	22,15 „
51		D	6,64	8,20	10,77	16,05	17,62	15,32	19,00	17,93	16,23 „
52		$G+D$ V_n	17,19	20,28	25,18	36,29	40,19	38,53	43,48	39,34	38,38 „
53		$t_n = 80°$	—	—	—	—	—	—	—	—	—
54		$G+D$ V_n	15,25	17,23	20,74	33,31	38,0	39,2	42,20	40,3	33,6

Когда для 1 кгр. топлива расходуют 20 кгр. воздуха и каждые 21 кгр. сухого отходящего газа поглощают 8 — 12 кгр. (= 2,76 ÷ 3,63%) воды, то 1 м³ смеси весит при

		100°	150°	200°	250°	300°	
с водой	2,76%	0,812	0,710	0,631	0,571	0,519	кгр.
	3,00%	0,804	0,702	0,624	0,564	0,513	„
	3,23%	0,793	0,694	0,610	0,554	0,508	„
	3,44%	0,784	0,688	0,608	0,550	0,502	„
	3,63%	0,778	0,679	0,603	0,544	0,495	„

Таблица XXIII.

Вес воздуха, вес жидкости,

для испарения 100 кгр. воды в час с неподогретым на $^3/_4$ насыщенным воздухом до температуры на 2—10° ниже ее и уходит на $^3/_4$ насыщенным, и когда капли $\sigma = 1$, удельный

Если капли остаются подвешенными в сушильном пространстве

Максим.	Минимальн.	Максимальная	Первоначальная температура воздуха = 0°					Пер-темпера-	
температура жидкости		температура воздуха	Средняя температурная разница	Вес воздуха L	Потребное число калорий в	Вес жидкости F в	Диаметр капель в мм.	Средняя температурная разница	Вес воздуха L в
t_m	t_n	t_l	ϑ_m	кгр.	калор.	кгр.	δ	ϑ_m	кгр.
80	78	70	33,6	538	71 823	35 912	0,560	28,6	553
		50	50,4	1610	78 866	39 433	0,830	44,1	1750
		30	60	5680	102 240	51 120	1,000	56,7	8060
	75	70	33	538	71 823	14 365	0,220	27	553
		50	50	1610	78 866	15 773	0,330	43	1750
		30	59	5680	102 240	20 448	0,384	55	8060
	70	70	31,85	538	71 823	7 183	0,106	26,34	553
		50	47	1613	78 866	7 887	0,157	41	1750
		30	58,8	5680	102 240	10 224	0,196	52	8060
70	68	60	31,3	943	73 756	36 878	0,522	25,3	1000
		45	43,5	2240	86 135	43 068	0,725	37,6	2540
		30	53	5680	102 240	51 120	0,883	46,6	8060
	65	60	39	943	73 756	14 753	0,260	25	1000
		45	41,6	2240	86 135	17 268	0,278	36	2540
		30	47,1	5680	102 240	21 108	0,295	44,8	8060
	60	60	28	943	73 756	7 376	0,093	23,2	1000
		45	39,6	2240	86 135	8 614	0,132	34	2540
		30	49,2	5640	102 240	10 224	0,164	42,9	8060
60	58	50	26	1610	78 866	39 433	0,433	23	1750
		30	42	5680	102 240	51 123	0,700	36	8060
	55	50	26,3	1610	78 866	15 774	0,178	21,8	1750
		30	41,6	5680	102 240	21 120	0,280	34,9	8060
	50	50	25	1610	78 866	7 887	0,083	20,4	1750
		30	39,3	5680	102 240	10 224	0,131	33	8060
50	48	40	24	3110	91 652	45 826	0,400	19,5	3700
		30	32	5680	102 240	51 120	0,533	26,2	8060
	45	40	23,2	3110	91 652	18 331	0,155	18	3700
		30	31	5680	102 240	20 448	0,207	24,6	8060
	40	40	27,75	3110	91 652	9 165	0,092	16,5	3700
		30	28,97	5680	102 240	10 224	0,096	22,4	8064
40	38	30	20,9	5680	102 240	51 120	0,349	15,4	8064
	35	30	20	5680	102 240	20 448	0,333	14,4	8064
	30	30	18	5680	102 240	10 224	0,060	12,3	8064

Таблица XXIII.

расход тепла и требуемая величина капель

в 0—15—25°, когда жидкость нагрета на 40 — 90° и воздух от этого нагревается остаются подвешенными 1 секунду в рабочем пространстве. Удельная теплота вес = 1.

не 1 сек., а время в s сек., то величину капель помножают на s.

