

УДК 532.613

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СУШКИ ДРЕВЕСНЫХ ТВЕРДОТОПЛИВНЫХ ПЕЛЛЕТНЫХ ГРАНУЛ

Халецкая О.А.

Донецкий национальный технический университет, г. Донецк, ДНР

olikhaletskaya@mail.ru

Аннотация. Предлагается математическая модель определения продолжительности сушки древесных топливных пеллет и основных габаритов периодически и непрерывнодействующих сушильных аппаратов.

Ключевые слова: древесные отходы, кинетические уравнения сушки, массопередача, конвективная диффузия.

В настоящее время экономия и эффективное использование всех видов энергии, внедрение энерго- и ресурсосберегающих технологий становятся приоритетными направлениями хозяйственной деятельности. Поэтому в 2012 г. на сессии Донецкого горсовета была принята комплексная программа обращения с древесными отходами и перевода угольных котельных на использование твердотопливных древесных пеллет. Реализация программы рассчитана на 4 этапа: 1) создание производственного участка по переработке древесных отходов в пеллетные гранулы; 2) организация и техническое оснащение бригад по обрезке, удалению и транспортировке деревьев и древесных отходов; 3) реконструкция котельных города с установкой котлов с автоматизированной подачей пеллет в топку, 4) рекультивация земель и создание ресурсной базы на территории ГКП совхоза «Клен». Все это позволит сократить потребление природного газа, снизить удельные расходы топлива на производство и отпуск тепловой энергии и улучшить экологическую ситуацию в городе за счет снижения от 10 до 50 раз выбросов CO_2 в воздух при содержании золы в уходящих газах 1,5%.

Изготовление топливных гранул включают в себя следующие процессы: 1) крупное начальное дробление имеющегося сырья; 2) сушка подробленного сырья; 3) мелкое дробление; 4) водоподготовка (насыщение сухой основы

паром или водой); 5) прессование пеллет; 6) охлаждение, 7) окончательная расфасовка полученных гранул.

Наиболее сложные задачи на указанных этапах – определение продолжительности сушки пеллет и расчет основных габаритов как периодически, так и непрерывнодействующих сушильных аппаратов, а также автоматизация системы подачи топливных пеллет к котлам.

Математическая модель кинетики процесса сушки выглядит следующим образом. Влага из толщи влажного материала, согласно основных положений массопередачи, перемещается с постоянной скоростью к поверхности раздела фаз за счет молекулярной диффузии. От поверхности раздела фаз влага передается в ядро газового потока за счет конвективной диффузии. Как показано А.В. Лыковым, процесс диффузии во влажном теле подчиняется следующему закону:

$$\frac{dW}{dSd\tau} = -K\rho_0 \left(\frac{\partial w}{\partial x} + \delta \frac{\partial t}{\partial x} \right) \quad (1)$$

где W - количество испаренной жидкости, кг; S – площадь поверхности фазового контакта, м²; τ - продолжительность процесса сушки, сек; K – коэффициент массопроводности, м²/ч; δ - коэффициент термовлагопроводности, 1/°С; ρ_0 - плотность абсолютно сухого материала, кг/м³; w - влажность материала кг/кг абсолютно сухого материала; t – температура, °С; x – координата вдоль нормали к S , м.

Первый член правой части равенства учитывает перемещение вещества под действием градиента влажности, второй - градиента температур.

Коэффициент массопередачи может быть вычислен по уравнению

$$Nu_D = 2,2 \cdot \left(\frac{Re}{1-\varepsilon} \right)^{0,5} \cdot Pr_D^{0,33} \quad (2)$$

где Nu_D – диффузионный критерий Нуссельта; Re - критерий Рейнольдса; ε - порозность просушиваемого слоя, Pr_D – диффузионный критерий Прандтля.

При сушке влажных тел скорость сушки сильно меняется с изменением w . В начале процесса (первый период продолжительностью τ_1 часов, рис. 1)

скорость сушки постоянна и не зависит от w , испарение влаги из материала происходит так же, как и со свободной поверхности жидкости. Скорость процесса лимитируется конвективной диффузией паров воды от поверхности раздела фаз в ядро газового потока.

