

DOI: 10.17516/2782-2214-0023

УДК 665.3:541.8

MODEL OF A CONTINUOUS DEODORIZER IN THE PROCESS OF FILM FLOW

Svetlana G. Marchenkova*, Olga V. Gogoleva, Ekaterina A. Strupan,

Sergei A. Khudonogov

Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russian Federation

Abstract. In this article, the authors propose a model of the film zone of a vegetable oil deodorizer. General expressions are obtained for the analysis and calculation of operating factors (thickness and shape of the film flow, concentration of distilled components) of deodorization and distillation neutralization of oils in the film. The relations obtained in this work are applicable to multicomponent systems. The model can be used, in particular, to improve the energy efficiency of deodorizing plants for edible vegetable oils.

Keywords: vegetable oils, fats, deodorization, distillation neutralization, modeling, multicomponent system, mathematical functions, the quality of the final product.

Citation: Marchenkova, S. G., Gogoleva, O. V., Strupan, E. A., Khudonogov, S. A. (2021). Model of a continuous deodorizer in the process of film flow. Trade, service, food industry. Vol. 1(3). Pp. 258-264.

МОДЕЛЬ ДЕЗОДОРАТОРА НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ В ПРОЦЕССЕ ПЛЕНОЧНОГО ТЕЧЕНИЯ

Светлана Георгиевна Марченкова*, Ольга Валерьевна Гоголева,

Екатерина Анатольевна Струпан, Сергей Александрович Худоногов

ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет»,

Красноярск, Российская Федерация

Аннотация. В данной статье авторами предложена модель пленочной зоны дезодоратора растительных масел. Получены общие выражения для анализа и расчета режимных факторов (толщина и форма течения пленки, концентрация отгоняемых компонентов) дезодорации и дистилляционной нейтрализации масел. Полученные в работе соотношения могут быть применены и к многокомпонентным системам. Модель может быть использована, в частности, для повышения энергоэффективности дезодорационных установок пищевых растительных масел.

Ключевые слова: растительные масла, жиры, дезодорация, дистилляционная нейтрализация, моделирование, многокомпонентная система, математические функции, качество конечного продукта.

Введение. Дезодорация представляет собой заключительную стадию процесса рафинации, целью которой является удаление из сырых масел различных примесей. К последним относят вещества, которые образуются в масличных культурах при их созревании и в результате технологических операций, предшествующих рафинации. Примеси могут быть как нежелательными (вредными), так и полезными с точки зрения качества конечного продукта. Таким образом, задачей рафинации в целом и дезодорации в частности выступает достижение максимально возможной степени выведения из перерабатываемого сырья вредных примесей и максимальное сохранение в конечном продукте полезных веществ [1,2].

В пищевой промышленности, например при производстве консервированных изделий, маргаринов и пр., используют исключительно высококачественное растительное масло, не имеющее запаха, вкуса, прозрачное и светлое [3]. Повышенные требования к исходному сырью предъявляются и при производстве майонеза [4]. Решающая роль в достижении указанной цели принадлежит дезодорации [5]. Наряду с этим в процессе дезодорации происходит удаление из масел некоторых ядохимикатов (3,4 – бензпирена, пестицидов) [2]. Масла, полученные экстракционным способом, должны подвергаться дезодорации безусловно.

Технология бесщелочного удаления свободных жирных кислот (бесщелочная рафинация) весьма перспективна, так как исключает применение щелочных растворов, уменьшает потери жира, позволяет сохранить жирные кислоты в нативной форме, уменьшает загрязненность сточных вод [6].

Сущность процесса дезодорации заключается в отгонке компонентов жира, обуславливающих его вкус и запах, а также некоторых других, в условиях вакуума и достаточно высоких температур в присутствии перегретого водяного пара. Дезодорацию и дистилляционную нейтрализацию осуществляют в специальных установках, отличающихся конструкцией дезодоратора, условиями работы, составом оборудования, организацией технологического процесса.