воначальная тура воздуха = 15°			Первоначальная температура воздуха = 25°				
Потребное число калорий в	Вес жидкости F в	Диаметр капель в мм.	Средняя температурная разница	Вес воздуха L в	Потребное число калорий в	Вес жидкости F в	Диаметр капель в мм.
калор.	кгр.	δ	ϑ_m	кгр.	калор.	кгр.	δ
70 118	35 059	0,477	25,91	575	69 139	34 570	0,432
73 925	36 963	0,735	40,28	1 990	71 000	35 500	0,672
94 691	47 346	0,945	51,4	17 700	82 775	41 388	0,857
70 118	14 024	0,180	25	575	69 139	13 828	0,170
73 925	14 787	0,287	40	1 990	71 000	12 200	0,270
34 691	18 940	0,470	50	17 700	82 775	16 555	0,333
70 118	7 012	0,087	23,31	575	69 139	6 914	0,077
73 925	7 393	0,044	36,9	1 990	71 000	7 100	0,123
94 691	9 469	0,065	47,6	17 700	82 775	8 278	0,158
71 793	35 897	0,421	22,6	1 060	69 139	34 570	0,377
80 551	40 271	0,627	32,7	3 055	76 821	38 411	0,545
94 691	47 346	0,777	40,72	17 700	82 775	41 388	0,679
71 793	14 359	0,170	25	1 060	69 139	13 830	0,170
80 551	16 110	0,240	36,2	3 055	76 821	15 365	0,242
94 691	1 894	0,291	47,65	17 700	82 775	16 555	0,318
71 793	7 179	0,077	19,6	1 060	69 139	6 914	0,065
80 551	8 056	0,113	29,7	3 055	76 821	7 682	0,099
94 691	9 470	0,143	37,2	17 700	82 775	8 278	0,124
73 925	36 963	0,383	19,1	1 990	71 000	35 500	0,320
94 691	47 346	0,600	31,4	17 700	82 775	41 388	0,523
73 925	14 785	0,145	18,3	1 990	71 000	14 200	0,122
94 691	18 940	0,253	30	17 700	82 775	16 555	0,200
73 925	7 393	0,068	13,6	1 990	71 000	7 100	0,045
94 691	9 469	0,110	22	17 700	82 775	8 278	0,073
84 111	42 056	0,325	16,2	4 940	79 845	39 923	0,270
94 691	47 346	0,437	21,4	17 700	82 775	41 388	0,357
84 111	16 826	0,120	14,48	4 940	79 845	15 969	0,096
94 691	18 940	0,164	20	17 700	82 775	16 555	0,133
84 111	8 411	0,055	12,3	4 940	79 845	7 985	0,041
94 691	9 470	0,075	13	17 700	82 775	8 278	0,043
94 691	47 346	0,257	11,4	17 700	82 775	41 388	0,190
94 691	18 940	0,24	10	17 700	82 775	16 555	0,167
94 691	9 470	0,041	7,24	17 700	82 775	8 278	0,024

Таблицы.

Таблица XXIV.

Для приведения 100 кгр. высушиваемого вещества с p % — ми содержания воды к содержанию воды в p_e % должно удалить из вещества w_a кгр. воды

$$w_a = \frac{(100-p_a)\ p_e}{100-p_e}.$$

Первоначальное содерж. воды p_a %	Конечное содержание воды p_e %									
	14	12	10	8	7	6	5	4	2	1
10	—	—	—	2,18	3,23	4,24	5,27	6,25	8,17	9,09
12	—	—	2,24	4,36	5,39	6,37	7,38	8,33	10,21	11,11
14	—	2,31	4,45	6,53	7,54	8,50	9,48	10,42	12,25	13,12
16	2,31	4,58	6,28	8,70	9,69	10,63	11,60	12,50	14,29	15,15
18	4,64	6,85	8,90	10,88	11,83	12,75	13,69	14,58	16,33	17,17
20	6,96	9,12	11,12	13,05	13,98	17,88	15,78	16,67	18,37	19,19
25	12,78	14,80	16,68	18,49	19,36	20,20	21,06	21,88	23,47	24,25
30	18,59	20,48	22,23	23,92	24,73	25,52	26,32	27,08	28,58	29,23
35	24,41	26,16	27,79	29,36	30,11	30,84	31,58	32 29	33,68	34,35
40	30,22	31,84	33,34	34,79	35,48	36,16	36,85	37,50	38.78	39,40
45	36,04	37,52	38,90	40,22	40,86	41,48	42,11	42,71	43,88	44,45
50	41,85	43 20	44,45	45,66	46,24	46,80	47,37	47,92	48,98	49,50
55	47,67	48,88	50,01	51.09	51,62	52,12	52,64	53,13	54,09	54,55
60	53,48	54,56	55,56	56.53	56,99	57,44	57,89	58,34	59,19	59,60
65	59,20	60,24	61,12	61,94	62,37	62,76	63,16	63,54	64,29	64,65
70	65,11	65.92	66,37	67,40	67,75	68,08	68,43	68.75	69,39	69,70
75	70 93	71,60	72,23	72,83	73,12	73,40	73,69	73,96	74,49	74,75
80	76,74	77,28	77,78	78,27	78,50	78,72	78,95	79,17	79,60	79,80

Таблицы.

Таблица XXV.

Коэффициент передачи тепла k (на 1 м^2 поверхности, при разнице температур в 1° C, в 1 час.) между обогревающей средой и воздухом через металлическую стенку.

	Скорость воздуха в м.							
	1	2	4	6	8	10	15	20
Горячие газы, протекают со скоростью V_m, воздух же находится почти в покое . . .	2—2,8	3,1—3,9	4,1—4,9	4,75—5,5	5—5,8	5,3—6	—	—
Горячие газы и воздух протекают с одинаковой скоростью v	2,5	3,7	6,5	8,5	11,0	13,0	—	—
Воздух, протекающий через трубы из ковкого железа, . . дм. 20	5,8	10,13	17,47	24,04	30,13	35,0	49,5	61,9
вокруг которых течет горячий пар. . . . . дм. 40	5,0	8,5	14,8	20,8	26,0	30,3	42,7	53,6
или горячая вода . . . . . дм. 80	4,3	7,5	12,9	17,7	22,2	25,9	36,5	45,8
Воздух продувают перпендикулярно к обогреваемым паром трубам . .	16	24	37	47	54	64	80	95
или через радиаторы	—	18	27	30	43	51	72	92

Таблица XXVI.

Потери тепла сушильным пространством в 1 час на каждый квадр. метр его поверхности при разнице температур внутри и снаружи сушки от 5 — 100° C.

