

Методический материал разработан доц. Калишуком Д. Г. и доц. Саевичем Н. П.

Рекомендации к выбору и расчетам сушилок

Наиболее распространенными сушилками твердых материалов являются конвективные. Студенты, согласно заданию, должны рассчитать сушилку непрерывного действия, барабанную или однокамерную с кипящим слоем. Из задания известно: материал, который подвергается сушке, размер его кусков (частиц); производительность сушилки; начальная и конечная влажность материала; место установки сушилки (климатические условия в месте установки сушилки). Также могут быть заданы начальная и конечная температуры материала, сушильный агент и его температура, топливо. При расчетах можно пользоваться примерами, которые даны в [1–4], рекомендациями [5–10, 11–19].

Порядок расчета сушилки следующий:

- 1) выбрать тип сушилки, сушильный агент;
- 2) рассчитать материальный баланс по материалу;
- 3) сделать выбор (расчет) параметров сушильного агента на входе в сушилку;
- 4) рассчитать внутренний тепловой баланс сушилки, на основании его определить параметры сушильного агента на выходе из сушилки, его расход, а также определить расход тепла на сушку;
- 5) выполнить расчеты основных размеров сушилки;
- 6) рассчитать толщину тепловой изоляции (при необходимости).

Пояснения к расчету сушилок.

К п. 1. Барабанные сушилки применяют для сушки кусковых или зернистых материалов. Тип насадки в барабане зависит от размеров кусков (частиц) материала, склонности его к налипанию [5–12]. Для полного удаления влаги из термостойких материалов можно использовать противоточные сушилки. Прямоточные сушилки имеют более высокий КПД, но скорость сушки у них меньше.

Сушилки с кипящим слоем преимущественно применяют при сушке материалов содержащих в основном свободную влагу. Их используют при сушке нехрупких, неабразивных, не склонных к слипанию зернистых материалов. Размер частиц обычно не превышает 5 мм.

Для сушки термостойких материалов, не чувствительных к загрязнениям продуктами горения топлива, применяют дымовые газы. Температуру дымовых газов доводят до заданной (снижают), разбавляя их воздухом. Воздухом сушат материалы, загрязнение которых при сушке нежелательно. Начальную и конечную температуры сушильного агента (режим сушки) выбирают по рекомендациям [3, 12] соответственно материалу или самостоятельно, с учетом его температур плавления, разложения, окисления и др.

К п. 2. Производительность сушилки по удаленной влаги W , кг/с:

$$W = \frac{G_n (U_n - U_k)}{1 - U_k}, \quad (1)$$

где G_n – производительность сушилки по исходному влажному материалу, кг/с;

U_n и U_k – начальная и конечная влажность материала соответственно (в расчете на общую массу), кг/кг.

Производительность сушилки по высушенному материалу G_k , кг/с:

$$G_k = G_n - W. \quad (2)$$

Производительность сушилки по абсолютно сухому материалу $G_{сух}$, кг/с:

$$G_{сух} = G_n (1 - U_n). \quad (3)$$

К п. 3. Начальную температуру сушильного агента (на входе в сушилку) t_1 , °С, выбирают согласно с рекомендациями к п.1 данного раздела. Влажность его x_1 , кг/кг сухого газа, и энтальпия I_1 , Дж/кг сухого газа, зависят от параметров окружающей среды. Параметры окружающей среды берут в соответствии с местом расположения сушилки и порой года (лето и зима), из пособий [1, 2] или из справочников по климату. Изменение параметров воздуха в результате нагрева в калорифере определяют по диаграмме состояния влажного воздуха (см. примеры 10.3, 10.16 [2], 9.10, 9.19 [1]) или аналитическим путем.

Параметры дымовых газов рассчитывают в зависимости от топлива, климатических условий, требуемой температуры. Методики расчета параметров дымовых газов с примерами можно найти в пособиях [3, 4, 13], состав топлива в пособиях [14–18] и др. Топливо подбирают с учетом возможности его транспортирования к месту потребления (трубопроводы, железная дорога, нефтяные терминалы) и экологической безопасности.

К п. 4. Согласно внутреннему тепловому балансу сушилки с кипящим слоем или барабанной, разность между удельным приходом и расходом тепла непосредственно в сушильной камере Δ , Дж/кг влаги:

$$\Delta = c\theta_1 - (q_m + q_n), \quad (4)$$

где c – теплоемкость влаги при температуре θ_1 , Дж/(кг·°С);

θ_1 – температура материала на входе в сушилку, °С;

q_m – удельный подвод тепла в сушилку с материалом, Дж/кг влаги;

q_n – удельные потери тепла в окружающую среду, Дж/кг влаги.

$$q_m = \frac{G_k c_m (\theta_2 - \theta_1)}{W}, \quad (5)$$

где c_m – теплоемкость материала, Дж/(кг·°С);

θ_2 – температура материала на выходе из сушилки, °С.

Температуру θ_2 принимают:

– равной температуре мокрого термометра сушильного агента, с которым в контакте находится высушенный материал, в случае если из материала удаляется только свободная влага;

– на 20–50 °С ниже температуры сушильного агента, с которым в контакте находится высушенный материал, в случае если материал достигает конечной влажности, меньшей, чем гигроскопичная.

Температуру мокрого термометра сушильного агента на выходе из сушилки $t_{2м}$, °С, можно приблизительно принять равной температуре мокрого термометра сушильного агента на выходе для процесса теоретической сушки. Температуру сушильного агента на выходе из сушилки t_2 обычно берут на 15–30 °С, больше чем температура точки росы $t_{2р}$. Величину $t_{2р}$ можно приблизительно определить при анализе процесса теоретической сушки по диаграмме состояния влажного газа. При использовании сушильного агента с температурой $t_1 > 200$ °С обычно принимают $t_2 = 100...120$ °С. Параметры влажных дымовых газов с достаточной точностью можно определить по диаграмме состояния влажного воздуха.

