

Фильтрация подсолнечного масла в поле виброакустического воздействия

Сергей А. Бредихин¹ Bredihin2006@yandex.ru

Феликс Я. Рудик²

Мадина С. Тулиева³ madina81@mail.ru

¹ Российский государственный аграрный университет МСХА имени К.А. Тимирязева, ул. Тимирязевская, 49, Москва, 127550, Россия

² Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова, Театральная площадь, 1, г. Саратов 410012, Россия

³ Западно-Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангир хана, ул. Жангир хана, 51, г. Уральск, Казахстан

Резюме. Очистка сырого нерафинированного подсолнечного масла наряду с удалением первичных продуктов окисления актуальной задачей является удаление твёрдых составляющих, образуемых при переработке семян подсолнечника. Все они независимо от химического состава негативно воздействуют на качество пищевого продукта и с течением определённого времени насыщают масло коагулянтами, воздействующими на его органолептические и физико-механические характеристики. Рассмотрена задача очистки нерафинированного подсолнечного масла фильтрацией с использованием виброакустического воздействия. Приведена расчетная схема процесса, и разработана экспериментальная установка, позволяющая изменять угол наклона фильтрующего элемента. Проведены исследования фильтрации подсолнечного масла в поле виброакустического воздействия. В исследовании принято решение о расширении энергетических воздействий для создания в жидкой среде совокупной системы, улучшающей гидродинамическую обстановку в масштабе установки для очистки масла. Установлено, что скорость процесса можно интенсифицировать путем создания дополнительных микропотоков, обеспечивающих активное воздействие на движение жидкости, газа и твёрдых частиц. Получены результаты, свидетельствующие об эффективности использования виброакустического воздействия при фильтрации подсолнечного масла.

Ключевые слова: фильтрация, нерафинированное подсолнечное масло, продукты окисления, ультразвуковое воздействие, вибрация

Filtration of sunflower oil in the field of vibroacoustic effects

Sergey A. Bredikhin¹ Bredihin2006@yandex.ru

Felix Y. Rudik²

Madina S. Tuliyeva³ madina81@mail.ru

¹ Russian state agricultural university MSHA named after K.A. Timiryazev, Timiryazevskaya St. 49, Moscow, 127550, Russia

² Saratov state agrarian University named after N.I. Vavilov, Theatre square, 1, Saratov, 410012, Russia

³ West Kazakhstan agrarian technical University named after Zhanqir Khan, Zhanqir Khan street, 51, Uralsk, Kazakhstan

Summary. Purification of crude unrefined sunflower oil along with the removal of primary oxidation products is an urgent task to remove the solid constituents formed during the processing of sunflower seeds. All of them irrespective of the chemical composition negatively affect the quality of the food product and, over time, saturate the oil with coagulants that affect its organoleptic and physico-mechanical characteristics. The problem of cleaning unrefined sunflower oil by filtration with the use of vibroacoustic action is considered. The calculation scheme of the process is given, and an experimental setup has been developed that makes it possible to vary the angle of inclination of the filter element. The research of sunflower oil filtration in the field of vibroacoustic impact is carried out. In the study, a decision was made to expand the energy effects to create a cumulative system in the liquid medium that improves the hydrodynamic situation at the scale of the oil purification plant. It is established that the process speed can be intensified by creating additional microflows that provide an active influence on the motion of liquid, gas and solid particles. The results are obtained, which testify to the effectiveness of the use of vibroacoustic effects during the filtration of sunflower oil.

Keywords: filtration, crude sunflower oil, products of oxidation, sonication, vibration

Введение

Сохранение качества сырых и нерафинированных подсолнечных масел при хранении и очистки их от первичных и вторичных продуктов окисления является актуальной задачей.

Известно, что неочищенные растительные масла (сырые и нерафинированные), содержат неомыляемые фракции, в состав которых входят фосфолипиды, токоферолы, стеролы, воски, углеводы, пестициды, белки. Некоторые из этих компонентов нежелательны, и от них при очистке необходимо избавляться, так как переход в масло полярных и неомыляемых липидов способствует постоянному развитию в масле при хранении гидrolитических и окислительных процессов [2, 7].

