

УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ СУШКИ ГРАНУЛ ТЕХНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА С ПРЯМОТОЧНО-ПРОТИВОТОЧНЫМ ДВИЖЕНИЕМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ

О.М. Чайкин, М.П. Цыганков, Д. Таххан

ГОУ ВПО «Ярославский государственный технический университет»

Представлена членом редколлегии профессором Н.Ц. Гапановой

Использование прямоточно-противоточных схем сушки гранулированного технического углерода является перспективным направлением сокращения энергозатрат производства [1]. Но вопросы управления такими схемами и оптимизации распределения тепловых потоков в литературе не рассмотрены.

На рис. 1 представлена схема сушильного барабана с внешним обогревом, позволяющим обеспечить двустороннее распределением потока теплоносителя в его внутренней полости. Теплоноситель через патрубок подается в сечение X_{Π} барабана и разделяется на два потока: G_{r1} и G_{r2} . Поток G_{r2} движется прямотоком с высушиваемыми гранулами, а G_{r1} – противотоком.

Для стабилизации технологического режима в условиях возможных изменений нагрузки предлагается использовать математическую модель «прямоточно-противоточной» сушки [2]. В математических моделях прямотока и противотока [2] игнорируется влияние контактной составляющей сушки при использовании внешнего обогрева сушильного барабана и предполагается отсутствие влаги в гранулах на участке падающей скорости сушки (см. рис. 1). Поэтому их применение для решения задач управления сушкой затруднительно.

Ниже влияние контактной составляющей учитывается выражением теплопередачи от греющего газа в камере обогрева к гранулам и газу в барабане, а изменение влажности гранул – выражением, входящим в уравнение изменения температуры поверхности гранул

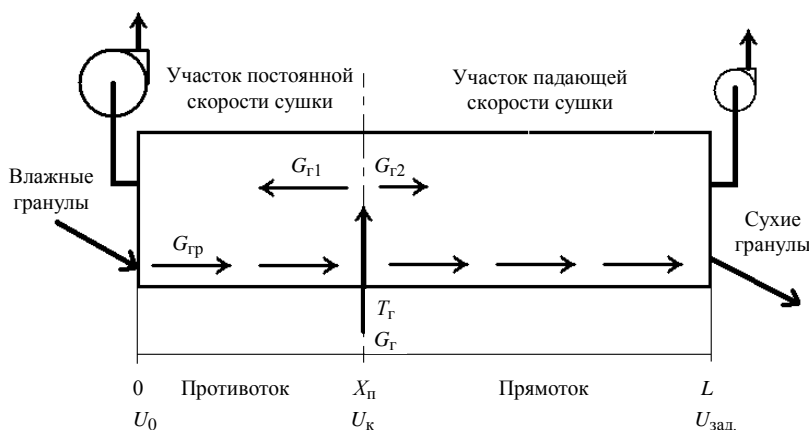


Рис. 1. Прямоточно-противоточная схема движения теплоносителя и влажного материала в сушильном барабане

$$c_{гр} G_{гр} \frac{\partial T_{гр}}{\partial x} = \alpha_2 (T_{г} - T_{гр}) S_{гр} + K_2' (T_{г0} - T_{гр}) (1 - K_s) 2\pi R -$$

$$- \frac{S_{гр}}{S_{гр}(R)} \frac{2\pi\lambda_T (T_{гр} - T_B)}{\frac{1}{D} \left(\left(\frac{U}{U_k} \right)^{-1/3} - 1 \right)} dx,$$

где $T_{г0}$ – температура топочных газов в камере обогрева барабана, К; R и K_s – радиус поперечного сечения, м, и доля боковой поверхности барабана, с которой контактирует газ; $K_s \approx 0,66$; $S_{гр}$ – поверхность теплообмена (газ – гранулы), на 1 м длины барабана, м²/м; D – диаметр гранул, м; U и U_k – текущее и критическое значения влажности; λ_T – коэффициент теплопроводности гранулы, Дж/(ч·К·м); K_2' – коэффициент теплопередачи (топочные газы – гранулы) через стенку барабана на участке падающей скорости сушки, (Дж/(ч·К·м²)); T_B – температура мокрого термометра, К; $S_{гр}(R)$ – площадь поверхности гранулы, радиуса $R = D/2$.

Дополнительно к допущениям, принятым в [2], при разработке модели полагается, что сечение барабана, в которое вводится греющий газ, разделяет зоны постоянной и падающей скоростей сушки, то есть влажность U высушиваемого материала в этом сечении равна критической U_{ϵ} . При этом уравнение, отражающее изменение температуры теплоносителя по длине барабана, на участке прямотока в отличие от [2] принимает вид

$$c_{г} G_{г2} \frac{\partial T_{г}}{\partial x} = - \frac{c_{г} T_{г}}{\lambda_T} (\alpha_2 (T_{г} - T_{гр0}) S_{гр} + Q_{сгр2}) -$$

$$- \alpha_2 (T_{г} - T_{гр0}) S_{гр} + K_{г} (T_{г0} - T_{г}) K_s 2\pi R,$$
(1)

где $Q_{сгр2}$ – тепловой поток от топочных газов к гранулам через стенку барабана на участке падающей скорости сушки, Дж/ч; $K_{г}$ – коэффициент теплопередачи (топочные газы – газ) через стенку барабана на участке падающей скорости сушки, (Дж/(ч·К·м²)).