Разница температур °C	Гипсовые стенки толщина в мм.			Кирпичные стены толщина в мм.						Деревянная стенка	Окна		Пол		Потолок		Разница температур °C
	40	60	100	120	250	380	510	640	770		ординарн.	двойные	бетонные плитки	массивный пол поверх земли	Своды над балками	Балки и черный пол	
5	16	14	13	12	8,5	6,5	5,5	4,9	4	11	25	12	9	7	3,5	1,4	5
10	31	28	23	24	17	13	11	9	8	22	50	23	18	14	7	3,5	10
15	47	42	36	36	25,5	19,5	16,5	13,5	12	33	75	35	27	21	10,5	5,3	15
20	62	56	46	48	34	26	22	18	16	44	100	46	36	28	14	7	20
25	78	70	59	60	42,5	32,5	27,5	22,5	20	55	125	58	45	35	17,5	9,1	25
30	93	84	69	72	51	39	33	27	24	66	150	69	54	42	21	10,5	30
35	109	100	82	84	59,5	45,5	38,5	31,5	28	77	175	71	63	49	24,5	12,3	35
40	124	112	92	96	68	52	44	36	32	88	200	92	72	56	28	15	40
45	140	126	105	108	76,5	58,5	49,5	40,5	36	99	225	104	81	63	31,5	16,8	45
50	155	140	115	120	85	65	55	45	40	110	250	110	90	70	35	17,5	50
55	171	154	128	132	93,5	71,5	60,5	49,5	44	121	275	127	99	77	38,5	19,3	55
60	186	168	138	144	102	78	66	54	48	132	300	138	109	84	42	21	60
65	202	182	151	156	110,5	84,5	71,5	58,5	52	143	325	150	117	91	45,5	22,8	65
70	217	196	161	168	119	91	77	63	56	154	350	161	126	98	49	23,5	70
75	233	210	174	180	127,5	97,5	82,5	67,5	60	165	375	173	135	105	52,5	26,3	75
80	248	224	184	192	136	104	88	72	64	176	400	184	144	112	56	28	80
85	264	238	197	204	144,5	110,5	93,5	76,5	68	187	425	196	153	119	59,5	29,8	85
90	279	252	207	216	153	117	90	81	72	198	450	207	162	123	63	31,5	90
95	295	266	220	228	161,5	123,5	104,5	85,5	78	209	475	219	171	131	66,5	33,5	95
100	310	280	230	240	170	130	110	90	80	220	500	230	180	140	70	35	100

Таблицы.

Таблица XXVII.

Высота трубы $h_т$ в метрах (над решеткой) для верхнего диаметра $d_0 = 0{,}55 \div 3{,}0$ м. по Г. Ланг'у. Уравнение 73. Рассчитано Hausbrand'ом.

Средняя внутренняя температура t_m °C	Верхний внутренний диаметр, d_0 в метрах											
	0,55	0,75	0,90	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50	2,75	3,00
	Скорость выхода газов наверху $v_0 = 3$ м.											
110	35,0	37,5	42	45,5	51,5	60	64	75	82	90	97	150
150	26,6	28,2	31,5	34,2	38,7	45	51	56,2	61,8	67,5	73	78,7
200	22,3	23,5	26,3	28,4	32,3	37,5	42,5	46,9	51,5	56,3	60,8	65,6
250	17,8	18,8	21,0	23,8	25,8	30	37,0	37,5	45,2	45	48,7	52,5
300	14,2	15,0	16,8	18,2	20,6	24	27,2	30,0	32,9	36	39,0	42,0
	Скорость выхода газов наверху $v_0 = 4$ м.											
110	34,8	40,5	44,8	49,5	54,6	61,9	69,0	76,0	83,0	90,4	97,4	105
150	28,8	33,5	37,1	39,4	45,2	51,3	57,2	63,0	69,0	75,0	80,8	87,1
200	22,9	26,7	29,5	31,3	36,0	40,7	45,9	50,0	54,7	59,5	66,7	69,3
250	18,3	21,3	23,6	25,0	28,8	32,6	36,3	40,0	43,8	47,6	51,3	55,3
300	14,7	17,1	18,9	20,0	23,0	26,1	29,0	32,0	35,0	38,0	41,1	46,2
	Скорость выхода газов наверху $v_0 = 5$ м.									$v_0 = 6$ м.		
110	46,5	51	52	54	62	70	73,7	80,7	87,9	99,1	108	116
150	32,0	37	39	41	47	53	60,9	66,7	72,6	81,9	89,3	95,7
200	26,0	30	33	35	39	44	48,5	53,1	57,8	65,2	71,1	76,2
250	20,8	23	26	27,5	35	35	38,8	42,5	46,3	52,2	56,9	61,0
300	16,8	18,4	20,8	22	24	28	31,0	34,0	37,0	41,6	45,5	48,8

Таблицы.

Таблица XXVIII.

Объем газа V и вес газа L, вытекающего в течение часа из дымовой трубы от 0,55—3,0 м. верхнего диаметра, при $v_0 = 4$ м. скорости истечения вверху и при весе газа $\gamma_i = 1{,}10 - 0{,}50$.

Относящиеся сюда температуры см. таб. XXVII	Вес газа γ_i кгр.	Верхний внутренний диаметр, d_0 в метрах										
		0,55	0,75	0,90	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50	2,75	3,00
		Кубических метров V в час $v_0 = 4$ м.											
		3 269	6 360	9 151	11 300	17 620	25 400	34 560	45 216	57 250	70 700	85 455	101 700
		Вес газа L в час $v_0 = 4$ м.											
	1,10	3 595	6 996	10 073	12 430	19 382	27 994	38 016	49 737	62 975	77 770	94 000	111 870
	1,00	3 269	6 360	9 158	11 300	17 620	25 400	34 560	45 216	57 250	70 700	85 455	101 700
	0,90	2 844	5 729	8 240	10 170	15 858	22 860	31 104	40 694	51 525	63 630	76 909	91 530
	0,80	2 615	5 088	7 324	9 040	14 096	20 320	27 648	36 172	45 800	56 560	68 364	81 360
	0,70	2 285	4 452	6 409	7 910	12 334	17 780	24 320	31 651	40 075	49 490	59 818	71 190
	0,60	1 971	3 816	5 791	6 780	10 572	15 240	20 736	27 129	34 350	42 420	51 273	61 020
	0,50	1 635	3 180	4 528	5 650	8 810	12 700	17 280	22 608	28 625	35 350	42 727	50 850

Если скорость истечения выходящего газа не $v_0 = 4$ м., а 3—5—6 м./сек., то значения этой таблицы помножаются на 0,75—1.25—1,5.