Наряду с этим в маслах, производимых на малотоннажных производствах, вследствие упрощённых процессов отжима и фильтрации присутствуют механические примеси. При этом размер механических частиц колеблется в значительном интервале – от 3 мм до 0,01 мкм. Остаточные количества твёрдых веществ, в основном состоящих из белка и клетчатки, при хранении масла переходят в другие формы, что в итоге ведёт к изменению цветности (мутность) и неприятному вкусу и затхлому запаху.

При очистке сырых и нерафинированных подсолнечных масел наряду с удалением первичных продуктов окисления проблемной задачей является удаление твёрдых составляющих, образуемых при переработке семян подсолнечника.

Для цитирования

Бредихин С.А., Рудик Ф.Я., Тулиева М.С. Фильтрация подсолнечного масла в поле виброакустического воздействия // Вестник ВГУИТ. 2017. Т. 79. № 1. С. 22–27. doi:10.20914/2310-1202-2017-1-22-27

For citation

Bredihin S.A., Rudik F.Ja., Tuliyeva M.S. Filtration of sunflower oil in the field of vibroacoustic effects. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2017. Vol. 79. no. 1. pp. 22–27. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2017-1-22-27

Все они независимо от химического состава негативно воздействуют на качество пищевого продукта и с течением определенного времени насыщают масло коагулянтами, воздействующими на его органолептические и физико-механические характеристики [4–6].

Для очистки растительных масел используют процесс фильтрации. С целью определения влияния виброакустического воздействия при фильтрации подсолнечного масла проведён комплекс исследований.

Рассмотрена задача очистки нерафинированного подсолнечного масла фильтрацией с использованием виброакустического воздействия. Из закона Дарси следует, что для повышения эффективности фильтрации необходимо повысить давление над фильтрационной перегородкой.

$$\bar{u} = -\frac{k}{\mu} \text{grad } p, \quad (1)$$

где $k = -d^2/f(m)$ – проницаемость фильтрационной перегородки (d – диаметр поры, m – пористость фильтрационного элемента, см^2 ; μ – вязкость жидкости; $\text{grad } p$ – градиент давления, характеризующий изменение давления у точки пористой среды).

Акустические течения, распространяясь в обрабатываемой среде жидкости, выделяют некоторую часть своей энергии в виде теплоты и способствуют снижению вязкости масла и его более легкому проникновению в поры и устья фильтрующего элемента. Другая часть энергии создает в жидкой среде регулярные механические импульсы в виде акустических кумулятивных течений. [1, 3].

Скорость направленного переноса масла к фильтру оценивается толщиной акустического пограничного слоя, а интенсивность распределения акустических волн – переменным звуковым давлением. Эти периодические сжатия и расширения в каждом слое жидкости различны и рассматриваются как результат действия переменного действия с амплитудой:

$$P = \rho c \lambda \omega = \rho c V_m. \quad (2)$$

Исходя из физического смысла, показатель плотности и коэффициента сжимаемости жидкости ρc представляет собой акустическое сопротивление среды. Известно, что при распространении ультразвуковой волны $\lambda \omega$ в обрабатываемой среде её интенсивность уменьшается. В итоге волна в однородной среде затухает. Это ведёт к уменьшению интенсивности амплитуды колебательной скорости и движущей силы акустических микротоков V_m .

В нашем случае, когда обрабатываемой средой является подсолнечное масло, представляющее собой неоднородную систему с повышенными показателями плотности и вязкости, распространение колебательных волн и, соответственно, акустических течений усложнено. Это уменьшает поток энергии в объёме жидкости, вызывает поглощение ультразвука средой необратимым переходом энергии звуковой волны в тепло.