Важнейшими технологическими параметрами, определяющими эффективность процесса и качество готового продукта, являются температура дезодорации; остаточное давление в дезодораторе; температура и количество перегретого пара, подаваемого в дезодоратор; время процесса. Существенное значение имеют условия контакта перегретого пара с дезодорируемым жиром [7].

Вещества, отгоняемые при дезодорации, весьма разнообразны по содержанию в жире и составу. Они представлены насыщенными и ненасыщенными жирными кислотами, углеводородами, глицеридами низкомолекулярных жирных кислот, диглицеридами и моноглицеридами, альдегидами, кетонами, спиртами и др.) [6].

Наряду с чисто физическим воздействием (отгонкой летучих компонентов, конденсацией отгоняемых веществ на стенках дезодоратора, уносом нейтрального жира в виде капель с паром, отгонкой триглицеридов при температуре свыше 523 К) дезодорацию и дистилляционную нейтрализацию могут сопровождать разнообразные химические реакции, влияющие на качество готового продукта.

Интенсивность физических и химических явлений при дезодорации зависит от исходного состояния жира, технологических режимов и параметров процесса, его организации и аппаратного оформления [9].

Помимо качественных показателей готового продукта эффективность дезодорации (дистилляционной нейтрализации) в значительной мере определяется уровнем потерь нейтрального жира при проведении процесса энергетическими затратами, производительностью оборудования.

Температурный фактор, помимо существенного влияния на качество продукта, в значительной мере определяет и другие характеристики эффективности дезодорационных установок [9,10].

Целью данной работы стало моделирование промышленного дезодоратора непрерывного действия в процессе пленочного течения перегоняемой смеси для выбора оптимальных режимов дезодорации растительных масел.

Материалы и методы. Представляется актуальным построение математических моделей дезодорации (дистилляционной нейтрализации), достаточно общих с точки зрения применимости к различным видам исходного продукта. Конструктивные особенности наиболее распространенных видов дезодораторов позволяют варьировать различные технологические параметры при проведении вычислительного

эксперимента. Речь идет и об аппаратах непрерывного действия и о не потерявших своей значимости аппаратах периодического цикла. Актуальность построения математической модели зависимостей оптимизируемых параметров от выбранных факторов для вязких сред отмечена в [5].

При построении математической модели было принято за основу классическое кинетическое уравнение отгонки, используемое ранее рядом исследователей [5,7,9]. Основными оптимизирующими параметрами выбраны: толщина стекающей пленки, концентрация отгоняемого компонента в пленке при условии противоточного движения жидкости и пара. Авторы предположили, что интенсивность массообмена при дезодорации в значительной мере определяется соответствующими кинетическими коэффициентами. Объективным показателем эффективности процесса был предложен коэффициент насыщения паровой фазы отгоняемым компонентом, вошедший в математическую модель как связующий фактор между основными параметрами (температурой, давлением, составом смеси).

Обсуждение. Температурный фактор способствует интенсификации дистилляционного процесса, что, в свою очередь, может вызывать снижение длительности термического воздействия на жир в дезодораторе и повышение производительности дистилляционных установок.

В данной статье описан процесс дезодорации пищевого масла при пленочном течении, так как ряд исследователей считает его наиболее целесообразным с точки зрения времени пребывания продукта в колонне [5-8]. Можно отметить, что кинетические закономерности дезодорации в пленочной зоне сегодня нуждаются в дополнительном изучении. В частности, ранее гипотеза модели дезодорации предполагала, что равновесная концентрации летучего компонента в пленочной зоне дезодоратора всегда постоянна. Авторы считают, что подобное утверждение может принципиально повлиять на точность описания процесса.

При формулировке задачи приняты следующие исходные соотношения.

