

УДК. 664
ББК 36.81
М-52

Меретуков Заур Айдамирович, кандидат технических наук, докторант кафедры технологии, машин и оборудования пищевых производств Майкопского государственного технологического университета, e-mail: zamer@radnet.ru;

Кошевой Евгений Пантелеевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой машины и аппараты пищевых производств Кубанского государственного технологического университета, e-mail: Koshevoi@kubstu.ru.

ПРОЦЕСС ОТГОНКИ АЦЕТОНА ОТ ФОСФАТИДНОГО КОНЦЕНТРАТА В ИНЕРТНОЙ СРЕДЕ (рецензирована)

В данной работе предлагается после экстракции провести операцию экструзионной агломерации – получить однородный по размерам частиц материал с пониженным содержанием ацетона, который отжимается в процессе экструзионной обработки, а далее проходит фазу отгонки остатков фосфатидного концентрата в испарителе.

Целью данной работы является математическое описание теплового процесса отгонки ацетона от фосфатидного концентрата и инертной среде.

Ключевые слова: фосфатидный концентрат, ацетон, азот, экструзионная агломерация, тепловой баланс, бинарная смесь паров.

Meretukov Zaur Aydamirovich, Candidate Of Technical Sciences, assistant professor of Technology, Machines and Food Industry Equipment Department, Maikop State Technological University, e-mail: zamer@radnet.ru;

Koshevoi Eugene Panteleevich, Doctor Of Technical Sciences, Professor, Honored Scientist of the Russian Federation, head of the Department of machines and equipment for food industry, Kuban State Technological University, e-mail: Koshevoi@kubstu.ru.

PROCESS OF ACETONE DISTILLATION FROM PHOSPHATIDE CONCENTRATE IN INERT ENVIRONMENT

In this paper we offer to conduct the operation of extrusion agglomeration after extraction - to get a uniform particle size material with a low content of acetone, which is pressed during extrusion processing, and then passes the phase of the distillation of phosphatide concentrate residues in the evaporator.

The aim of this paper is a mathematical description of the thermal process of distillation of acetone from phosphatide concentrate in an inert atmosphere.

Key words: phosphatidic concentrate, acetone, nitrogen, extrusion agglomeration, thermal balance, the binary mixture of vapors.

Современная технология получения ценных продуктов – фосфатидных концентратов (ФК) из масличных семян, применяемых в различных отраслях пищевой промышленности, включает операцию обезжиривания с использованием ацетона [1]. В связи с этим операция отгонки ацетона от фосфатидного концентрата является обязательной, определяющей качество получаемого продукта.

Важно обеспечить полную отгонку ацетона от получаемого ценного продукта фосфатидного концентрата (практически обеспечить как можно более глубокую отгонку, по крайней мере, остаточное содержание ацетона не должно превышать аналитическую ошибку его определения в пробе конечного продукта). При этом верхний температурный уровень нагрева материала должен быть ограничен допустимой температурой (55-60°C).

Операцию отгонки ацетона предлагается осуществить в чанном аппарате с обогреваемым днищем в направленно перемешиваемом слое с продувкой азота (инертной средой)[2].

Во всех вариантах процесса отгонки растворителя от ФК – с использованием и без использования инертной среды (азота) – главным является предсказание поведения обоих летучих компонентов в ФК – ацетона и азота.

В общем случае шрот (ФК + растворитель), полученный после операции экстрагирования, состоит из следующих компонентов: сухое вещество (включая остаток жира после экстракции) – $G_{с.в.}$; растворитель (ацетон) – G_a .