Интенсивность акустических кумулятивных микротоков, осуществляющих направленный перенос подсолнечного масла через фильтрующий элемент, оценивается толщиной акустического пограничного слоя, где амплитуда колебания частиц жидкости зависит от толщины пограничного слоя. В пограничном слое частота колебательных движений частиц переменна, от 0 на поверхности, она достигает 0,63 амплитуды в объёме подсолнечного масла. В связи с этим для полного охвата всего объёма жидкости акустическими течениями путём увеличения пограничного слоя и уменьшения зависимости качества очистки от порога затухания волны установлена необходимость дополнительного придания жидкости механических колебаний. В таком случае толщина пограничного слоя с некоторыми приближениями будет зависеть от вязкости и плотности очищаемой жидкости, а также от частоты ультразвуковых и вибрационных колебаний:

$$h = -\sqrt{\frac{\eta}{2\pi\rho f_\Sigma}}, \quad (3)$$

где η – динамическая вязкость, $\text{Па} \cdot \text{с}$; f_Σ – суммарная частота ультразвуковых и вибрационных колебаний, с^{-1} ; ρ – плотность жидкости, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Уменьшение толщины пограничного слоя должно привести к положительному эффекту, так как теоретически считается, что частота ультразвука намного меньше длины волны ультразвука, а дополнительные колебания от вибровозбудителя в объёме подсолнечного масла должны изменить это соотношение.

Для акустического поля характерны звуковые давления, интенсивность распространения которых в каждой точке жидкой среды различны. Исходя из этого постоянно меняется величина давления над фильтром, оно приобретает импульсный характер. Следовательно, интенсивность звуковой волны зависит от давления P (мПа), амплитуды A ($\text{м} \cdot 10^{-6}$), амплитуды колебательной скорости V_m и ускорения перемещаемых акустических волн B ($\text{м}/\text{с}^2$):

$$I = \frac{P}{2\rho c} = \frac{1}{2} \rho c \omega^2 A^2 = \frac{1}{2} \frac{Pc}{\omega^2} B^2 = \frac{1}{2} \rho c V_m^2. \quad (4)$$

Учитывая характер изменения интенсивности ультразвуковых колебаний, зависящей от сопротивления их проникновению в масло, расчет необходимой в практических целях интенсивности и амплитуды ведётся в зависимости от её затухания на расстоянии x :

$$I = I_0 e^{-2\alpha x}; \quad A = A_0 e^{-\alpha x}, \quad \text{мм}, \quad (5)$$

где I_0 и A_0 – интенсивность и амплитуда звуковых колебаний вблизи источника колебаний соответственно; e – число Непера, $e = 2,72$; α – коэффициент поглощения звуковых волн средой для исследуемой среды, $\alpha = 2\eta f^2 / 3\rho c^3$, η – вязкость масла, МПа·с; f – частота колебаний, Гц.

Плоская акустическая волна с небольшой амплитудой и частотой для стационарного режима характеризуется тем, чем больше частота колебаний f , тем меньше длина волны λ :

$$\lambda = c / f, \quad \text{м}. \quad (6)$$

В нашем случае в конструктивных размерах резервуара, где осуществляется процесс, должны учитываться длина волны и скорость её распространения c , зависящие от проницаемости масла. Расчёты велись по схеме, представленной на рисунке 1. Расстояние $Z_0 = D/\lambda$ характеризует ближнюю зону излучения колебательных волн.

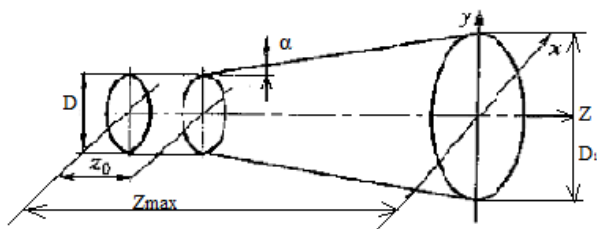


Рисунок 1. Расчётная схема поля плоского излучателя для очистки подсолнечного масла

Figure 1. Design scheme for a flat field emitter for cleaning sunflower oil

По мере воздействия на волну физических показателей масла скорость её распространения падает, и эта зона уширяется конусообразно.