Таблицы.

Таблица XXIX.

Средние разницы температур ϑm между двумя жидкостями (или между паром или воздухом и жидкостью), которые во время теплообмена изменяют свои температуры.

1	2	3	4	1	2	3	4
$\frac{\vartheta_e}{\vartheta_a}$	$1-x=\sqrt[n]{\frac{\vartheta_e}{\vartheta_a}}$	$x=1-\sqrt[n]{\frac{\vartheta_e}{\vartheta_a}}$	Средняя разница температур ϑ_m для $\vartheta_a=1$	$\frac{\vartheta_e}{\vartheta_a}$	$1-x=\sqrt[n]{\frac{\vartheta_e}{\vartheta_a}}$	$x=1-\sqrt[n]{\frac{\vartheta_e}{\vartheta_a}}$	Средняя разница температур ϑ_m для $\vartheta_a=1$
0,0025	0,9400	0,0600	0,166	0,20	0,98404	0,01596	0,500
0,005	0,9482	0,0518	0,188	0,21	0,98452	0,01538	0,509
0,01	0,9550	0,0450	0,215	0,22	0,98497	0,01503	0,518
0,02	0,9615	0,03845	0,251	0,23	0,98541	0,01459	0,526
0,03	0,96554	0,03446	0,277	0,24	0,98583	0,01417	0,535
0,04	0,96833	0,03167	0,298	0,25	0,98623	0,01377	0,544
0,05	0,97048	0,02952	0,317	0,30	0,98802	0,01198	0,583
0,06	0,97226	0,02773	0,335	0,35	0,98957	0,01043	0,624
0,07	0,97376	0,02624	0,352	0,40	0,99088	0,00912	0,658
0,08	0,97506	0,02494	0,368	0,45	0,99205	0,00795	0,693
0,09	0,97621	0,02379	0,378	0,50	0,99309	0,00691	0,724
0,10	0,97724	0,02276	0,391	0,55	0,99404	0,00596	0,756
0,11	0,97817	0,02183	0,405	0,60	0,99491	0,00509	0,786
0,12	0,97902	0,02098	0,418	0,65	0,99570	0,00430	0,815
0,13	0,97980	0,02020	0,430	0,70	0,99644	0,00356	0,843
0,14	0,98053	0,01947	0,440	0,75	0,99713	0,00287	0,872
0,15	0,98132	0,01868	0,451	0,80	0,99777	0,00223	0,897
0,16	0,98184	0,01816	0,461	0,85	0,99837	0,00162	0,921
0,17	0,98244	0,01756	0,466	0,90	0,99895	0,00105	0,953
0,18	0,98300	0,01701	0,478	0,95	0,99949	0,00051	0,982
0,19	0,98353	0,01647	0,489	1,00	1,00000	0,00000	1,000

Таблицы.

Таблица XXX.

Нужный диаметр D_a, мощность в Л. С. и ежечасное количество тепла уходящего из вентилятора пара для 1000—20000 куб. м. в час производительности, при давлении $Z = 6$ мм. водяного столба и n оборотах в мин.

Часовая потребность воздуха в куб. м. V_L.

		1000	2000	4000	6000	8000	10 000	12 000	14 000	16 000	18 000	20 000
$V_a=8$	$D_a=$	210	300	430	520	500	672	730	790	850	890	950
	$n=$	2350	1665	1165	950	830	745	685	635	590	560	526
$V_a=10$	$D_a=$	190	270	380	465	537	600	660	710	760	805	850
	$n=$	2500	1850	1315	1075	930	830	760	705	650	620	590
Мятый пар	лом. с.	0,09	0,18	0,37	0,55	0,70	0,90	1,06	1,25	1,40	1,60	1,77
	калор.	690	1260	2590	3850	4900	6300	7420	8750	9800	11 200	12 390

Если давление, развиваемое вентилятором, не достигает $Z = 6$ мм. вод. ст., а только $Z = 4$ мм., или $Z = 2$ мм., то числа оборотов n и мощность в Л. С. соответственно помножаются на 0,8 и 0,6.

Таблица XXXI.

Центробежный Вентилятор.

Диаметр колеса D_a, число оборотов n, мощность в Л. С. центробежного вентилятора для часовой производительности $V_L = 1000 \div 20000$ куб. м. час. и давления или всасывания в $Z = 10$—200 мм. вод. ст. при воздухе в 20° C. (средней влажности).

	$V_i=$	1000	2000	4000	6000	8000	10 000	12 000	14 000	16 000	18 000	20 000
	$D_i=$	218	300	420	515	595	665	730	785	840	885	940
h	$D_a=$	400	475	675	800	950	1000	1100	1200	1300	1400	1500
mm												
10	$n=$	556	470	330	278	235	225	205	185	175	160	150
10	$N=$	0,075	0,148	0,296	0,444	0,592	0,740	0,889	1,05	1,18	1,33	1,48
50	$n=$	1240	1045	735	620	525	450	405	415	380	355	330
50	$N=$	0,35	0,74	1,48	2,22	2,96	3,70	4,5	5,20	5,9	6,6	7,4
100	$n=$	1765	1490	1050	865	750	705	645	585	545	505	470
100	$N=$	0,75	1,48	2,96	4,49	5,92	7,40	8,89	10,4	11,8	13,3	14,8
150	$n=$	2150	1820	1280	1075	915	860	785	720	665	615	575
150	$N=$	1,09	2,22	4,44	6,71	8,88	11,1	13,5	15,6	17,5	20	22
200	$n=$	2485	2100	1480	1245	1055	995	905	830	765	710	665
200	$N=$	1,48	2,95	5,90	8,98	11,82	1,48	17	20,8	23,5	26,6	29,5
Мятый пар		Около 7000 кал. в час на Л. С., скорее меньше.										

