

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

АНАЛИЗ ЭНЕРГОЗАТРАТ ПРИ ЦЕНТРОБЕЖНОМ ФИЛЬТРОВАНИИ СУСПЕНЗИЙ

Ключевые слова: экономико-математический анализ, центробежное фильтрование.

Проведен анализ энергозатрат на фильтрование суспензий центрифугированием.

Keywords: economic-mathematical analysis, centrifugal filtration.

The analysis of energy consumption by filtering suspensions by centrifugation.

Разработка любого технологического процесса ориентирована на создание эффективного аппаратного оформления вне зависимости от того, изготавливается оборудование вновь или технологическая линия монтируется из серийно выпускаемых аппаратов. Решение этой задачи может быть достигнуто путем применения методов оптимального расчета проектируемой химико-технологической системы, так и разработки новых высокоэффективных машин и аппаратов химических производств – элементов этой системы.

В полной мере это относится и к аппаратам, применяемых для центробежного отделения жидкой фазы из суспензий или из высоковлажных дисперсных материалов, когда по требованиям технологии необходимо получить продукт с пониженным содержанием жидкой фазы. К таким процессам относится, в частности, процесс отделения от грунта экстрагента, используемого при его промывке [1, 2].

Центрифугирование относится к энергоемким процессам и в этой связи определение оптимальных параметров процесса является важной задачей повышения энергоэффективности. В качестве критерия оптимальности может быть использован экономический критерий приведенных затрат [3]. Задачей оптимизации является выражение критерия эффективности, как функции от влагосодержания продукта [4].

Оптимальный расчет аппаратов базируется на изучении взаимосвязей между технологическими параметрами и энергозатратами, которые должны быть учтены при разработке оборудования и обосновании режимов работы на основе энергосбережения. Определение взаимосвязей между геометрическими и режимными параметрами оборудования должно осуществляться с применением экономико-математического анализа процесса.

Описание процессов центробежного фильтрования широко представлены в трудах В.И. Соколова, Д.И. Шкорopa и ряда других отечественных и зарубежных ученых [5]. Данные модели опираются на физические представления различной природы и для их практического применения необходимо проведение большого количества предварительных исследований для определения различного рода коэффициентов и параметров процесса, входящих в расчетные формулы. Более «универсальным» для определения эффективности процесса может быть экономико-математический анализ процесса.

Рассмотрим известное уравнение [6] для

анализа затрат и обратим внимание, что при прочих равных условиях, определяющее влияние на величину критерия эффективности оказывают влияние переменные затраты.

$$R = Z_r + \frac{1}{1000GT_s} [(1 + 0,01R)(Z_a + Z_p + Z_s) + E(K_c + K_o + K_n)] \rightarrow \min, \quad (1)$$

где Z_r – текущие затраты, руб; Z_a , Z_p , Z_s – затраты, соответственно, на амортизацию, ремонт и заработную плату, руб; K_c , K_o , K_n – капитальные затраты, соответственно, на строительство, оборудование и приборы.

Применительно к центробежному фильтрованию, таковыми являются затраты энергетические – на вращение ротора машины – $\mathcal{E}_c$. Составим уравнение энергозатрат на центрифугирование исходного материала:

$$\mathcal{E}_c = \mathcal{E}_{1c} + \mathcal{E}_{2c}, \quad (2)$$

где $\mathcal{E}_{1c}$ – затраты на подачу суспензии в ротор центрифуги, руб/кг; $\mathcal{E}_{2c}$ – затраты на обезвоживание продукта, руб/кг.

Очевидно, что затраты на транспортировку исходного продукта в машину при заданной производительности при любом режиме организации процесса останутся постоянными и в силу этого не представляют интереса при проведении нашего анализа.

Тогда, согласно [7], мощность при установленном режиме вращения ротора расходуется на раскручивание обезвоживаемого материала N_{pc} , на преодоление сопротивления вращению ротора о воздух $N_{вц}$, на трение в подшипниках $N_{пц}$.