Интенсивность ультразвуковых волн в ближней зоне Z_0 и зоне убывания определяется выражениями:

$$Z_0 = \frac{D^2 + \lambda^2}{4\lambda}; \quad \alpha = \arcsin \cdot 1,22 \frac{\lambda}{D}, \quad (7)$$

где D – диаметр поверхности излучателя, м.

Интенсивность волн в дальней убывающей зоне Z_{\max} определяется по формуле:

$$Z_{\max} = \frac{D^2}{\lambda} - \frac{\lambda}{4}. \quad (8)$$

Произведя расчёты по выражениям (5–8) для стационарного режима с плоской акустической волной с небольшой амплитудой и частотой, при условии, что чем больше f , тем меньше λ ($\lambda \neq f$), определены параметры ультразвукового поля (таблица 1).

Недостатком однополярной продольной направленности звуковых колебаний является возникновение горизонтальных микропотоков, способствующих только продвижению очищаемого масла сквозь фильтрующий элемент. Процесс близок к статическому, суспензия с твёрдыми частицами под действием массы и ускорения свободного падения оседает на поверхности фильтрующего элемента. Это обстоятельство диктует целесообразность создания дополнительных продольных микропотоков, обеспечивающих срыв слоя твёрдых частиц с поверхности фильтра и их вынос в поверхностный слой очищаемой жидкости, а за счёт возникающих инерционных сил – перемещение твёрдых частиц в накопительную ёмкость и выгрузку суспензии без остановки установки.

Таблица 1.

Расчётные характеристики ультразвукового поля для очистки подсолнечного масла

Table 1.

The design characteristics of the ultrasonic field for cleaning sunflower oil

Параметр	Расчётное значение
Амплитуда колебаний A , м·10 ⁻⁶	4,52–5,00
Частота колебаний f , 18...18,5 кГц	18–18,5
Амплитуда скорости V , м·10 ⁻¹	5,65–5,84
Амплитуда ускорения B , м·10 ⁴	6,37–6,82
Скорость распространения волн C , м/с	1468–1474
Длина волны λ , м	0,03–0,06
Интенсивность в зоне Z_0 , м	0,14–0,16
Интенсивность в зоне Z_{\max} , м	0,54–0,57
Угол интенсивности уширения пучка α , рад.	0,44–0,48
Давление затухания P_3 , Па·10 ⁵	9,16
Интенсивность излучения j , Вт/м ² ·10 ⁵	2,75
Амплитуда последнего максимума колебаний $A_{Z_{\max}}$, м·10 ⁻⁶	5,01
Интенсивность излучения в площади W , Вт/м ² ·10 ³	9,81
Коэффициент затухания α_0 , с ² /м·10 ⁻³	4,8
Интенсивность последнего максимума колебаний $j_{Z_{\max}}$, Вт/м ² ·10 ⁵	2,71

Повышение технологических возможностей очистки сырого и нерафинированного подсолнечного масла связано с эффектом дробления или коагуляции дисперсных частиц и гомогенизации среды:

$$I = \frac{M}{St}, \quad (9)$$

где M – количество перенесённого вещества; S – единица площади или объёма, сквозь которое переносится вещество, m^2 ; t – продолжительность переноса вещества, с.

В соответствии с закономерностями термодинамики реальных процессов интенсификация рассматриваемого процесса очистки масла может быть обеспечена по линейному закону переноса:

$$\frac{\alpha M}{\alpha t} = kSF, \quad (10)$$

где k – коэффициент скорости технологического процесса; F – движущая сила процесса переноса, Н·м.

Из выражений (9) и (10) следует, что количество перенесённого вещества M пропорционально площади установки S и движущей силе F . Отсюда следует, что для скорости процесса можно интенсифицировать путем создания дополнительных микропотоков, обеспечивающих активное воздействие на движение жидкости, газа и твёрдых частиц.

В исследовании принято решение о расширении энергетических воздействий для создания в жидкой среде совокупной системы, улучшающей гидродинамическую обстановку в масштабе установки для очистки масла. При этом необходимо обеспечить возможность создания нескольких видов физических воздействий, направленных на изменение состояния обрабатываемой среды.