Так как не имеется достаточно проверенных на опыте данных, положенных в основу расчетов центробежных вентиляторов, то рекомендуется при выборе вентилятора определенной мощности принимать размеры всех частей несколько большими, чем здесь указано.

Диаграмма I.

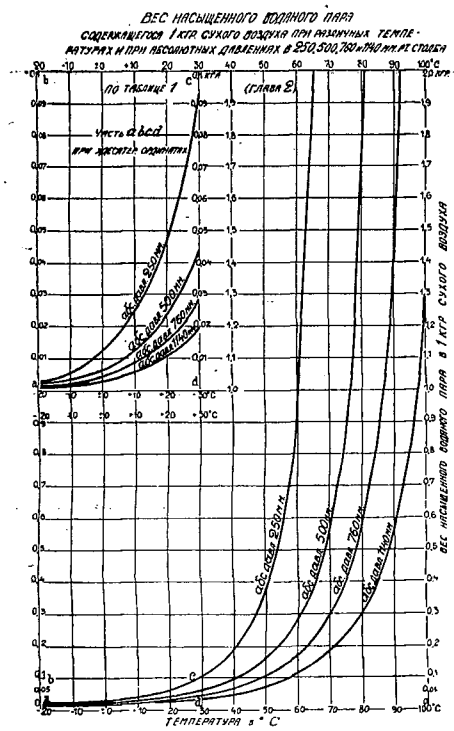


Диаграмма II.

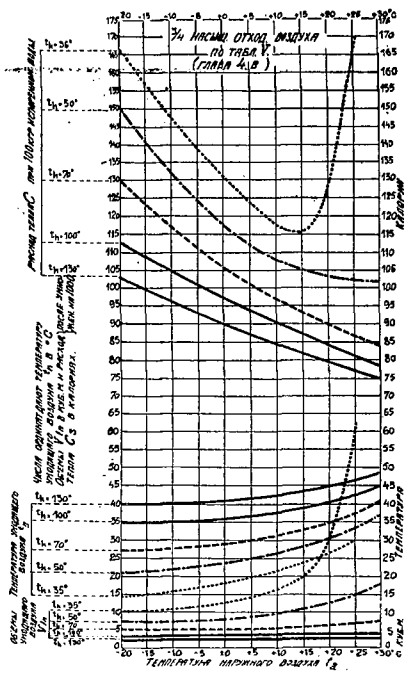


Диаграмма III.

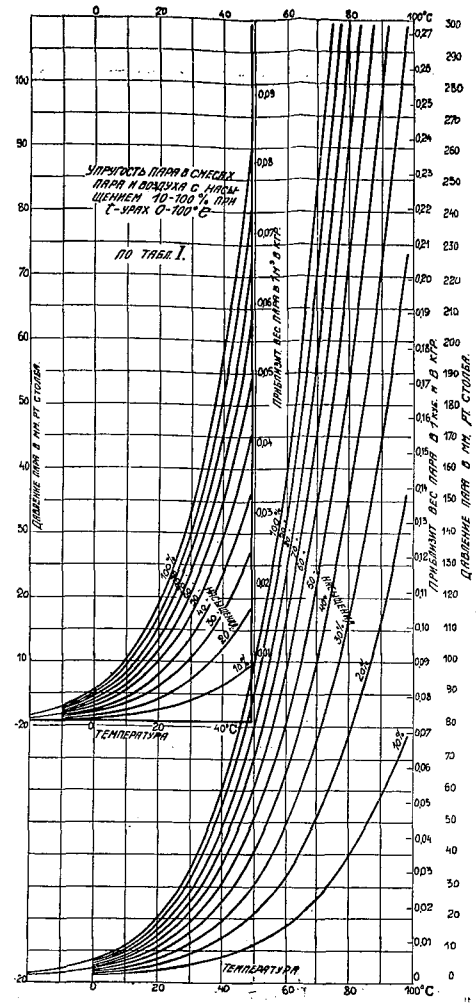


Диаграмма IV.

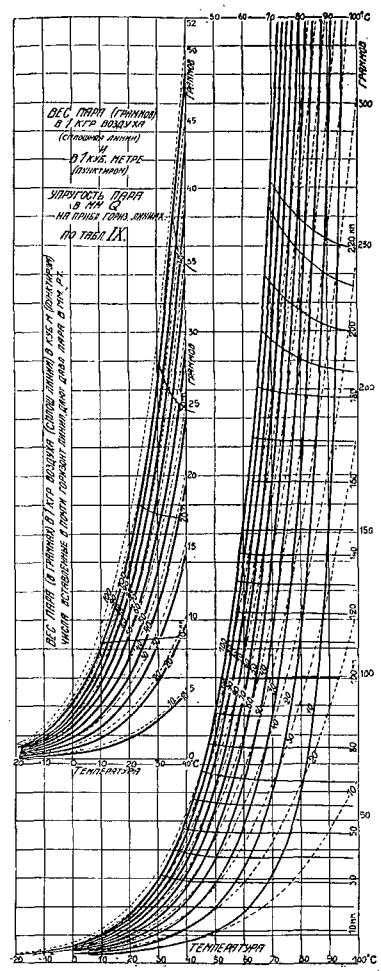


Диаграмма VI.