Величину q_n можно принять равной 5–10% от удельного количества тепла на испарение влаги из материала:

$$q_n = (0,05...0,10)r, \quad (6)$$

где r – удельная теплота парообразования влаги, Дж/кг.

Действительные величины энтальпии I_2 , Дж/кг сухого газа, влагосодержания x_2 , кг/кг сухого газа, для сушильного агента определяют совместным решением уравнений материального и теплового баланса по сушильному агенту:

$$I_2 = I_1 + \Delta(x_2 - x_1). \quad (7)$$

Уравнение (7) решают методом последовательных приближений. Упрощенно задачу можно решать графически следующим образом. При использовании одного из методов задаются двумя произвольными значениями $x_2 - x_2'$ и x_2'' . Соответственно им рассчитывают два значения $I_2 - I_2'$ и I_2'' . Величины x_2' и x_2'' рекомендуется брать близкими к величине x_2 при t_2 для варианта теоретической сушки. На диаграмму состояния влажного газа наносят точки с координатами x_2', I_2' и x_2'', I_2'' . Затем соединяют эти точки отрезком прямой и по точке пересечения отрезка с изотермой t_2 определяют действительные величины x_2 и I_2 .

Массовый расход абсолютно сухого сушильного агента L , кг/с:

$$L = \frac{W}{x_2 - x_1}. \quad (8)$$

Массовые расходы влажного сушильного агента, его объемные расходы определяют соответственно условиям (температура, влагосодержание, давление) [1, 2].

Расход тепла на сушку Q , Вт:

$$Q = L(I_1 - I_0), \quad (9)$$

где I_0 – удельная энтальпия воздуха на входе в калорифер (топку) сушилки, Дж/кг сухого воздуха.

Для сушилок с сушильным агентом – дымовыми газами – по величине Q проводят расчет расхода топлива.

К п. 5. Расчет основных параметров барабана барабанной сушилки рекомендуется вести по [3] (см. с. 291–303), [4] (см. с. 8). Проще всего объем барабана V , м³, можно определить через его объемное напряжение по влаге A , кг/(м³·с):

$$V = \frac{W}{A}. \quad (10)$$

Величину A можно принять по рекомендациях [3, 4] соответственно материалу и режиму его сушки. Длину и диаметр барабана принимают с учетом сведений из [3, 19, 20].

Размеры сушильной камеры для сушилки с кипящим слоем можно рассчитать по методике [3] (см. с. 305–309).

К п. 6. Толщину тепловой изоляции можно рассчитать, пользуясь методикой [4, с. 12–14].

Расчеты сушилок выполняют для зимних и летних условий эксплуатации. По результатам расчетов, как определяющие, берут большие из полученных величин Q и L .

Для сушилки с кипящим слоем дополнительно рассчитывают гидравлическое сопротивление [3, с. 310].

ЛИТЕРАТУРА

1. Методы расчета процессов и аппаратов химической технологии (примеры и задачи) / П. Г. Романков, В. Ф. Фролов, О. Н. Флисюк и др. – СПб.: Химия, 1993.
2. Павлов К. Ф., Романков П. Г., Носков А. А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. – Л.: Химия, 1987.
3. Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию / Под ред. Ю. И. Дытнерского. – М.: Химия, 1991.
4. Карпенков А. Ф. Методические указания к курсовому проектированию по курсу «Процессы и аппараты химической технологии» (расчет сушильной установки барабанного типа). – М.: Химия, 1984.
5. Касаткин А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. – М.: Химия, 1973.

6. Дытнерский Ю. И. Процессы и аппараты химической технологии: В 2-х кн. – М.: Химия, 1995.
7. Гельперин Н. И. Основные процессы и аппараты химической технологии: В 2-х кн. – М.: Химия, 1981.
8. Справочник химика / Под ред. Б. П. Никольского. Т.5. – М.: Химия, 1966.
9. Перри Дж. Справочник инженера-химика: В 2-х кн. – М.: Химия, 1969.
10. Плановский А. Н., Николаев П. И. Процессы и аппараты химической и нефтехимической технологии. – М.: Химия, 1987.
11. Сажин Б. С. Основы техноки сушки. – М.: Химия, 1984.
12. Лыков М. В. Сушка в химической промышленности. – М.: Химия, 1976.
13. Левченко П. В. Расчеты печей и сушилок силикатной промышленности. – М.: Высшая школа, 1968.
14. Копелиович В. М., Здоров А. И., Авраменко В. Р. Топливо цементной промышленности. – М.: Стройиздат, 1984.
15. Краткий справочник технолога цементного завода / Под ред. И. В. Кравченко. – М.: Стройиздат, 1974.
16. Теплотехнический справочник: В 2-х т. / Под ред. В. Н. Юренева и П. Д. Лебедева. Т.1. – М.: Энергия, 1975.
17. Справочник химика-энергетика: В 4-х т. / Под общ. ред. С. М. Гурвича. Т.3. Энергетическое топливо. – М.: Энергия, 1972.
18. Энергетическое топливо СССР. Справочник / Под ред. Г. А. Зикеева. – М.: Энергия, 1968, Агропромиздат, 1985.
19. Гинзбург А. С. Расчет и проектирование сушильных установок пищевой промышленности. – М.: Агропромиздат, 1985.
20. Сушильные аппараты и установки. Каталог. – М.: ЦИНТИХИМНЕФТЕМАШ, 1988.