Следовательно, общее количество шрота

$$G_{\phi\delta} = G_{\tilde{n}.\hat{a}} = G_{\hat{a}} \quad (1)$$

Если задана растворителемкость поступающего в испаритель шрота

$$P = 100 \frac{G_a}{G_{\phi\delta}}, \% \quad (2)$$

то можно определить количество поступающего в испаритель растворителя (ацетона),

$$G_a = \frac{G_{\phi\delta} \cdot \mathcal{D}}{100} \quad (3)$$

При определении оптимальной конструкции аппарата для отгонки принята производительность 1000 кг в сутки по готовому фосфатидному концентрату с исходным содержанием ацетона 20%

Если задана влажность поступающего в испаритель шрота

$$W = 100 \frac{G_{\hat{a}}}{G_{\phi\delta}}, \% \quad (4)$$

Количество сухого вещества поступающего в испаритель

$$G_{с.\hat{a}} = \frac{G_{\phi\delta} \cdot (100 - \mathcal{D})}{100} \quad (5)$$

Для определения количества испаренного растворителя в ходе процесса отгонки необходимо решить систему из двух уравнений. В качестве первого уравнения может быть тепловой баланс[3].

Запишем уравнение теплового баланса в общем случае:

$$Q_{\tilde{n}.\hat{a}.i} + Q_{\hat{a}\ddot{o}.i} + Q_{\hat{a}\zeta} + Q_{\tilde{n}\hat{a}} = Q_{\tilde{n}.\hat{a}.\hat{e}} + Q_{\hat{a}\ddot{o}.\hat{e}} + Q_{\hat{a}\zeta.\hat{e}} + Q_{\hat{a}\ddot{o}.\hat{e}\tilde{n}\hat{a}} \quad (6)$$

где: $Q_{с.в.н}$ – тепло, вносимое сухим веществом шрота

$$Q_{\tilde{n}.\hat{a}.i} = G_{\tilde{n}.\hat{a}} \cdot \tilde{n}_{\phi\delta} \cdot t_i \quad (7)$$

$Q_{с.в.к}$ – тепло, уносимое сухим веществом шрота, кДж/ч;

$$Q_{\tilde{n}.\hat{a}.\hat{e}} = G_{\tilde{n}.\hat{a}} \cdot \tilde{n}_{\phi\delta} \cdot t_{\hat{e}} \quad (8)$$

$G_{с.в}$ – производительность испарителя в расчете на сухое вещество шрота, кг/ч; $c_{шр}$ – теплоемкость шрота, кДж/кг К; t_n и t_k – соответственно, температура поступающего и выходящего из испарителя шрота, град;

$Q_{\hat{a}\zeta}$ – тепло, вносимое азотом;

$$Q_{\hat{a}\zeta} = D \cdot \tilde{n}_{\hat{a}\zeta} \cdot t_{\hat{a}\zeta} \quad (9)$$

где D – количество подаваемого азота, кг/ч; $c_{\hat{a}\zeta}$ – теплоемкость азота, $t_{\hat{a}\zeta}$ – температура азота), кДж/ч;

$Q_{\hat{a}\ddot{o}.i}$ – тепло, вносимое ацетоном шрота, кДж/ч;

$$Q_{\hat{a}\ddot{o}.i} = G_{\hat{a}\ddot{o}.i} \cdot \tilde{n}_{\hat{a}\ddot{o}.i} \cdot t_i \quad (10)$$

$Q_{\hat{a}\ddot{o}.к}$ – тепло, уносимое ацетоном шрота, кДж/ч;

$$Q_{\hat{a}\ddot{o}.\hat{e}} = G_{\hat{a}\ddot{o}.\hat{e}} \cdot \tilde{n}_{\hat{a}\ddot{o}.\hat{e}} \cdot t_{\hat{e}} \quad (11)$$

$G_{\text{ац}}^{\text{н}}$ и $G_{\text{ац}}^{\text{к}}$ – соответственно, количество ацетона в поступающем и выходящем из испарителя шроте

$$G_{\text{ац}}^{\text{е}} = G_{\text{ац}}^{\text{і}} - G_{\text{ац}}^{\text{а}}, \hat{e}\tilde{a}/\div \quad (12)$$

$C_{\text{ац}}$ – теплоемкость ацетона, кДж/кг К; $Q_{\text{ац}}^{\text{исп}}$ – тепло, уносимое испарившимся ацетоном, кДж/ч;

$$Q_{\text{ац}}^{\text{эп}} = G_{\text{ац}}(r_{\text{ац}} + \tilde{n}_{\text{ац}}^{\text{і}} \cdot t_{\text{оаі}}) \quad (13)$$