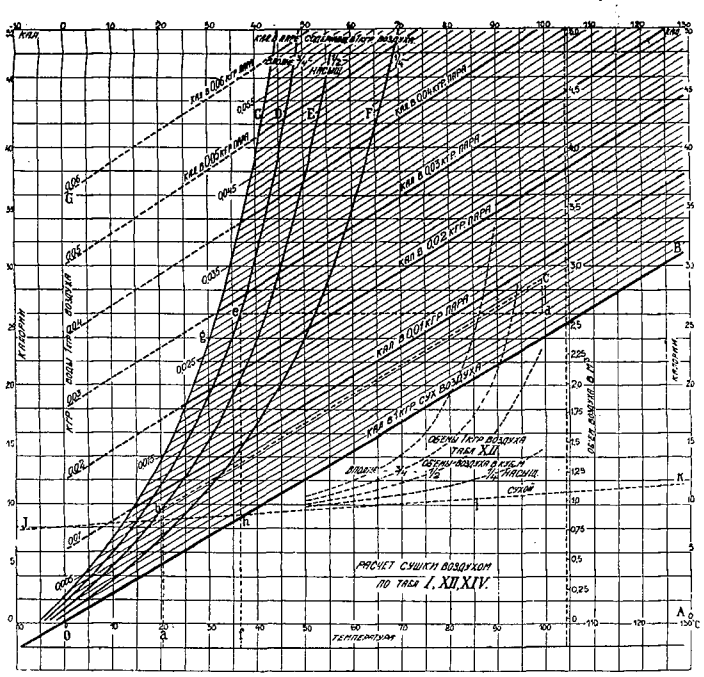


Диаграмма VII.

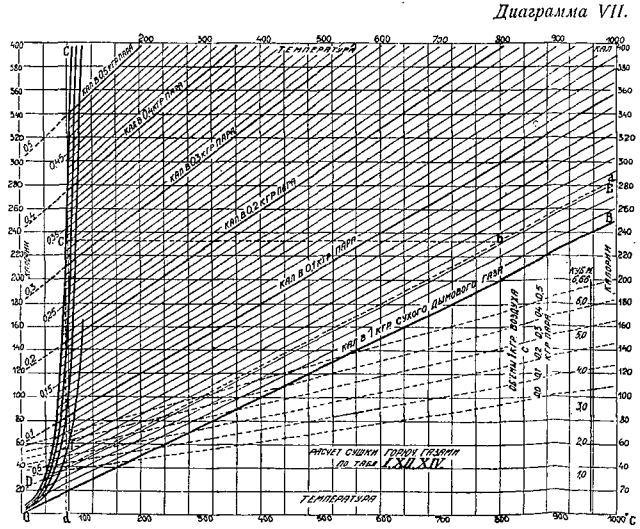


Диаграмма VIII.

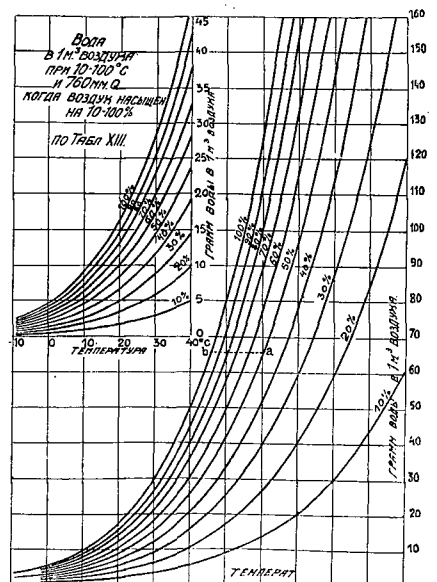


Диаграмма V.

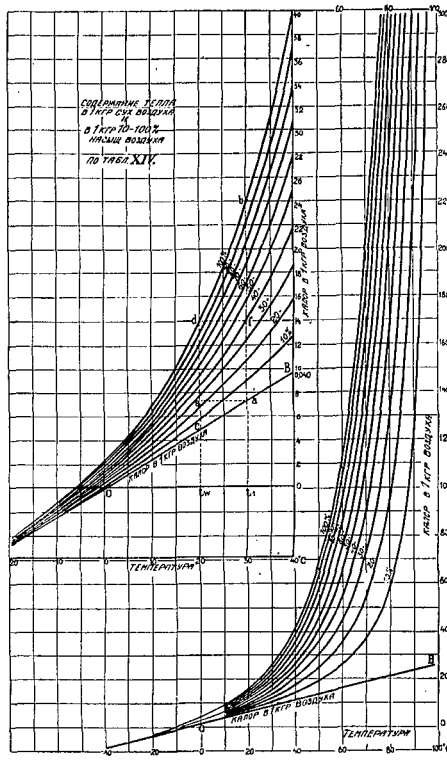


Диаграмма IX.

Вес 1 куб м пара и воздуха (сухого - ¼ - ½ - ¾ - вполне насыщенного)
" " " " воздуха с содержан 220-700-2750-25000 гр воды в 1 кгр

Крылов, А.П. О специальных сортах стали. М. 1922 г. 200 стр. 32 рис. Ц. 2 р.

Куколевский, И. И., проф. Сборник нормалей деталей машин. М. 1922 г. 96 табл. 97 чертежей. Ц. 3 р.

Кюн, В. О предельных допусках в машиностроении. Перев. с нем. проф. А. Д. Гатцука. В. 1923 г. 246 стр. 47 рис. Ц. 3 р. 50 к.

Лахтин, Н. К., проф. и Кашкаров, Н. А., проф. Железобетон. Ч. I. Пособие для студентов, инженеров и техников по проектированию и выполнению железобетонных сооружений. М. 1924 г. 171 стр. 114 рис. Ц. 2 р. 50 к.

