

**Факторная взаимосвязь кинетики неравновесных процессов в растительном масле при очистке фильтрационной поверхности установки для регенерации растительного масла**

**Феликс Яковлевич Рудик, Наталья Львовна Моргунова, Евгений Александрович Сундуков, Никита Александрович Семилет, Ирина Сергеевна Киселева**  
Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова, г. Саратов, Россия  
e-mail: rudikfy@sgau.ru

**Аннотация.** При переработке масличных культур необходимы технологии, позволяющие получать ценные растительные масла способом прессования с продолжительным сроком хранения. Существующие технологии очистки растительных масел на малых предприятиях не позволяют очистить масла от всех нежелательных веществ. Поэтому масла имеют короткий срок хранения, быстро окисляются и теряют товарный вид. В работе теоретически обоснованы конструктивные параметры направленной ультразвуковой и механической колебательной системы для очистки фильтрационной поверхности установки от накопленных твердых частиц в масле.

**Ключевые слова:** ультразвук; масло; адсорбция; очистка; массопередача.

**Для цитирования:** Рудик Ф. Я., Моргунова Н. Л., Сундуков Е. А., Семилет Н. А., Киселева И. С. Факторная взаимосвязь кинетики неравновесных процессов в растительном масле при очистке фильтрационной поверхности установки для регенерации растительного масла // Аграрный научный журнал. 2022. № 5. С. 90–92. <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2022i5pp90-92>.

AGRICULTURAL ENGINEERING

Original article

**Factor relationship of kinetics of nonequilibrium processes in vegetable oil when cleaning the filter installation surface for regeneration of vegetable oil**

**Felix Ya. Rudik, Natalya L. Morgunova, Evgeniy A. Sundukov, Nikita A. Semilet, Irina S. Kiseleva**  
Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov, Saratov, Russia  
e-mail: rudikfy@sgau.ru

**Abstract.** When processing oilseeds, technologies are needed to obtain valuable vegetable oils by pressing with a long shelf life. Existing technologies for cleaning vegetable oils in small enterprises do not allow cleaning the oil from all undesirable substances and therefore the oils have a short shelf life, quickly oxidize and lose their presentation. The article theoretically substantiates the design parameters of a directional ultrasonic and mechanical oscillatory system for cleaning the filtration surface of the installation from accumulated solid particles in the oil.

**Keywords:** ultrasound; oil; adsorption; cleaning; mass transfer.

**For citation:** Rudik F. Ya., Morgunova N. L., Sundukov E. A., Semilet N. A., Kiseleva I. S. Factor relationship of kinetics of nonequilibrium processes in vegetable oil when cleaning the filter installation surface for regeneration of vegetable oil // Agrarny nauchny zhurnal = Agrarian Scientific Journal. 2022;(5):90–92 (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2022i5pp90-92>.

**Введение.** Гармонические акустические и механические колебания активируют при технологическом воздействии на сельскохозяйственную продукцию явления массопередачи и способствуют изменению их агрегатного состояния. Повышается эффективность и сокращаются сроки диспергирования, эмульгации, кристаллизации и растворения веществ. Сорбционные процессы широко используются во всех сферах производства, в том числе и в перерабатывающей отрасли, являющейся одним из ответственных звеньев в непрерывном потоке АПК [1, 2]. В рассматриваемом случае гидропероксиды, входящие в состав нерафинированных растительных масел и являющиеся очагом зарождения свободной радикальной реакции, ведут к окислению масла и его порче. Их удаление осуществляется методом адсорбции, путем поглощения гидрперекисей из масла твердыми адсорбентами, эффективность которых зависит от удельной поверхности и пористости сорбента [3]. Однако сам по себе процесс адсорбции, протекающий под действием сил Ван-дер-Ваальса и заключающийся в концентрации паров поглощаемого вещества, замедлен. С целью интенсификации обработки использованы ультразвуковые акустические микротечения [6–10]. В процессе работы установки на фильтрационной поверхности оседают твердые частички с течением времени перекрывающие доступ масла в адсорбент. Пропускная способность и производительность установки резко снижаются, а проведение десорбции не дает ощутимых результатов.

Цель исследований – теоретически обосновать конструктивные параметры направленной ультразвуковой и механической колебательной системы для очистки фильтрационной поверхности от накопленных твердых частиц.

**Методика исследований.** При проведении аналитических исследований за основу была принята классическая теория механических колебательных движений на среду и фильтрационную поверхность для ее очистки от частиц дисперсной фазы. Адсорбционный процесс, протекающий при интенсивной ультразвуковой очистке, сопровождается седиментацией твердых частиц дисперсной фазы под действием гравитации с последующим их накоплением на фильтрационной поверхности, коагуляцией и конденсацией [4, 5].

Для разрушения седиментационной устойчивости укрупненных частиц теоретически исследовалось дополнительное вибрационное воздействие на мембрану катриджа с целью создания условий для срыва и подъема частиц дисперсной фазы с последующим их выносом акустическими микротоками [8, 9].

