

сложившейся инфраструктуры энергетики, климата, экологических показателей и научно-технических достижений.

Литература

1. Портал изданий отделения аграрных наук Национальной академии наук Беларуси [Электронный ресурс]. – Режим доступа <https://econagro.belal.by/> 27.09.2024
2. Международный Конгресс «Энергосбережение и энергоэффективность» IT Технологии. Энергосбережение. Экология. Санкт-Петербург 2023/ При поддержке и участии государственных структур и общественных профессиональных объединений – Санкт-Петербург 2023 – с.22

УДК 652.52

ОСОБЕННОСТИ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА СУШКИ В БАРАБАННЫХ СУШИЛКАХ

Кобринец В.П., к.т.н., доцент, **Барашко О.Г.**, к.т.н., доцент

Белорусский государственный технологический университет, г. Минск

Процесс сушки концентрата КС1 в условиях ОАО «Беларуськалий» производится в барабанной сушилке, которая состоит из трех основных частей: топки, в которой происходит сгорание топлива (газа) за счет подачи первичного воздуха, смесительной камеры, в которой смешиваются подаваемые в неё топочные газы и вторичный воздух, и формируется теплоноситель с определенной температурой и влажностью; сушильного барабана, где теплоноситель, взаимодействуя с высушиваемым материалом, отнимает у него влагу.

Основные цели системы управления процессом сушки материала в барабанной сушилке: поддержание желаемого качества высушенного продукта, независимо от возмущения в процессе сушки и колебания подачи питания; максимизация пропускной способности при оптимальной энергетической эффективности и минимуме затрат; избежание пересушки и недосушки; стабилизация процесса сушки; оптимизация производительности процесса сушки.

Для решения данных задач необходима разработка математической модели данного процесса сушки с учетом химико-технологических процессов, происходящих в нем и конструктивных особенностей барабанной сушилки.

Процессы тепло- и массообмена (влагообмена) в барабанной сушилке зависят от ее конструктивных характеристик (размеров, числа и профиля лопаток и т. д.), а также от технологических параметров (числа оборотов барабана, угла наклона аппарата, расхода, температуры и влажностного содержания воздуха и материала на входе в сушилку). При определении динамических свойств данного аппарата естественно считать его конструктивные характеристики неизменными. Таким образом, в качестве возмущающих воздействий (входных величин) принимаем изменения расхода, температуры и влажностного содержания материала и воздуха на входе в сушилку.

При составлении математической модели барабанной сушилки сделаем следующие допущения:

1. Теплоемкости материала, влаги (воды) и барабана и коэффициенты теплоотдачи от воздуха к материалу и барабану постоянны по длине и в поперечном сечении сушилки, а также во времени;
2. Температура и влажностное содержание материала распределены по длине аппарата и сосредоточены в его поперечном сечении (одномерная задача), так как при вращении барабана материал хорошо смешивается;
3. Поперечное сечение слоя материала, находящегося на лопастях барабана, значительно меньше его длины, а скорость воздуха намного больше скорости перемещения

материала вдоль сушилки. Температура и влагосодержание воздуха одинаковы по длине и в поперечном сечении слоя материала и равны температуре и влагосодержанию на выходе;

4. Передачей тепла материалу при соприкосновении его с лопастями барабана пренебрегаем;

5. Движение материала по сечению аппарата происходит равномерно, без турбулентного смещения.

При составлении уравнений сохранения энергии для воздуха и материала учитываем лишь тепло, затраченное на нагрев «сухого» материала, поскольку тепло, переданное воздухом материалу и затраченное на испарение влаги из него, возвращается обратно в воздух вместе с испаренной влагой.

На основании анализа процесса сушки как объекта управления можно определить воздействия, оказывающие влияние на данный объект:

–возмущающие воздействия: входное влагосодержание материала; расход материала; входное влагосодержание воздуха;

–регулирующие воздействия: расход теплоносителя; расход первичного воздуха; расход вторичного воздуха;

–регулируемая величина: выходное влагосодержание материала.