Уравнение материального баланса по отгоняемому компоненту:

$$y = \frac{G}{L} \cdot x + \frac{L \cdot y_k - G \cdot x_n}{L}. \quad (1)$$

Уравнения фазного равновесия:

$$y_P = P_{АП} \cdot \frac{x}{P_{П}}; \quad (2)$$

$$x_P = P_{П} \cdot \frac{y}{P_{АП}}. \quad (3)$$

Кинетическое уравнение отгонки:

$$\frac{dx}{d\tau} = -\beta_{ХП} \cdot (x - x_P). \quad (4)$$

Здесь G , L – мольные расходы жидкой и паровой фаз; y , x_P , x_n – мольные концентрации отгоняемого компонента в паровой фазе (текущая, равновесная, конечная); $P_{АП}$ – мольные концентрации отгоняемого компонента в жидкой фазе (текущая, равновесная, начальная); $p_{АП}$ – давление чистого отгоняемого компонента при температуре дезодорации; $P_{П}$ – общее давление в пленочной зоне; τ – время; $\beta_{ХП}$ – коэффициент кинетического уравнения отгонки.

Решение системы этих уравнений таково:

$$\bar{x} = \exp\left(\left(\frac{K_{АП}}{K_{\mu}} - 1\right) \cdot K_{tП}\right) \times \left(1 - \frac{\frac{K_{АП}}{K_{\mu}} \cdot \exp\left(\left(\frac{K_{АП}}{K_{\mu}} - 1\right) \cdot K_{tП}\right) - K_{АП} \cdot K_{ХУ}}{\frac{K_{АП}}{K_{\mu}} \cdot \exp\left(\left(\frac{K_{АП}}{K_{\mu}} - 1\right) \cdot K_{tП}\right) - 1}\right) +$$

$$+ \frac{\frac{K_{АП}}{K_{\mu}} \cdot \exp\left(\left(\frac{K_{АП}}{K_{\mu}} - 1\right) \cdot K_{тП}\right) - K_{АП} \cdot K_{ХУ}}{\frac{K_{АП}}{K_{\mu}} \cdot \exp\left(\left(\frac{K_{АП}}{K_{\mu}} - 1\right) \cdot K_{тП}\right) - 1}. \quad (5)$$

Введенные безразмерные величины расшифровываются следующим образом:

$$\bar{x} = \frac{x}{x_H}; \quad (6)$$

$$K_{АП} = \frac{P_{П}}{P_{АП}}; \quad (7)$$

$$K_{\mu} = \frac{L}{G}; \quad (8)$$

$$\bar{H}_{П} = \frac{z}{H_{П}}; \quad (9)$$

$$K_{тП} = \frac{\beta_{ХП} \cdot \rho \cdot \delta \cdot H_{П}}{\Gamma}; \quad (10)$$

$$K_{ХУ} = \frac{y_H}{x_H}, \quad (11)$$

где: ρ – плотность жидкой фазы (жира); $\bar{H}_{П}$ – высота пленочной зоны; y_H – начальная концентрация отгоняемого компонента в паровой фазе; z – координата рассматриваемой точки по высоте пленочной зоны (начало координат соответствует верхней точке пленочной зоны); Γ – массовый расход жидкой фазы; δ – толщина пленки жидкости (масла).

В данной работе авторы воспользовались рекомендациями, приведенными в литературе [4].

Ламинарное течение рассчитано как

$$\delta = \sqrt{\frac{3 \cdot \mu \cdot \Gamma}{\rho^2 \cdot g}}; \quad (12)$$

волновое течение –

$$\delta = 0.93 \cdot \sqrt{\frac{3 \cdot \mu \cdot \Gamma}{\rho^2 \cdot g}}. \quad (13)$$

Для расчета конечной концентрации отгоняемого компонента в жидкой фазе (в конце пленочной зоны) достаточно в соотношении (9) принять $\bar{H}_{П}$ равным единице. При этом выражение для конечной концентрации примет вид

$$\bar{x}_к = \frac{\frac{K_{АП}}{K_{\mu}} + K_{АП} \cdot K_{ХУ} \cdot \left(1 - \exp\left(\left(1 - \frac{K_{АП}}{K_{\mu}}\right) \cdot K_{тП}\right)\right) - 1}{\frac{K_{АП}}{K_{\mu}} - \exp\left(\left(1 - \frac{K_{АП}}{K_{\mu}}\right) \cdot K_{тП}\right)}. \quad (14)$$