**Результаты исследований.** Известно, что закономерность распределения колебательных движений в среде характеризуется переменной координатой  $x = x(t)$ , изменение которой во времени зависит от амплитуды колебаний, характеризующей модуль наибольшего смещения колеблющейся величины от положения равновесия и цикловой частоты в текущее время.



При анализе гармонических колебательных движений особую значимость приобретает исследование колеблющейся величины, все параметры которой зависят от амплитуды, в нашем случае обеспечивающей максимальное смещение материальной точки осадка от фильтрационной поверхности с целью его последующего перемещения в отстойник.

Отрыв загрязнений от фильтрационной поверхности может быть осуществлен только принудительно за счет введения дополнительных продольных колебательных движений. В данном случае на первом этапе наиболее предпочтительны механические гармонические колебания, призванные отрывать и приподнимать путем всплытия загрязнения от поверхности адсорбента. В физическом смысле отрыв загрязнения, в теоретическом понятии, обозначается как колеблющаяся величина  $S$ , изменяющаяся со временем по закону косинуса или синуса:

$$\begin{aligned} S(t) &= A \cos(\omega_0 t + \varphi_0) \\ S(t) &= A \sin(\omega_n t + \varphi_n) \end{aligned} \quad (1)$$

где  $A$  – амплитуда вынужденных колебаний, характеризующая модуль наибольшего смещения частицы загрязнения от положения равновесия, мм;  $\omega_0$  – угловая частота колебательных движений, кГц;  $\varphi_0$  – начальная фаза колебаний, фазовый смысл этой величины заключается в том, что она определяет величину смещения тела в любой момент времени.

Амплитуда вынужденных колебаний зависит от амплитуды вынуждающей силы и её частоты, эта зависимость приводит к тому, что при определенной частоте амплитуда достигает своего максимального резонансного значения, ведущего к отрыву и всплыванию частиц загрязнения

$$A = \frac{F_0 \bar{m}}{\sqrt{(\omega_0 - \omega)^2 + 4\beta^2 \omega^2}}, \quad (2)$$

где  $F_0$  – амплитуда вынуждающей силы, м;  $\bar{m}$  – масса колеблющейся системы, кг;  $\omega_0$  – угловая частота колебательных движений, кГц;  $\omega$  – циклическая частота внешней среды, кГц;  $\beta$  – коэффициент затухания.

Таким образом, из выражения (3) следует, что амплитуда вынужденных колебаний является основой для проектирования механической колебательной системы. Амплитуда колебательных движений, распространяясь в жидкой среде и воспринимая ее сопротивление продвижению, затухает. Вследствие этого сокращается эффективность процесса, описываемая константой затухания

$$\beta = \frac{r}{2m}, \quad (3)$$

где  $r$  – коэффициент сопротивления среды;  $m$  – масса колеблющейся системы.

Следовательно, максимальная величина амплитуды уменьшается по закономерности, обусловленной логарифмическим декрементом затухания от времени продвижения

$$A(t) = A e^{-\beta(t+\tau)}, \quad (4)$$

где  $(t + \tau)$  – приращение времени продвижения колебательных движений.

В свою очередь, частота механических колебательных движений, характеризующая число полных колебаний колеблющейся системы за единицу времени, зависит от значений собственной частоты вырабатываемой колебательной системы и имеет вид:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{\omega}}, \quad (5)$$

где  $k$  – коэффициент сопротивления среды, меняется также до состояния циклической частоты:

$$\omega = \sqrt{\omega^2 - \beta^2}. \quad (6)$$

Подвергая анализу все остальные параметры гармонических колебаний можно сделать вывод, что амплитуды и частоты колебательных движений, характеризующие координаты колеблющегося тела и фиксирующие нахождение частиц загрязнения при всплытии от адсорбционной поверхности в разные периоды времени  $x=x(t)$ . Исходя из этого скорость движения и всплытия частиц загрязнения определяется выражением:

$$V(t) = \frac{dx}{dt} = A_n \omega_0 \cos(\omega_0 t + \varphi_0). \quad (7)$$

При этом максимальная скорость будет при соблюдении условия

$$\cos(\omega_0 t + \varphi_0) = 1. \quad (8)$$

А ускорение продвижения частицы:

$$a = \frac{dV(t)}{dt} = A_n \omega_0^2 \sin(\omega_0 t + \varphi_0), \quad (9)$$

при этом максимальное ускорение будет при соблюдении условия

$$\sin(\omega_0 t + \varphi_0) = -1.$$

Общая безразмерная величина, характеризующая эффективность колебательной системы и обуславливающая добротность системы, то есть диссипацию ее энергии во времени, также полностью зависит от анализа всех составляющих:

в одном случае от угловой частоты колебательных движений:



$$Q = \frac{\pi}{\beta T} \approx \frac{\pi \omega_0}{\beta 2\pi} = \frac{\omega_0}{2\beta}, \quad (10)$$

где  $T$  – период колебаний, характеризующий промежуток времени через который движение частицы полностью меняется  $T=1/\omega$ ;

в другом - от амплитуды колебательных движений:

$$Q = 2\pi \frac{A^2(t)}{A^2(t) + A^2(t + \tau)}. \quad (11)$$

Таким образом, в результате анализа факторной взаимосвязи кинетики колебательной системы, направленной на отрыв от фильтрационной поверхности загрязнений, исходя из уравнения неразрывности Пуазейля и Бернулли следует:

в соответствии со свойствами жидкости при воздействии на нее колебательных движений, порождаемых угловыми частотами и амплитудами колебаний, возникают деформации в множестве слоев жидкости, в исследуемом случае надфильтрационной поверхности, перемещающихся один над другим (см. рисунок).