В работе представлена формула для определения N_{pc}

$$N_{pc} = \frac{Qw_u^2 R_{2u}^2}{7200}, \quad (3)$$

где Q – производительность машины по суспензии, т/час, R_{2u} – радиус ротора центрифуги, м.

Отсюда:

$$N_{pc} = 13,88 \cdot 10^{-5} G_{\text{суп.сек.}} w_u^2 R_{2u}^2, \quad (4)$$

где $G_{\text{сусп.сек.}}$ – секундная производительность центрифуги по суспензии, кг/с.

$$G_{\text{сусп.сек.}} = G_{\text{сек.}} + G_{\text{ж.сек.}}, \quad (5)$$

где $G_{\text{сусп.сек.}}$ – секундная производительность центрифуги по жидкой фазе, кг/с.

Учтем, что $G_{\text{ж.сек.}} \approx G_{\text{сек.}} U_0$ и получим:

$$N_{\text{рц}} = 13,88 \cdot 10^{-5} G_{\text{сек.}} (1 + U_0) w_{\text{ц}}^2 R_{2\text{ц}}^2, \quad (6)$$

где U_0 – исходная влажность продукта, кг/кг.

Там же указана формула для определения

$N_{\text{вц}}:$

$$N_{\text{вц}} = k_{\text{ц}} N_{\text{рц}}, \quad (7)$$

при этом

$$k_{\text{ц}} = 0,1 \div 0,5.$$

Очевидно, что коэффициент $k_{\text{ц}}$ будет зависеть от геометрии ротора машины. Поэтому запишем:

$$k_{\text{ц}} = k_1 F_{\text{ц}}, \quad (8)$$

k_1 – эмпирический коэффициент; $F_{\text{ц}}$ – поверхность ротора центрифуги, м.

Принимаем также [8], что:

$$N_{\text{ц}} = 0,1 N_{\text{рц}}. \quad (9)$$

Далее:

$$N_{\text{ц}} = N_{\text{рц}} + N_{\text{вц}} + N_{\text{пц}}, \quad (10)$$

$$N_{\text{ц}} = 13,88 \cdot 10^{-5} G_{\text{сек.}} (1 + U_0) (1 + k_{\text{ц}}) w_{\text{ц}}^2 R_{2\text{ц}}^2. \quad (11)$$

Энергозатраты на процесс центрифугирования вычислим по формуле:

$$\Theta_{\text{ц}} = \frac{N_{\text{ц}}}{G_{\text{сее}}} a_1, \quad (12)$$

где a_1 – стоимость 1 кВт/час электроэнергии, руб/кДж.

Используя полученные выражения, получим целевую функцию

$$\Theta_{\text{ц}} = 13,88 \cdot 10^{-5} (1 + U_0) (1 + k_{\text{ц}}) w_{\text{ц}}^2 R_{2\text{ц}}^2 a_1, \quad (13)$$

для расчета критерия эффективности процесса центробежного фильтрования.

Литература

1. Р.Ш. Суфиянов, *Изв. Моск. гос. техн. ун-та (ММИ)*, 4, 2 (14), 201-205 (2012).
2. Пат. РФ 100.000 (2010).
3. Я.С. Мухтаров, Р.Ш. Суфиянов, *Вестн. Казан. техн. ун-та*, 17, 7, 226-227 (2014).
4. Я.С. Мухтаров, Р.Ш. Суфиянов, В.А. Лашков, *Вестн. Казан. техн. ун-та*, 17, 3, 242-244 (2014).
5. Я.С. Мухтаров, Р.Ш. Суфиянов, В.А. Лашков, *Вестн. Казан. техн. ун-та*, 17, 7, 237-238 (2014).
6. Л.Г. Голубев, Я.С. Мухтаров, *Международ. конф. «Теория и практика фильтрования» (Иваново, Россия)*. Иваново, 1998. С. 44.
7. В.И. Аснер, *Конструкции и расчет фильтрующих центрифуг*. Машиностроение, Москва, 1976. 216 с.
8. С.А. Чернавский, *Подшипники скольжения*. Машгиз, Москва, 1963. 243 с.