

Интегральный коэффициент излучения для каждого значения температуры T_i рассчитывали по формуле:

$$\varepsilon(T_i) = \varepsilon_c \frac{Q(T_i)}{Q_c(T_i)},$$

где $Q(T_i)$, $Q_c(T_i)$ – измеренные значения мощности излучения при нагреве до температуры T_i исследуемого и эталонного образцов соответственно.

Объектами для исследований служили конструкционные и теплоизоляционные материалы с различными теплофизическими свойствами (таблица 1).

Результаты измерения интегральных коэффициентов излучения образцов этих материалов в диапазоне температур 100...1000 °С приведены на рисунке 4.



Рисунок 5. Фотография образцов до и после нагрева до температуры 1000 °С

Из приведенных зависимостей видно, что для всех исследуемых образцов интегральный коэффициент излучения уменьша-

ется с ростом температуры от значений $\varepsilon = 0,65...0,80$ при $T=100$ °С до $\varepsilon = 0,35...0,45$ при $T=1000$ °С. Это связано, по-видимому, с температурной деструкцией поверхности образцов при нагревании, что подтверждается их внешним видом до и после нагрева (рисунок 5).

Таким образом, выполненные экспериментальные исследования доказали возможность применения радиационного метода для измерения с высокой степенью достоверности интегральных коэффициентов излучения поверхности образцов широкого спектра теплоизоляционных и композиционных материалов. Разработанная методика может быть использована в практике лабораторных испытаний.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лыков А.В. Теплообмен: Справочник / А.В. Лыков – М.: Энергия, 1978. – 480 с.
2. Блох А.Г. Теплообмен излучением: Справочник / А.Г. Блох, Ю.А. Журавлев, Л.Н. Рыжков. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 432 с.
3. Излучательные свойства твердых материалов / Под общ. ред. А.Е. Шейндлина. М.: Энергия, 1974. – 472 с.
4. Гува А.Я. Краткий теплофизический справочник. – Новосибирск: Сибвузиздат, 2002. – 300 с.
5. Исаченко В.П. Теплопередача / В.П. Исаченко, В.А. Осипова, А.С. Сукомел. – М.: Энергоиздат, 1981. – 416 с.
6. Тепло- и массообмен. Теплотехнический эксперимент / Под ред. Е.Е. Аметистова, В.А. Григорьева, В.М. Зорина. М.: Энергоиздат, 1982. – 512 с.

РАСЧЕТ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ СУШКИ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ ПЛИТ ИЗ МИНЕРАЛЬНОЙ ВАТЫ

О.С. Татаринцева, А.В. Литвинов

Учреждение Российской академии наук Институт проблем химико-энергетических технологий Сибирского отделения РАН (ИПХЭТ СО РАН)

Предложена экспериментально-расчетная методика оценки времени сушки увлажненного минераловатного ковра в зависимости от параметров материала (среднее начальное влагосодержание слоя, удельная нагрузка) и сушильного агента (температура, влажность, скорость), позволяющая рассчитывать габариты камеры сушки на любую производительность.

Ключевые слова: Сушка, увлажненный материал, влагосодержание, теплоизоляционные плиты, плотность, удельная нагрузка, скорость, воздуха, реверсия, методика расчета.

Особенности процесса сушки влажных материалов обусловлены характером изме-

нения локального влагосодержания с течением времени, поэтому для выбора рациональ-

РАСЧЕТ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ СУШКИ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ ПЛИТ ИЗ МИНЕРАЛЬНОЙ ВАТЫ

ного способа сушки необходимо определить время пребывания материала в сушильном аппарате. Исходя из этого, нами разработана экспериментально-расчетная методика оценки времени сушки увлажненного ковра из минеральной ваты в зависимости от параметров материала и сушильного агента – воздуха.

В производстве теплоизоляционных плит при конвейерном способе сушки сформированный и обработанный водной эмульсией связующего минераловатный ковер проходит несколько камер с последовательной реверсией сушильного агента через слой влажного материала: в первой камере нагретый воздух подается сверху, во второй – снизу и т.д.. При реверсивной продувке слоя режим сушки будет характеризоваться параметрами материала (среднее начальное влагосодержание слоя и удельная нагрузка) и сушильного агента (температура, влажность и скорость движения).