эти послойные перемещения и являются движущей силой для съема и всплытия загрязнений над фильтрующей поверхностью, создавая при этом кинетические условия для их зависания в плоскости  $x$  с последующим перемещением направленными акустическими пульсирующими микротечениями.

**Заключение.** Анализом физической кинетики неравновесных процессов в жидкости установлена факторная взаимосвязь отрыва и всплытия загрязнений с фильтрационной поверхностью для их последующего переноса в накопитель установки для регенерации растительного масла. На основании результатов исследования осуществляется дальнейшее теоретическое обоснование конструктивных параметров установки.



**Нарушение положения равновесия материальной точки колебательными движениями**

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Глинка Н. Л. Общая химия. 29-е изд. Л., 2016. 360 с.
2. Рудик Ф. Я., Моргунова Н. Л., Бредихин С. А., Тулиева М. С. Очистка и регенерация нерафинированных растительных масел // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2019. № 1. С. 113–126.
3. Грег С., Синг К. Адсорбция, удельная поверхность, пористость. Киев, 2011. 310 с.
4. Алексеев В. Н. Количественный анализ. М., 2007. 504 с.
5. Возная Н. Ф. Химия воды и микробиология. М., 2016. 340 с.
6. Рудик Ф. Я., Загородских Б. П., Моргунова Н. Л., Коцацкий Ю. А. Совершенствование технологии переработки сои с использованием ультразвука // Вестник Мордовского ГУ. 2018. № 2. С. 266–286.
7. Рудик Ф. Я., Моргунова Н. Л., Семилет Н. А., Макаров Д. В. Технология и технические средства для переработки сои // Аграрный научный журнал. 2020. № 3. С. 91–95.
8. Бредихин С. А., Рудик Ф. Я., Моргунова Н. Л., Тулиева М. С. Закономерности фильтрования подсолнечного масла с применением виброакустического воздействия // Вестник Воронежского ГУИТ. 2017. № 1. С. 68–72.
9. Рудик Ф. Я., Бредихин С. А., Моргунова Н. Л., Тулиева М. С. Очистка и регенерация нерафинированных растительных масел // Известия ТСХА. 2019. Вып. 1. С. 113–126.
10. Rudik F. Ya., Morgunova N. L., Krasnikova E. S. Decontamination of grain by ultrasound // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Conference proceedings. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. 2020.

#### REFERENCES

1. Glinka N. L. General chemistry. 29th ed. Leningrad, 2016. 360 p. (In Russ.).
2. Rudik F. Ya., Morgunova N.L., Bredikhin S.A., Tulieva M.S. Purification and regeneration of unrefined vegetable oils. *Proceedings of the Timiryazev Agricultural Academy*. 2019; 1: 113–126. (In Russ.).
3. Greg S., Sing K. Adsorption, surface area, porosity. Kyiv, 2011. 310 p. (In Russ.).
4. Alekseev V. N. Quantitative analysis. Moscow, 2007. 504 p. (In Russ.).
5. Voznaya N. F. Chemistry of water and microbiology. Moscow, 2016. 340 p.
6. Rudik F. Ya., Zagorodskikh B. P., Morgunova N. L., Kodatsky Yu. A. Improving the technology of soybean processing using ultrasound. *Bulletin of the Mordovia State University*. 2018; 2: 266–286. (In Russ.).
7. Rudik F. Ya., Morgunova N. L., Semilet N. A., Makarov D. V. Technology and technical means for soybean processing. *Agrarian scientific journal*. 2020; 3: 91–95. (In Russ.).
8. Bredikhin S. A., Rudik F. Ya., Morgunova N. L., Tulieva M. S. Patterns of filtering sunflower oil using vibroacoustic effects. *Bulletin of the Voronezh GUIT*. 2017; 1: 68–72. (In Russ.).
9. Rudik F. Ya., Bredikhin S. A., Morgunova N. L., Tulieva M. S. Purification and regeneration of unrefined vegetable oils. *Proceedings of the Timiryazev Agricultural Academy*. 2019; 1: 113–126. (In Russ.).
10. Rudik F. Ya., Morgunova N. L., Krasnikova E. S. Decontamination of grain by ultra-sound. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. conference proceedings*. Krasnoyarsk, 2020.

Статья поступила в редакцию 24.11.2021; одобрена после рецензирования 12.12.2021; принята к публикации 12.12.2021.

The article was submitted 24.11.2021; approved after reviewing 12.12.2021; accepted for publication 12.12.2021.