При нулевой концентрации отгоняемого компонента в паровой фазе безразмерное конечное содержание компонента в жидкости в соответствии с (14) составит

$$\bar{x}_к = \frac{\frac{K_{АП}}{K_{\mu}} - 1}{\frac{K_{АП}}{K_{\mu}} - \exp\left(\left(1 - \frac{K_{АП}}{K_{\mu}}\right) \cdot K_{тП}\right)}. \quad (15)$$

При $\frac{K_{АП}}{K_{\mu}} = 1$ выражение (15) неопределенно и величина $\bar{x}_к$ в данном случае не может быть найдена. В связи с этим получено отдельное решение системы (1)-(4) при $\frac{K_{АП}}{K_{\mu}} = 1$. При поиске решения были приняты допущения: движущая сила массопереноса постоянна; изменения параметров процесса носят линейный характер; соблюдаются условия равновесности процесса. Таким образом, решение для выбранного варианта имеет следующий вид:

$$\bar{x} = \frac{(K_{АП} \cdot K_{ХУ} - 1) \cdot K_{тП}}{K_{тП} + 1} \cdot \bar{H}_{П} + 1. \quad (16)$$

Выражение (16) позволяет рассчитывать значение концентрации отгоняемого компонента в жидкости в пленочной зоне $\frac{K_{АП}}{K_{\mu}} = 1$.

Для конечной концентрации отгоняемого компонента в пленочной зоне из (16) без труда получаем

$$\bar{x}_k = \frac{K_{АП} \cdot K_{ХУ} \cdot K_{tП+1}}{K_{tП+1}}. \quad (17)$$

Наконец, при нулевой начальной концентрации отгоняемого компонента в паровой фазе имеем

$$\bar{x}_k = \frac{1}{K_{tП+1}}. \quad (18)$$

Полученное решение задачи (14) и исходные соотношения (1)-(4) позволяют найти выражение для коэффициента насыщения паровой фазы отгоняемым компонентом:

$$\bar{y}_k = \frac{y_k}{y_p} = \frac{K_{АП}}{K_{\mu}} \cdot (1 - \bar{x}_k) + K_{АП} \cdot K_{ХУ}. \quad (19)$$

Полученные результаты. Следует заметить, что большинство существующих моделей и методик расчета дезодорации (дистилляционной нейтрализации) ориентированы на процесс, протекающий при неизменных технологических параметрах (температура, остаточное давление, расход острого пара). Вместе с тем заслуживает внимания изучение процесса при переменных технологических параметрах. Варьирование технологическими параметрами может быть полезным для повышения эффективности процесса и качества готового продукта.

Полученные соотношения предложены авторами для предварительного анализа и расчета дезодорационных установок различного вида в пищевом производстве. Выражения (5), (14), (16), (17), (19), могут быть также использованы для расчета пленочной зоны комбинированного дезодоратора непрерывного действия, включающего пленочную и кубовую зоны. В последнем случае перечисленные выражения должны входить составной частью в общую модель комбинированного аппарата.

Выводы и дискуссионные вопросы.

1. Построена математическая модель дезодоратора непрерывного действия в процессе пленочного течения;
2. Инновационность модели определяется возможностью ее применения при переменных входящих условиях.
3. Выведено выражение для получения численных значений коэффициента насыщения паровой фазы отгоняемым компонентом.
4. Полученные в работе соотношения могут быть применены к любым многокомпонентным системам, подходящим по параметрам проведения дезодорации, если концентрация отгоняемых компонентов в них невелика.
5. Совокупность представленных математических уравнений представляет собой законченную математическую модель дезодоратора (в части пленочного течения), которую, в свою очередь, можно применять при конструировании аппаратов любой производительности и мощности.

Библиографический список

1. Лукин, А. А. Основные направления совершенствования технологических процессов в масложировой промышленности [Текст] / А. А. Лукин // Вестник Южно-Уральского государственного университета. – 2013. – № 1. – С. 15-20.
2. Губаненко, Г. А. Анализ потенциала Красноярского края в формировании тематического кластера для производства функциональных продуктов питания [Текст] / Г. А. Губаненко, Е. А. Речкина, Л. П. Рубчевская // Вестник КрасГАУ. – 2013. – № 12.