Под кинетикой процесса сушки обычно понимают изменение среднего по объему влагосодержания и средней температуры тела с течением времени. Скорость сушки определяется количеством влаги, удаляемой в единицу времени. Ее находят из так называемой кривой сушки – зависимости между влагосодержанием и временем сушки [1-3].

Аналитическое решение этой зависимости достаточно сложное, так как задача является существенно нелинейной, поэтому на практике для получения достаточно надежного уравнения кривой сушки с минимальным количеством констант, определяемых экспериментально, пользуются приближенными методами.

Кривая сушки (рисунок 1) влажного слоя минеральной ваты при реверсивной продувке его нагретым воздухом имеет прямолинейный участок, называемый периодом постоянной скорости. Он характеризуется неизменной температурой материала и продолжается до критического влагосодержания W_k , начиная с которого температура материала повышается с течением времени, а скорость сушки снижается (прямолинейный участок переходит в кривую, асимптотически приближающуюся к равновесному влагосодержанию W_p).

Уравнение кривой скорости сушки в этот период имеет вид:

$$\frac{d\bar{W}}{d\tau} = N = const, \quad (1)$$

где $\frac{d\bar{W}}{d\tau}$ – скорость сушки, мин^{-1} ; \bar{W} – среднее влагосодержание материала, кг/кг ; τ

– общее время сушки, мин ; N – скорость сушки в первом периоде, мин^{-1} .

В период падающей скорости убыль среднего влагосодержания минераловатного слоя с течением времени происходит по сложному закону. Поэтому в теории сушки для этого периода используют величину Ψ , представляющую собой отношение скорости сушки в данный момент времени к своей максимальной скорости в первом периоде [4]:

$$\frac{(d\bar{W}/d\tau)}{N} = \Psi. \quad (2)$$

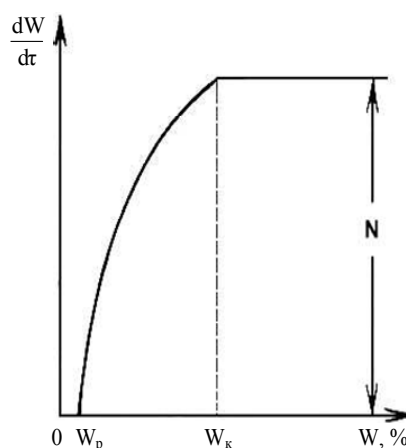


Рисунок 1. Кривая скорости сушки

Из экспериментальных данных по сушке слоя материала при реверсивной продувке его нагретым воздухом следует, что относительная скорость Ψ не зависит от внешних условий сушки, а является только функцией среднего влагосодержания слоя.

На основании обобщения большого количества результатов, полученных для различных материалов, авторами работы [4] предложено уравнение относительной скорости сушки в виде:

$$\Psi = \frac{(\bar{W} - \bar{W}_p)^m}{\alpha + \beta(\bar{W} - \bar{W}_p)^m}, \quad (3)$$

где \bar{W} и \bar{W}_p – текущее и равновесное среднее влагосодержание соответственно; m – коэффициент, характеризующий связь влаги с материалом и не зависящий от размеров и форм образца; α, β – безразмерные коэффициенты, зависящие от толщины материала и определяемые опытным путем [2].

В нашем конкретном случае при $m = 1$ – $\alpha = 0,67$; $\beta = 0,06$. Тогда уравнение относительной скорости сушки (3) для увлажненных минераловатного материала будет иметь вид:

$$\Psi = \frac{(\bar{W} - \bar{W}_p)}{0,67 + 0,06(\bar{W} - \bar{W}_p)}. \quad (4)$$

Из выражения (2) имеем:

$$\frac{d\bar{W}}{d\tau} = N\Psi. \quad (5)$$

Подставляя в (5) значение Ψ из формулы (4), получаем уравнение кривой скорости сушки во втором периоде:

$$\frac{d\bar{W}}{d\tau} = N \frac{\bar{W} - \bar{W}_p}{0,67 + 0,06(\bar{W} - \bar{W}_p)}. \quad (6)$$

При $\Psi = 1$ из уравнения (6) получаем значение среднего критического влагосодержания слоя $\bar{W}_k = 0,71$ кг/кг.

