

Я. С. Мухтаров, Р. Ш. Суфиянов, В. А. Лашков

ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СУШКИ В КИПЯЩЕМ СЛОЕ

Ключевые слова: экономико-математическое моделирование, центробежная сушилка.

На основе экономико-математического анализа развернута целевая функция для расчета энергозатрат на центробежную сушку материалов.

Keywords: economic and mathematical modeling, the centrifugal dryer.

On the basis of economic and mathematical analysis of the objective function is deployed to calculate the energy consumption for centrifugal drying materials.

Обезвоживание влажных материалов (продуктов) является широко используемым процессом во многих отраслях промышленности: строительной, пищевой, химической [1, 2] и др., и часто целью процесса является не только достижение определенной влажности у высушиваемого материала, но и регенерация отделяемой жидкой фазы для повторного использования в технологическом процессе [3, 4].

Сушка относится к энергоемким процессам и при использовании данного процесса разработчики стремятся свести к минимуму энергетические, а, следовательно, и финансовые затраты [5, 6].

В качестве объекта исследований рассмотрим процесс удаления жидкой фазы хлопкового шрота в чанном тостере после механического отжима материала в фильтрующей центрифуге.

Целью исследований являлось проведение экономико-математического анализа процесса сушки.

Поставленная цель была обусловлена тем обстоятельством, что маслоэкстракционные заводы снабжены тостерами, ориентированными на сушку. Разгрузочное устройство, разгружающее шрот из одного чана в другой, состоит из двух шнеков и шлюзового затвора, расположенного между ними.

Шрот, предназначенный к сушке, содержит от 35 до 45% бензина, используемого как растворитель. В верхней части аппарата происходит отгонка бензина за счет тепла глухого водяного пара, подаваемого в днище и обечайку аппарата. Выгрузка пылевидных частиц из циклонов-осадителей производится шнеком, позволяющим создать затвор из слоя шрота.

Охлажденный шрот также транспортируется шнеком, в который поступает и материал, отделяемый в циклоне, затем скребковыми транспортерами подается на хранение в склад готовой продукции.

Газовоздушная смесь из первых четырех чанов тостеров очищается от твердых частиц в мокрой шротоловушке, затем направляется на обогрев в дистилляторе. В мокрую шротоловушку через форсунки из бака для растворителя насосом подается растворитель для очистки соковых паров, а шлам из шротоловушки шнеком подается в первый чан тостера.

Газовоздушная смесь из чанов тостера очи-

щается от твердых частиц в мокрой шротоловушке, затем направляется на конденсацию в кожухотрубчатый конденсатор. Конденсат направляется в бензоотделитель. Регулирование степени разрежения осуществляется шиберной заслонкой, установленной между огнепреградителем и вентилятором.

Таким образом, необходимо описать процесс сушки хлопкового шрота бинарной взаиморастворимой смеси «бензин-вода» при пониженном давлении и комбинированном подводе тепла.

В настоящее время в научно-технической литературе отсутствуют математические модели процесса сушки в рассматриваемых аппаратах, разработанные на основе экономико-математического анализа.

По аналогии с моделированием процесса центробежного фильтрования [7] проведем экономико-математический анализ процесса сушки. В качестве критерия эффективности используем экономический критерий приведенных затрат и распишем составляющие переменных затрат на примере центробежной сушилки.

Запишем в общем виде уравнение для определения данных энергетических затрат

$$\mathcal{E}_{\text{цс}} = \mathcal{E}_{\text{1цс}} + \mathcal{E}_{\text{2цс}} + \mathcal{E}_{\text{3цс}}, \quad (1)$$

где $\mathcal{E}_{\text{1цс}}$ – затраты на нагрев теплоносителя, руб/кг;

$\mathcal{E}_{\text{2цс}}$ – затраты на преодоление сопротивления слоя

материала, руб/кг; $\mathcal{E}_{\text{3цс}}$ – затраты на вращение слоя

высушиваемого материала, руб/кг.

В свою очередь:

$$\mathcal{E}_{\text{1цс}} = \frac{L_{\text{гцс}} c_{\text{г}} \Delta t_{\text{1цс}}}{G_{\text{сек}}} a_2, \quad (2)$$

$$\Delta t_{\text{1цс}} = t_{\text{вх.цс}} - t_{\text{0.цс}},$$

где $t_{\text{вх.цс}}$ – температура теплоносителя до его нагрева, град; a_2 – стоимость 1 Гкал технического пара, руб/кДж.

$$\mathcal{E}_{\text{2цс}} = \frac{L_{\text{гцс}} \Delta P_{\text{цс}}}{G_{\text{сек}} \rho_{\text{г}}} a_1, \quad (3)$$

где $\Delta P_{\text{цс}}$ – сопротивление слоя псевдооживленного продукта, Н/м².