$G_{\text{ац}}$ – количество испарившегося ацетона, кДж/ч;

$$G_{\text{ац}}^{\text{а}} = G_{\text{ац}}^{\text{і}} - G_{\text{ац}}^{\text{е}} \quad (14)$$

$r_{\text{ац}}$ – скрытая теплота парообразования ацетона, кДж/кг; $c_{\text{ац}}^{\text{п}}$ – соответственно, теплоемкости паров ацетона, $t_{\text{ух.п}}$ – температура уходящих паров ($t_{\text{ух.п}} = t_{\text{к}} = 70\div 75^{\circ}\text{C}$), град; $Q_{\text{под}}$ – тепло, подводимое от греющей поверхности к перемешиваемому слою шрота, кДж/ч;

$$Q_{\text{пд}} = \alpha \cdot F \cdot \Delta t_{\text{пд}} \quad (15)$$

F – площадь греющей поверхности, м^2 ; $\Delta t_{\text{ср}}$ – средняя разность температур (определяется в зависимости от соотношения большей $\Delta t_{\text{б}}$ и меньшей $\Delta t_{\text{м}}$ разности температур, при $\Delta t_{\text{б}}/\Delta t_{\text{м}} < 2$ используется среднеарифметическая разность температур:

$$\Delta t_{\text{ср}} = \frac{\Delta t_{\text{б}} + \Delta t_{\text{м}}}{2} \quad (16)$$

а при $\Delta t_{\text{б}}/\Delta t_{\text{м}} \geq 2$ – среднелогарифмическая разность температур:

$$\Delta t_{\text{ср}} = \frac{\Delta t_{\text{б}} - \Delta t_{\text{м}}}{2,31 \lg \left(\frac{\Delta t_{\text{б}}}{\Delta t_{\text{м}}} \right)}, \tilde{a}\tilde{\delta}\tilde{a}\tilde{ä} \quad (17)$$

Коэффициент теплоотдачи α от греющей стенки к перемешиваемому слою может быть определен по уравнению [4]

$$\frac{\alpha}{\alpha_w} = \frac{2}{\sqrt{\pi} Bi \sqrt{Fo}} \left[1 - \frac{1}{\sqrt{\pi} Bi \sqrt{Fo}} \ln(1 + Bi \sqrt{Fo}) \right] \quad (18)$$

где: α_w – полный коэффициент теплоотдачи у стенки; $\alpha_w = 200 \text{ Вт/м}^2 \text{ К}$, при диаметре частиц шрота до $d \approx 5 \text{ мм}$; $Bi = \alpha_w s / \lambda$ – число Био (s – высота слоя шрота, м; λ – теплопроводность шрота, Вт/м К); $Fo = a t_s / s^2$ – число Фурье ($a = \lambda / c_p$ – коэффициент температуропроводности шрота, $\text{м}^2/\text{с}$; c – теплоемкость шрота, Дж/кг К ; ρ – объемная масса шрота, кг/м^3 ; $t_s = (f n)^{-1}$ – время контакта частицы шрота с нагретой поверхностью, f – частота перемешивания, n – число перемешивающих устройств вблизи поверхности.

В качестве второго используется уравнение, характеризующее равновесное состояние бинарной смеси паров ацетона и азота над слоем обрабатываемого материала.

$$\frac{\varepsilon_{\text{аз}} G_{\text{аз}} M_{\text{аз}} \exp \left(A_{\text{аз}} - \frac{B_{\text{аз}}}{C_{\text{аз}} + t + 273} \right)}{\varepsilon_{\text{ац}} G_{\text{ац}} M_{\text{ац}} \exp \left(A_{\text{ац}} - \frac{B_{\text{ац}}}{C_{\text{ац}} + t + 273} \right)} = \frac{\alpha_{\text{аз}}}{\alpha_{\text{ац}}} \exp \left[\frac{\alpha_{\text{аз}} - \kappa \alpha_{\text{ац}}}{(\alpha_{\text{аз}} + \kappa \alpha_{\text{ац}})(t + 273)} \right] \quad (19)$$