Левенсон, Л. Б., проф. Общая теория машин (статика и динамика машин). М. 1923 г. 192 стр. 140 рис. Ц. 2 р.

Его же. Кинематика механизмов. М. 1923 г. 200 стр. 262 рис. Ц. 2 р.

Ломоносов, Ю. В., проф. Тяговые расчеты. В. 1922 г. 298 стр. 121 рис. Ц. 3 р. 75 к.

Малер, Г., проф. Задачник по физике с ответами. Перев. с нем. изд. под ред. проф. В. Д. Зарнова. М. 1923 г. 115 стр. Ц. 90 к.

Мартенс, Л., проф. Литые колеса для подвижного состава железных дорог. Чугунные закаленные Гриффина и стальные Девиса. М. 1923 г. 181 стр. 150 черт. Ц. 3 р. 45 к.

Меишуткин, Б. Н., проф. Курс общей (неорганической) химии. М. 1924 г. 373 стр. 85 рис. Ц. 4 р. 80 к.

Мещерский, И. В., проф. Сборник задач по теоретической механике. Л. 1923 г. 140 стр. 367 рис. Ц. 1 р. 60 к.

Мэрш, Р., пнж. Экскаваторы в горном деле. Под ред. проф. А. Скочинского и инж. М. Обухова. М. 1924 г. 194 стр. 55 рис. Ц. 2 р. 90 к.

Настюков, А. М., проф. Техническая химия. М. 1924 г. 3-е изд. 443 стр. 209 рис. Ц. 4 р.

Новосильцев, И. С., инж. Подземная откатка подвижными двигателями. М. 1924 г. 72 стр. 53 рис. Ц. 1 р. 25 к.

Оппенгейм, К. А., проф. Деревянные шпалы на русских железных дорогах с точки зрения народного хозяйства. М. 1921 г. 109 стр. Ц. 1 р.

Его же. Успехи заграничной техники и новейшие течения в области устройства рельсового пути (за 1912—1922 г.г.). М. 1923 г. 288 стр. 197 рис. Ц. 3 р. 50 к.

Орлов, М. М., проф. Лесная вспомогательная книжка для таксации и технических расчетов. М. 1925 г. Изд. 6-е. 383 стр. (76 табл.) Ц. 3 р. 50 к.

Орлов, П. М., проф. Таблицы приращений прямоугольных координат. М. 1925 г. 2-е изд. 98 стр. Ц. 2 р. 25 к.

Его же. Курс геодезии. М. 1924 г. 192 стр. 125 рис. Ц. 2 р. 30 к.

Передерий, Г. П., проф. Курс железобетонных мостов. Изд. 2-е. М. 1923 г. 512 стр. 626 рис. Ц. 6 р. 50 к.

Перельман, И. Я. Электрификация сельского хозяйства. М. 1923 г. 80 стр. Ц. 85 к.

Его же. Электрификация мелкой и кустарной промышленности. М. 1923 г. 80 стр. 15 рис. Ц. 1 р.

Подольский, И. С., проф. Строительная механика. Часть I (в одной книге). Сопротивление материалов. М. 1924 г. 1030 стр. 672 рис. Ц. 11 р.

Его же. То же. Часть I, вып. 1-й. Моменты инерции. Растяжение и сжатие. Сдвиг и кручение. М. 1924 г. 294 стр. 237 рис. Ц. 3 р. 40 к.

Его же. То же. Часть I, вып. 2-й. Поперечный изгиб. Расчет балок. М. 1924 г. 450 стр. 298 рис. Ц. 4 р. 50 к.

Его же. То же. Часть I, вып. 3-й. Продольный изгиб. Кривые брусья. Работа упругих сил. М. 1924 г. 289 стр. 137 рис. Ц. 3 р. 40 к.

Потоцкий, М. И., инж. Сельское водоснабжение. Пособие для инженеров, техников, агрономов, студентов и врачей. М. 1925 г. 40 стр. 19 рис. Ц. 65 к.

Ридлер, А., проф. Лабораторное испытание автомобиля. М. 1924 г. 48 стр. 44 рис. Ц. 70 к.

Соловьев, С. М., проф. Основной курс низшей геодезии. Часть I. М. 1923 г. 232 стр. 253 рис. Ц. 2 р. 35 к.

Его же. То же. Часть II. М. 1923 г. 330 стр. 268 рис. Ц. 4 р. 20 к.

Сопоцько, И. Л., инж.-электрот. Электрическое оборудование трамвайных вагонов гор. жел. дор. с электрической тягой. Практическое руководство для инженеров. М. 1923 г 96 стр. 87 рис. Ц. 1 р.

Станкевич, И. В., проф. Теоретическая механика. Часть I. Статика и кинематика. М. 1924 г. 100 стр. 136 рис. Ц. 1 р. 20 к.

Его же. Теоретическая механика. Часть II. Динамика точки, статика и динамика системы. М. 1924 г. 96 стр. 76 рис. Ц. 1 р. 10 к.

Сидоров, А. И., проф. Описательный курс машин. (Элементы машиноведения). М. 1925 г. Изд. 5-е. 158 стр. 123 рис. Ц. 1 р. 75 к.

Стрелецкий, Н. С., проф. Разводные мосты. Основы проектировки и расчета. М. 1925 г. 342 стр. 201 рис. и атласом на 14 листах. Ц. 5 р. 50 к.

Соколов, П. П., проф. Номография. Теория и практика построения график для быстрых техничч. расчетов. Пособие для инж., техн. и студ. М. 1925 г. 88 стр. 115 рис. и атлас. Ц. 1 р. 70 к.