Для описания участка противотока уравнение (1) должно быть скорректировано с учетом изменения знаков выражений, описывающих составляющие тепловых и материальных потоков. С учетом перенаправления потоков имеем

$$c_{г} G_{г1} \frac{\partial T_{г}}{\partial x} = - \frac{c_{г} T_{г}}{\lambda_T} (\alpha_1 (T_{г} - T_{гр0}) S_{гр} + Q_{сгр1}) +$$

$$+ \alpha_1 (T_{г} - T_{гр0}) S_{гр} - K_{г} (T_{г0} - T_{г}) K_s 2\pi R.$$
(2)

Остальные уравнения [2], исключая малозначащие детали, сохраняются.

Основная вычислительная сложность при решении задачи расчета температурных профилей в модели прямоточно-противоточной сушки определяется специфической комбинацией краевых условий. Известными в естественной постановке прямой задачи являются расходы «сухого» греющего газа $G_{г1}(X_{п}) = G_{г2}(X_{п})$, «влево» и «вправо» в сечении $X = X_{п}$ и его температура

$T_{\Gamma}(X_{\Pi})$, а также расходы сухой массы гранул $G_{\Gamma\Gamma}$, и влаги $G_{\text{в}}(0)$ в их объеме на левом конце траектории $G_{\text{в}}(0)$. Правые концы траекторий: $T_{\Gamma 2}(X) = T_{\Gamma 2}(L)$, $T_{\Gamma\Gamma}(X) = T_{\Gamma\Gamma}(L)$, $G_{\Gamma 2}(X) = G_{\Gamma 2}(L)$ и левые концы траектории: $T_{\Gamma 1}(X) = T_{\Gamma 1}(0)$, $G_{\Gamma 1}(X) = G_{\Gamma 1}(0)$ свободны.

Однако допущение о фиксированном положении точки X_{Π} и критической влажности материала в ней приводит к необходимости решения задачи управления взамен поиска профилей по заданным входным значениям технологических переменных.

В силу сказанного задачу управления целесообразно поставить в общем виде, закрепив требуемые значения влажности $U(X)$ гранул, их температуры $T_{\Gamma\Gamma}(X)$, и температуры $T_{\Gamma 2}(X)$ газов на правом конце траектории $U(L) = U_{\text{зад}}$, $T_{\Gamma 2}(L) = T_{\Gamma 2\text{зад}}$, $T_{\Gamma\Gamma}(L) = T_{\Gamma\Gamma\text{зад}}$. Задача остается краевой по значению $G_{\text{в}}(X) = G_{\text{в}}(0)$ на левом конце траектории $G_{\text{в}}(X)$ и требует для интегрирования (в направлении уменьшения аргумента X) задать начальное приближение $G_{\Gamma 2}(L)$.

При интегрировании от L до X_{Π} вычисляются критическое значение влажности; температура мокрого термометра $T_{\Gamma\Gamma}(X_{\Pi})$ и температура газов в сечении их ввода $T_{\Gamma}(X_{\Pi})$. В первом приближении значения $T_{\Gamma}(X_{\Pi})$ и $U_{\text{к}}(X_{\Pi}) = G_{\text{в}}(X_{\Pi}) / (G_{\text{в}}(X_{\Pi}) + G_{\Gamma\Gamma})$ могут не соответствовать друг другу. Для их согласования следует изменять значение $G_{\Gamma 2}(L)$ относительно его начального приближения. Поиском по одной переменной $G_{\Gamma 2}(L)$ в последовательных итерациях отыскиваются управляющие воздействия $T_{\Gamma}(X_{\Pi})$ и $G_{\Gamma 2}(X_{\Pi})$, обеспечивающие стабилизацию положения сечения X_{Π} . Далее заданием начального приближения $G_{\Gamma 1}(X_{\Pi})$ определяются начальные условия для интегрирования в направлении изменения аргумента от X_{Π} до 0.

В результате интегрирования вычисляются значения $T_{\Gamma 1}(0)$, $G_{\Gamma 1}(0)$ и $G_{\text{в}}(0)$. Значение $G_{\text{в}}(0)$ в первом приближении может не совпадать с действительной нагрузкой барабана по поступающей в него с гранулами влаге. Подбором регулирующего воздействия $G_{\Gamma 1}(X_{\Pi})$ это несоответствие следует устранить.

Действительно, изменение как $G_{\text{в}}(0)$, так и $G_{\Gamma\Gamma}$ при закрепленных значениях $G_{\Gamma 1}(X_{\Pi})$, $G_{\Gamma 2}(X_{\Pi})$, $T_{\Gamma}(X_{\Pi})$ приведет к смещению участка постоянной скорости сушки в точку $X = X'_{\Pi}$. Значит для стабилизации положения точки X_{Π} следует изменять какую-либо из переменных $G_{\Gamma 1}(X_{\Pi})$, $G_{\Gamma 2}(X_{\Pi})$ или $T_{\Gamma}(X_{\Pi})$. Но это и соответствует задаче управления.

Список литературы

1. Ивановский, В.И. Технический углерод. Процессы и аппараты / В.И. Ивановский. – Омск : ОАО «Техуглерод», 2004. – 228 с.
2. Цыганков, М.П. Математическое моделирование сушки технического углерода по схемам прямотока-противотока / М.П. Цыганков, С.Ю. Бойков, Д. Таххан // Изв. вузов. Химия и хим. технология. – 2006. – Т. 49, вып. 10. – С. 90–94.

**Control over the Process of Drying Engineering Carbon Granules
with Direct-and-Counter Flow of Heat-Transfer Material**

O.M. Chaikin, M.P. Tsygankov, D. Tahhan

Yaroslavl State Technical University

**Leitung vom Prozess des Trocknens der Granalien des technischen
Kohlenstoffes mit der Gleich- Gegenstrombewegung
des Wärmeträgers**

**Commande du processus du séchage des granules de l'hydrogène
technique avec un mouvement du porteur de chaleur du point
droite et de celui contraire**