– С. 252–258.

3. Suk, H. Y. Optimization of the refining process and oxidative stability of chufa (*Cyperus esculentus* L.) oil for edible purposes / H. Y. Suk // Food Science and Biotechnology. – 2016. – No.1. – Pp. 85-90.

4. Рахимова, Е.И. Изучение и внедрение в промышленную переработку парового оборудования при производстве майонезов [Текст] / Е. И.Рахимова, А. С. Сироткин, Е. Е. Сaitова // Известия Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2019. – № 1. – С. 88-93.

5. Коновалов, М. Л. Математическая модель и закономерности дезодорации растительных масел в пленке [Текст] / М. Л. Коновалов, В. В. Белобородов // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 1996. – № 1-2(230-231). – С. 63-65.

6. Коновалов, М. Л. Коэффициенты активности компонентов растительных масел при дезодорации и нейтрализации дистилляции [Текст] / М. Л. Коновалов, В. В. Белобородов // Химия растительного сырья. – 2002. – № 4. – С. 25-28.

7. Коновалов, М. Л. Коэффициенты насыщения паровой фазы в условиях дезодорации растительных масел [Текст] / М. Л. Коновалов // Химия растительного сырья. – 2005. – № 4. – С. 79-84.

8. Коновалов, М. Л. Эффективность вакуумной дистилляции в потоке водяного пара [Текст] / М. Л. Коновалов, О. В. Розанов // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета им. академика М. Ф. Решетнева. – 2011. – № 1. – С. 39-41.

9. Марченкова, С. Г. Математическое моделирование периодического процесса дезодорации растительных масел [Текст] / С. Г. Марченкова, С. Л. Грицко // Международный научно исследовательский журнал. – 2015. – № 11(42). – С. 66-68.

10. Krotova, I. V. The possibilities of rational use of essential oil plants / I. V. Krotova, A. A. Efremov // Chemistry of plant raw material. – 2002. – No 3. – Pp. 85-87.

References

1. Lukin, A. A. (2013). The main directions of improving technological processes in the fat and oil industry. Bulletin of the South Ural State University. 1. 15-20.

2. Gubanenko, G. A., Rechkina, E. A., Rubchevskaya L. P. (2013). Analysis of the potential of the Krasnoyarsk Territory in the formation of a thematic cluster for the production of functional food/ Bulletin of KrasGAU. 12. 252-258.

3. Suk, H. Y. (2016). Optimization of the refining process and oxidative stability of chufa (*Cyperus esculentus* L.) oil for edible purposes. Food Science and Biotechnology. 1. 85-90.

4. Rakhimova, E. I., Sirotkin, A. S., Saitova E. E., (2019). Research and implementation in industrial processing of steam equipment in the production of mayonnaise. Izvestiya Voronezh State University of Engineering Technologies. 1. 88-93.

5. Konvalov, M. L., Beloborodov, V. V. (1996). Mathematical model and regularities of deodorization of vegetable oils in a film. Izvestia of higher educational institutions. Food technology. 1-2(230-231). 63-65.

6. Konvalov, M. L., Beloborodov, V. V. (2002). Coefficients of activity of components of vegetable oils during deodorization and neutralization of distillation. Chemistry of plant raw materials. 4. 25-28.

7. Konvalov, M. L. (2005). Vapor phase saturation coefficients under conditions of deodorization of vegetable oils. Chemistry of plant raw materials. 4. 79-84.

8. Konvalov, M. L., Rozanov, O. V. (2011). Efficiency of vacuum distillation in a stream of water vapor. Bulletin of the Siberian State Aerospace University. Academician M. F. Reshetnev. 1. 39-41.

9. Marchenkova, S. G, Gritsko, S. L. (2015). Mathematical modeling of the periodic process of deodorization of vegetable oils. *International Scientific Research Journal*. 11(42). 66-68.
10. Krotova, I. V. Efremov, A. A. (2002). The possibilities of rational use of essential oil plants. *Chemistry of plant raw material*. 3. 85-87.