Сухаревский, М., проф. Взрывчатые вещества и взрывные работы. Справочное руководство для инженеров, техников и студентов. Т. I. М. 1923 г. 928 стр. 444 рис. Ц. 6 р.

Его же. То же. Т. II. 1923 г. 514 стр. 447 рис. Ц. 5 р. 50 к.

Тейлор, Ф. Искусство резать металлы. 356 стр. 99 рис. 11 вкл. табл. и черт. Ц. 4 р. 50 к.

Труфанов, А. А., инж. Речная гидрология. М. 1923 г. 84 стр. 11 рис. Ц. 1 р. 20 к.

Трушков, Н. И., проф. Разработка рудных месторождений. Ч. I. Бурение. М. 1924 г. 88 стр. 70 рис. Ц. 1 р. 50 к.

Успенский, Т. В., инж. Таблицы перевода русских линейных мер в метрические. Пособие при топографо-геодезических работах. М. 1924 г. 20 стр. Ц. 40 к.

Федорович, О. М., проф. Каменные работы. Изд. 2-е. М. 1923 г. 276 стр. 284 рис. Ц. 3 р. 40 к.

Хове, Г., проф. Железо, сталь и другие сплавы. Перев. с англ. И. И. Жукова. Б. 1923 г. 535 стр. 123 рис. Ц. 5 р.

Худяков, П. К., проф. Геометрический метод исследования упругой линии согнутой балки. Б. 1923 г. 129 стр. 69 рис. Ц. 1 р. 10 к.

Его же. Задачник по сопротивлению материалов. (Из практики русского строительства). М. 1924 г. 224 стр. 145 рис. Ц. 3 р.

Его же. Как рассчитывать на крепость части машин и сооружений (курс по сопротивл. материалов без высшей математики). М. 1922 г. 633 стр. 256 рис. Ц. 6 р.

Его же. Роль и значение инженерной техники в жизни культурных народов. М. 1925 г. 56 стр. Ц. 70 к.

Четвериков, С. С., пнж. Научная организация производства в практике оборудования заводов в современных условиях. М. 1925 г. 52 стр. 44 рис. Ц. 90 к.

Его же. Производство и пересечка напильников. М. 1925 г. 44 стр. 49 рис. Ц. 70 к.

Шенфер, К. И., проф. Коллекторн. двигат. перемен. тока. М. 1922 г. 188 стр. 190 рис. Ц. 1 р. 50 к.

Щекин, П. А., инж. Практическое иллюстрированное урочное положение. Пособие-справочник при составлении и поверке смет и исполнение работ по постройке камен., деревян., и смешанн., зданий и ремонту их. М. 1925 г. 408 стр. 485 рис. Ц. 7 р. 50 к.

* Жуковский, Н. Е., проф. Теоретические основы воздухоплавания.

* Киршке, А., инж. Начертательная геометрия в приложении к машиностроению.

* Лахтин, Н. К., проф. и Кашкаров, Н. А., проф. Железобетон. Ч. II и III.

* Павлов, Н. Н., проф. Расчеты в технике.

* Сидоров, А. И., проф. Очерки из истории техники.

М. М. К. **УРОЧНОЕ ПОЛОЖЕНИЕ** для строительных работ в метрических и русских мерах (оффиц. издание) в переплете. М. 1925 г. Изд. 3-е. 334 стр. Ц. 12 р.

М. М. К. **ТАБЛИЦЫ ДЛЯ ПЕРЕВОДА** русских мер в метрические и обратно. М. 1924 г. Изд. 6-е. 64 стр. Ц. 30 к.

ТАБЛИЦЫ ДЛЯ ВЗАИМНОГО ПЕРЕВОДА цен русских и метрических мер. М. 1925 г. 64 стр. Ц. 40 к.

О'*Рурк*, инж. ТАБЛИЦЫ УМНОЖЕНИЯ. (Карманный справочник). Незаменимое пособие в отношении быстроты вычислений при технических, коммерческих и валютных расчетах. М. 1925 г. Изд. 6-е. 498 стр. Ц. 2 р. в папке.

Почтовая экспедиция Гостехиздата исполняет быстро и аккуратно заказы по почте на книги всех издательств.

При заказе свыше 10 руб. пересылка за счет Издательства.

Заказы исполняются: в 1-ю очередь оплаченные, во 2-ю — авансированные, в 3-ю — прочие.

Обращаться по адресу: Москва: Мясницкая, 1-6. Тел. 4-39-09.

Каталог высылается по получении двух семикопеечных марок.

Н. Т. О. **„ГОСТЕХИЗДАТ“** **В. С. Н. Х.**

ПРАВЛЕНИЕ:	Москва, Ильинка, Юшков пер., 6.	Тел. 2-56-34.
Торговый отдел:	„ „ „ „ „ „	5-72-12, 4-32-90.
Бухгалтерия:	„ „ „ „ „ „	3-13-81.
Склад:	„ Покровка, 28. „	4-91-28.

КНИЖНЫЕ МАГАЗИНЫ:

МОСКВА.
Тверская, 25, тел. 5-58-47.
Петровка, 10, тел. 1-95-34.
Разгуляй, 38/2, тел. 1-95-51.
Мясницкая, 1-6., тел. 4-39-09.
Волхонка, 6, тел. 2-70-69.

ЛЕНИНГРАД.
Загородный, 4, тел. 1-69-37.

ХАРЬКОВ.
Улица 1-го Мая, 8, тел. 1-01.

ПРЕДСТАВИТЕЛЬСТВА:

КИЕВ. Ул. Воровского, 38.
РОСТОВ н/Д. Средний пр., 29.
СВЕРДЛОВСК. Ул. Ив. Малышева, 26.
КАЗАНЬ. Б. Проломная, 56-а.

Цена 1 руб. 75 коп.