Согласно [8]:

$$\Delta P_{\text{цс}} = \frac{\rho_m(1-\varepsilon)\omega_c^2(R_{2c}^2 - R_{1c}^2)}{2}. \quad (4)$$

Подставив это выражение в предыдущее, с учетом того, что

$$(R_{2c}^2 - R_{1c}^2) = 2R_{\text{ср.с}}H, \quad (5)$$

где R_{1c} , $R_{\text{ср.с}}$, R_{2c} – радиусы, соответственно, начала, середины и конца слоя на роторе, м; получим:

$$\Theta_{2\text{цс}} = \frac{L_{\text{вг.цс}}\rho_m(1-\varepsilon)\omega_c^2R_{\text{ср.с}}H}{G_{\text{сек}}\rho_r} a_1, \quad (6)$$

где H – высота слоя материала в роторе, м.

Затраты на вращение слоя высушиваемого материала будут определяться аналогично расчету энергетических затрат на центрифугирование:

$$\Theta_{3\text{цс}} = 13,88 \cdot 10^{-5}(1-U^*)(1+k_c)\omega_c^2R_{\text{ср.с}}^2 a_1. \quad (7)$$

Здесь U^* – влажность продукта, поступающего в сушилку. Знак <*> предполагает переходную влажность продукта, поступающего в центробежную сушилку из аппарата механического обезвоживания (фильтрующей центрифуги).

$k_{\text{цс}} = k_1F_{\text{цс}}$ – коэффициент, учитывающий потерю энергии на преодоление сопротивления воздуха при вращении ротора и пропорциональный площади его поверхности, экспериментально определяемая величина.

Суммарное уравнение энергетических затрат на сушку с учетом балансового соотношения для сушки:

$$rG_{\text{сек}}(U^* - U_k) = L_{\text{вг.цс}}\Delta_{2\text{цс}}c_r, \quad (8)$$

$$L_{\text{вг.цс}} = \frac{rG_{\text{сек}}(U^* - U_k)}{\Delta t_{2\text{цс}}c_r}, \quad (9)$$

где U_k – влажность продукта на выходе из центробежной сушилки (может быть равной U^* , если сушилка используется в качестве предварительной), будет равна:

$$\Theta_{\text{цс}} = 13,88 \cdot 10^{-5}(1-U^*)(1+k_c)\omega_c^2R_{\text{ср.с}}^2 a_1 + \frac{r(U^* - U_k)}{1000\Delta t_{2\text{цс}}} \left[t_{1\text{цс}}a_2 + \frac{\rho_m(1-\varepsilon)\omega_c^2R_{\text{ср.с}}H}{\rho_r c_r} a_1 \right], \quad (10)$$

где $\Delta t_{2\text{цс}} = t_{\text{вх.цс}} - t_m$; r – удельная теплота парообразования, Дж/кг.

Таким образом, получена целевая функция для расчета переменных затрат на основе критерия эффективности процесса сушки в центробежной сушилке в кипящем слое.

Литература

1. В.А. Лашков, С.Г. Кондрашева, *Вестн. Казан. технол. ун-та*, 16, 210-215 (2011).
2. Я.С. Мухтаров, Р.Ш. Суфиянов, *Вестн. Казан. технол. ун-та*, 17, 6, 233-234 (2014).
3. Р.Ш. Суфиянов, *Изв. Моск. гос. технич. ун-та (МАМИ)*, 4, 2, 205-209 (2012).
4. Пат. РФ 99.999 (2010).
5. Я.С. Мухтаров, Р.Ш. Суфиянов, В.А. Лашков, *Вестн. Казан. технол. ун-та*, 17, 3, 230-232 (2014).
6. Я.С. Мухтаров, Р.Ш. Суфиянов, В.А. Лашков, А.Г. Замалиев, *Вестн. Казан. технол. ун-та*, 17, 9, 245-246 (2014).
7. Я.С. Мухтаров, Р.Ш. Суфиянов, В.А. Лашков, *Вестн. Казан. технол. ун-та*, 17, 7, 233-233 (2014).
8. Н.И. Гельперин, В.Г. Айнштейн, А.В. Зайковский, *Химическое машиностроение*, 3, 1-4 (1960).

© Я. С. Мухтаров – д.т.н., проф. каф. машиноведения КНИТУ, Р. Ш. Суфиянов – д.т.н., доц. Московского государственного машиностроительного университета (МАМИ), В. А. Лашков – д.т.н., зав. каф. машиноведения КНИТУ, lashkov_dm@kstu.ru.

© J. S. Mukhtarov – d.t.s., professor of the department of mechanical engineering of Kazan National Research Technological University (KNRTU), R. S. Sufyanov – d.t.s., associate professor of Moscow State University of Engineering (MAMI), V. A. Lashkov – d.t.s., head of the department of mechanical engineering KNRTU, lashkov_dm@kstu.ru.