Механические вибрационные колебательные движения в масле характеризуются как гармонические продольные, зависящие от скорости и ускорения перемещения частиц в среде с различными показателями плотности

$$\begin{aligned} V = \dot{y} &= A\omega \cos(\omega t + \varphi) = \\ &= A\omega \sin(\omega t + \varphi + \frac{\pi}{2}); \end{aligned} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} \alpha = \ddot{y} &= -A\omega^2 \sin(\omega t + \varphi) = \\ &= A\omega^2 \sin(\omega t + \varphi + \pi). \end{aligned} \quad (12)$$

Отсюда их амплитудные значения:

$$V_{\max} = A\omega; \quad \alpha_{\max} = A\omega^2. \quad (13)$$

Дальнейшими расчётами исследовали движение единичных твёрдых частиц для их отвода (унос). Собственная частота дополнительных колебаний на упругих опорах равна:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{C}{m_0}}, \quad (14)$$

где C – жесткость пружины, Н/м; m_0 – масса частей аппарата, подвергаемая вибрации, кг.

Микропотоки под действием сил сопротивления среды затухают, что ведёт к снижению эффективности очистки масла и загрязнению

сорбента фильтратом. Это устраняется за счёт создания механического вибрационного колебательного движения. Тогда расчётная формула коэффициента поглощения совмещённой колебательной среды (α) принимает вид:

$$\alpha = \frac{2\eta f^2 + f_0^2}{3\rho c^3} = \frac{2\eta f^2 + \frac{\alpha}{4\pi^2} \frac{c}{m_0}}{3\rho c^3}, \quad (15)$$

где η – вязкость подсолнечного масла, $\eta = 0,0598$ Па·с; f – частота акустических колебаний, согласно рекомендациям [8], принимается $f = 10 f_0$ с⁻¹; ρ – плотность очищаемого масла, $\rho = 920$ кг/м³; c – коэффициент сжимаемости масла, $c = 20,5$.

При дальнейших расчётах жесткость пружины принималась $c = 800$ Н/м, масса элементов возбудителя и фильтрующего элемента (картриджа с сорбентом) $m_0 = 3,5$ кг.

Конструктивные размеры картриджа с сорбентом принимались из соотношения его высоты к диаметру $h_k/d_k^2 = 1$ тогда

$$d_k = \sqrt[3]{\frac{2x}{\pi}}; \quad h_k = 2d_k \quad (16)$$

Твёрдая частица (рисунок 2) осадка I массой m удерживается на поверхности фильтрующего элемента 2 силой адгезии Q с силой тяжести G . При этом сила инерции от продольного направления:

$$P_1 = mA\omega^2 \sin \omega t. \quad (17)$$

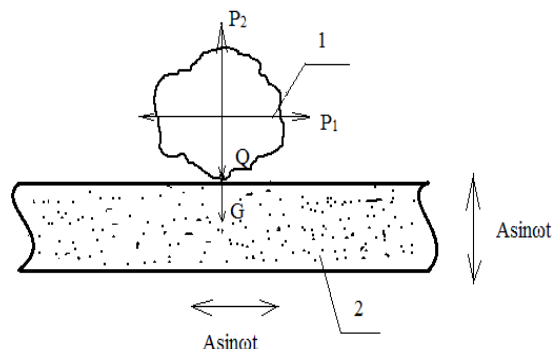


Рисунок 2. Схема направления акустических P_1 и вибрационных P_2 потоков: 1 – твёрдая частица осадка; 2 – слой сорбента

Figure 2. Scheme of the direction of the acoustic vibration P_1 and P_2 threads: 1 – the solid part of the sludge; 2 – layer sorbent

Поскольку сила адгезии осадка в нормальном и касательном направлениях одинакова, то и условия обеспечения съёма осадка с поверхности фильтрующего элемента идентичны [9–11]. Отсюда следует, что при силе тяжести частицы, соответствующей силе адгезии, одновременно протекают процессы отрыва частицы и её перемещения по поверхности фильтрующего элемента. Направление действия силы инерции P_1 даёт возможность создаваемой силой тяжести G , осуществляется за счёт акустической силы инерции.