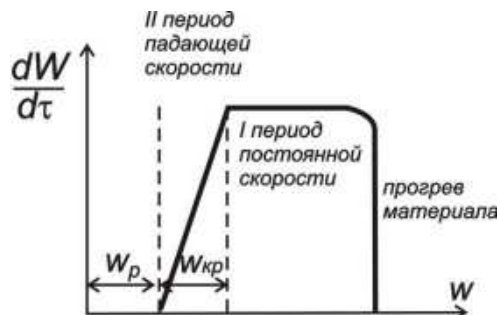


Рисунок 1 – Кривая скорости сушки

Во втором периоде сушки (рис. 1) продолжительностью τ_2 часов, скорость уменьшается, процесс ограничен массопроводностью внутри влажного материала, а конвективная диффузия паров жидкости от поверхности раздела фаз не оказывает существенного влияния на процесс сушки.

Кинетический закон для первого периода выражается уравнениями

$$W = \beta_p \cdot S \cdot (P_{нас} - P) \cdot \tau \quad (3)$$

$$W = \beta_x \cdot S \cdot (X_{нас} - X) \cdot \tau \quad (4)$$

где β_p - коэффициент массоотдачи в кг/(м²·ч·мм рт.ст.); β_x - коэффициент массоотдачи, кг/(м²·ч кг/кг сухого воздуха); $P_{нас}$ - давление водяного пара на поверхности материала, мм рт.ст.; P - действительное парциальное давление водяного пара в воздухе, мм рт.ст.; $X_{нас}$ - влагосодержание насыщенного воздуха при температуре поверхности материала, кг/кг сухого воздуха; X - действительное влагосодержание воздуха, кг/кг сухого воздуха.

Кинетический расчет процессов сушки во втором периоде ведется, как правило, по приближенному методу Шервуда-Лыкова, согласно которому зависимость скорости сушки от влажности во втором периоде имеет линейный характер. Кинетический закон для второго периода приобретает вид

$$-\frac{dW}{dSd\tau} = k \cdot (w - w_p) \quad (5)$$

где k - коэффициент скорости сушки, кг/(м²·ч·кг/кг сухого материала), w_p -

равновесная влажность материала, кг/кг сухого материала.

Основной величиной, определяющей габариты периодически действующих аппаратов, является время сушки, а непрерывнодействующих - необходимая поверхность фазового контакта или время сушки материала, находящегося в сушильной зоне. Для периодических процессов определяется общее время сушки $\tau_{об} = \tau_1 - \tau_2$, где τ_1 определяется основного уравнения массопередачи или как

$$\tau_1 = \frac{W}{\beta_x S \Delta X_{cp}} \quad (6)$$

где ΔX_{cp} - средняя движущая сила процесса, $\Delta X_{cp} = (\Delta X_n - \Delta X_k) / (2,31g(\Delta X_n / \Delta X_k))$, $\Delta X_n = (X_{нас} - X)_n$ - начальная разность между влагосодержанием насыщенного воздуха и рабочим влагосодержанием, кг/кг сухого воздуха; $\Delta X_k = (X_{нас} - X)_k$ - конечная разность между влагосодержаниями, кг/кг сухого воздуха.

Продолжительность второго периода сушки получаем из уравнения (5):

$$\tau_2 = \frac{G}{kS} 2,31 \cdot 1g \frac{w_{kp} - w_p}{w_k - w_p} \quad (7)$$

где G - масса высушиваемого материала, кг сухой части, w_k - требуемая конечная влажность материала сушки, кг/кг сухого материала.

Для непрерывного процесса сушки определяют суммарную поверхность фазового контакта $S_{об} = S_1 + S_2$, необходимую для первого (S_1, m^2) и второго (S_2, m^2) периодов сушки. Величину S_1 определяют из основного уравнения массопередачи, а S_2 - из уравнения (8).

Халецкая Ольга Александровна, магистр 1-го года обучения магистратуры физико-металлургического факультета Донецкого национального технического университета, г. Донецк

Научный руководитель - Гридин Сергей Васильевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Промышленная теплоэнергетика» Донецкого национального технического университета, г. Донецк