Интегрирование уравнения (1) дает:

$$\bar{W} - \bar{W}_k = N\tau_1, \quad (7)$$

где \bar{W} изменяется в пределах $\bar{W} \geq \bar{W}_k$.

После интегрирования уравнения (6) для второго периода сушки в пределах от \bar{W}_k до конечного влагосодержания \bar{W}_2 получаем:

$$1,54 \lg \frac{\bar{W}_k - \bar{W}_p}{\bar{W}_2 - \bar{W}_p} + 0,06(\bar{W}_k - \bar{W}_p) = N\tau_2. \quad (8)$$

Время, необходимое для уменьшения влагосодержания от начального \bar{W}_0 до конечного \bar{W}_2 , складывается из продолжительности сушки обоих периодов:

$$\tau = \tau_1 + \tau_2. \quad (9)$$

$$\tau = \frac{16,7KP_c^{0,9}}{(cp)^{0,85}} [(\bar{W}_0 - \bar{W}_k) + 1,54 \lg \frac{\bar{W}_k - \bar{W}_p}{\bar{W}_2 - \bar{W}_p} + 0,06(\bar{W}_k - \bar{W}_p)]. \quad (12)$$

Здесь K – поправочный коэффициент на производственные условия, равный для конвейерных сушильных аппаратов 1,7...2,0.

Разработанная методика расчета продолжительности сушки обработанного водной эмульсией связующего минераловатного ковра в зависимости от параметров материала и сушильного агента позволяет с достаточной точностью проводить проектные расчеты сушильной камеры на различную производительность для получения теплоизоляционных плит необходимой плотности.

Итак, общая длительность сушки слоя увлажненной минеральной ваты (в минутах) может быть рассчитана по формуле:

$$\tau = \frac{1}{N} [(\bar{W}_0 - \bar{W}_k) + 1,54 \lg \frac{\bar{W}_k - \bar{W}_p}{\bar{W}_2 - \bar{W}_p} + 0,06(\bar{W}_k - \bar{W}_p)] \quad (10)$$

Таким образом, чтобы рассчитать продолжительность сушки, необходимо знать начальное, конечное и равновесное влагосодержание слоя, а также скорость сушки в первом периоде. Начальное и конечное влагосодержание может быть определено и всегда известно, равновесное влагосодержание принимается для параметров воздуха в конце рассчитываемого участка процесса сушки. Обработка экспериментальных данных, полученных нами при изучении процесса сушки горизонтального слоя влажной минеральной ваты реверсивной продувкой его воздухом, позволила предложить следующее эмпирическое уравнение для определения скорости сушки слоя в первом периоде:

$$N = \frac{\gamma(c_1 \rho_1)^{0,85}}{P_c}, \quad (11)$$

где c_1 – скорость воздуха на входе в слой ваты, м/с; ρ_1 – плотность воздуха, кг/м³; γ – поправочный коэффициент; P_c – нагрузка на слой ваты, кг/м².

Подставляя значение N из (11) в (10), получим окончательный вид уравнения для определения продолжительности сушки увлажненного минераловатного ковра:

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рабинович Г.Д., Слободкин Л.С., Куц П.С. Тепло- и массообмен в сушильных и термических процессах. Минск: Наука и техника, 1966. – 334 с.
2. Лыков А.В. Теория сушки. М.: Энергия, 1968. – 472 с.
3. Лыков М.В. Сушка в химической промышленности. М.: Химия, 1970. – 429 с.
4. Филоненко Г.К., Лебедев П.Д. Сушильные установки. М.: Госэнергоиздат, 1952. – 262 с.