Для разработки математической модели процесса сушки с учетом распределенности параметров с учетом приведенных допущений составляем следующие дифференциальные уравнения:

Уравнение сохранения энергии для воздуха

$$LI_1 - LI_2 - \alpha_{f,r,m}.F_M \left(t_{2r} - \frac{t_{1m} - t_{2m}}{2} \right) - \alpha_{f,r,b}.F_b(t_{2r} - t_b) = M_r \frac{dI_2}{d\tau}.$$

Уравнение сохранения массы для влаги в воздухе

$$L(d_1 - d_2) + G(w_1 - w_2) = M_r \frac{dd_2}{d\tau}.$$

Уравнение сохранения энергии для материала

$$c_m G \frac{\partial t_m}{\partial y} + c_m t_m \frac{\partial G}{\partial y} - \alpha_{f,r,m}.F_M(t_{2r} - t_m) + \frac{\partial}{\partial \tau}(c_m M_m t_m) = 0.$$

Уравнение сохранения массы для сухого материала

$$\frac{\partial G}{\partial y} + \frac{\partial M_m}{\partial \tau} = 0.$$

Уравнение сохранения массы для влаги в материале

$$G \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial G}{\partial y} + KF_M(w - w_{равн.}) + \frac{\partial}{\partial \tau}(M_m w) = 0.$$

Уравнение сохранения энергии для сушильного барабана

$$\alpha_{f,r,b}.F_b(t_{2r} - t_b) = c_b M_b \frac{dt_b}{d\tau},$$

где L – расход теплоносителя (по абсолютно сухому веществу), I – энтальпия, α_f – поверхностный коэффициент теплообмена, F – площадь, t – температура, M –

количество вещества, d – влагосодержание теплоносителя, G – расход материала (по абсолютно сухому веществу), c – истинная теплоемкость, K – коэффициент сушки

На основании данных уравнений, которых получена система нелинейных уравнений в частных производных. Проведена линеаризация данной системы и получена математическая модель процесса сушки по основным динамическим каналам.

УДК 621.311.18

**МЕТОДИКА РАСЧЕТА СУТОЧНОЙ СОЛНЕЧНОЙ ИНСОЛЯЦИИ
ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ УСТАНОВКИ
ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ**

Андрианов В.М., д.ф.-м.н., профессор, **Зайцев Е.В.**, магистрант

Белорусский государственный аграрный технический университет, г. Минск

Оптимизация использования панельных фотоэлектрических преобразователей для повышения эффективности электроснабжения является одной из ключевых задач в сфере возобновляемых источников энергии. Первым шагом к оптимизации использования панельных фотоэлектрических преобразователей является определение суммарной солнечной инсоляции в точке установки. На основании объединения существующих расчетных методик суточная солнечная инсоляция может быть определена:

$$W_n = \frac{12}{\pi} \cdot 10^{-3} \cdot \int_{\omega_k}^{\omega_n} Q_{\text{НАКЛ}} d\omega, \quad (1)$$

где $Q_{\text{НАКЛ}}$ - суммарная солнечная инсоляция, падающая на наклонную плоскость фотоэлектрического модуля, Вт/м²; ω_n и ω_k - часовые углы Солнца, соответствующие моментам времени восхода и заката.

Суммарная солнечная инсоляция, падающая на наклонную плоскость фотоэлектрического модуля, вычисляется по формуле[1]:

$$Q_{\text{Накл}} = Q_{\text{ПР}} + Q_{\text{РАС}} + Q_{\text{ОТР}}, \quad (2)$$

где, $Q_{\text{ПР}}$ - прямое солнечное излучение, поступающее на наклонную поверхность ФМ, Вт/м²; $Q_{\text{РАС}}$ - рассеянная солнечная инсоляция, падающая на наклонную плоскость ФМ, Вт/м²; $Q_{\text{ОТР}}$ - излучение, отраженное от поверхности земли и поступающее на поверхность ФМ, Вт/м².

Первое слагаемое в выражении (2) определяется с использованием формулы Кастрова:

$$Q_{\text{ПР}} = Q_{\text{ОТР}} \cdot \cos \theta = \frac{Q_0 \cdot \sin \alpha}{\sin(\alpha+c)} \cdot \cos \theta,$$

где $Q_{\text{отр}}$ - прямое солнечное излучение, поступающее на ортогональную солнечным лучам поверхность ФМ, Вт/м²; θ - угол падения прямого солнечного излучения на плоскость фотоэлектрического модуля, рад; Q_0 - солнечная постоянная при АМО, 1370 Вт/м²; α - высота Солнца, рад; c - величина степени прозрачности атмосферы.