где: $M_{\text{аз}}$ – молекулярный вес азота ($M_{\text{аз}} = 28,013$) [5];

$M_{\text{ац}}$ – молекулярный вес ацетона ($M_{\text{ац}} = 58,08$) [5];

$$a_{ac} = \frac{G_{ac}^k}{M_{ac} \left(\frac{G_{ac}^k}{M_{ac}} + \frac{G_{az}^k}{M_{az}} \right)} \quad \text{– мольная доля ацетона в смеси}$$

$$a_{az} = \frac{G_{az}^k}{M_{az} \left(\frac{G_{ac}^k}{M_{ac}} + \frac{G_{az}^k}{M_{az}} \right)} \quad \text{– мольная доля азота в смеси}$$

A_i, B_i, C_i – эмпирические коэффициенты ($A = 16,6513$; $B_{ac} = 2940,46$; $C_{ac} = -35,93$; $A_{az} = 14,9542$; $B_{az} = 588,72$; $C_e = -6,60$) [2].

Вспомогательные формулы:

$$\varepsilon_{ac} = 16,7488 \cdot T_{кр.ац} \frac{(\sqrt{P_{кр.ац}} - \sqrt{P_{кр.аз}})^2}{P_{кр.ац}} \quad (20)$$

$$\varepsilon_{аз} = 16,7488 \cdot T_{кр.аз} \frac{(\sqrt{P_{кр.ац}} - \sqrt{P_{кр.аз}})^2}{P_{кр.аз}} \quad (21)$$

$$K = \frac{P_{кр.аз} T_{кр.ац}}{P_{кр.ац} T_{кр.аз}} \quad (22)$$

$P_{крит.и}$ – критические давления ($P_{кр.з} = 46,4$ атм, $P_{кр.е} = 33,5$ атм); $T_{кр.и}$ – критическая температура ($T_{кр.з} = 508,1$ К, $T_{кр.е} = 126,2$ К).

Система представленных двух уравнений содержит два неизвестных – количество азота $G_{аз}$ и количество испаренного ацетона $G_{ац}$.

Ход расчета следующий.

В уравнение теплового баланса подставляются все известные численные значения параметров и оно преобразовывается в уравнение, содержащее два неизвестных $G_{ац}$ и $G_{аз}$.

Затем преобразовывается второе уравнение. Вычисляются ε_{ac} , ε_{az} и K . С учетом этого вначале преобразуется левая часть уравнения, в которой после подстановки известных численных значений содержатся два неизвестных $G_{ац}$ и $G_{аз}$. При преобразовании правой части надо иметь ввиду, что выражение, стоящее под знаком экспоненты стремится к нулю и, следовательно, его можно не учитывать.

Литература:

1. Бутина Е.А. Научно-практическое обоснование технологии и оценка потребительских свойств фосфолипидных биологически активных добавок: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. КубГТУ: Краснодар, 2003. 53 с.
2. Установка для отгонки растворителя из шрота: свидетельство на полезную модель №45358 / Кошевой Е.П. и др. Бюл. №24, 2005.
3. Dincer I., Hussain M.M., Sahin A.Z., Yilbas B.S. Development of a new moisture transfer (Bi-Re) correlation for food drying applications. International Journal of Heat and Mass Transfer 2002, 45, 1749-1755
4. Справочник по теплообменникам. В 2 т. Т.1: пер. с англ. / под ред. Б.С. Петухова, В.К. Шикова. М.: Энергоатомиздат, 1987. 560 с.
5. Рид Р.Ю., Праусниц Дж., Шервуд Т. Свойства газов и жидкостей: справочное пособие: пер. с англ. / под ред. Б.И. Соколова. 3-е изд., перераб и доп. Л.: Химия, 1982. 592 с.