Силу адгезии для нашего случая определяем по формуле:

$$Q = \frac{k_1}{\mu_{\text{ж}}} \frac{G}{\delta} (1 + \lambda), \quad (18)$$

где k_1 – проницаемость осадка сквозь адсорбент; $\mu_{\text{ж}}$ – динамический коэффициент вязкости масла, Па·с; G – сила тяжести осадка; δ – высота слоя осадка на поверхности фильтрующего элемента, мм; λ – интенсивность колебаний, с⁻¹.

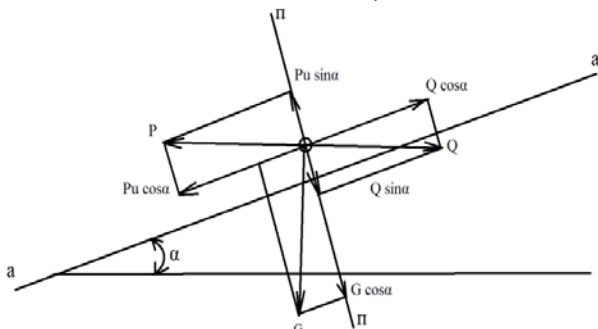


Рисунок 3. Схема сил, действующих на частицы осадка: а-а – поверхность фильтрующей перегородки; п-п – нормаль к поверхности а-а

Figure 3. Scheme of forces acting on sediment particles and a surface of the filter membrane; p-p is normal to the surface a-a

Силы, срывающие от поверхности фильтрующего элемента осадок и перемещающие его в установленном направлении для очистки от продуктов загрязнения масла анализировали по схеме (рисунок 3). Условие передвижения частицы осадка по поверхности а-а обеспечивается соотношением инерционных сил $P_{\text{и}} \cos \alpha$,

сил адгезии частиц осадка в поверхность адсорбента $Q \cos \alpha$ и сил тяжести частиц осадка $G \sin \alpha$:

$$P_{\text{и}} \cos \alpha \geq Q \cos \alpha - G \sin \alpha. \quad (19)$$

Преобразованием выражения (19) получена зависимость силы тяжести частиц от инерционных и адгезионных сил:

$$G \sin \alpha \geq (Q - P_{\text{и}}) \cos \alpha; \quad \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} \geq \frac{Q - P_{\text{и}}}{G} = \frac{Q}{G} - \frac{P_{\text{и}}}{G}. \quad (20)$$

Отсюда:

$$\operatorname{tg} \alpha \geq \frac{k_1}{\mu_{\text{ж}}} \frac{G}{\delta} (1 + \lambda) / G - \frac{mA\omega^2 \sin \omega t}{mg}. \quad (21)$$

Из выражения (21), определим угол наклона поверхности фильтрующего элемента, обеспечивающий перемещение частиц осадка под углом α :

$$\alpha \geq \arctg \left[\frac{k_1(1 + \lambda)}{\mu_{\text{ж}}\delta} - \frac{A\omega^2}{g} \right]. \quad (22)$$

Произведя подстановку данных в выражение (22) для масла при $\mu_{\text{ж}} = 0,0546-0,0998$ Па·с; $k_1 = 5 \cdot 10^{-3}$; $\lambda = 15$ с⁻¹ и $A = 0,001$ мм/с, получим:

$$\alpha \geq \arctg \left[\frac{5 \cdot 10^{-5} (1 + 15)}{0,055 \cdot 1 \cdot 10^{-2}} - \frac{0,001 \cdot 15^2}{9,81} \right] = 0,122.$$

Заключение

Проведённые исследования подтверждены экспериментом, который позволил определить основные закономерности процесса фильтрования подсолнечного масла в поле виброакустического воздействия.

8 Li Y. et al. Green ultrasound-assisted extraction of carotenoids based on the bio-refinery concept using sunflower oil as an alternative solvent // Ultrasonics sonochemistry. 2013. Т. 20. №. 1. С. 12-18.

9 Haas M. J. et al. A Simple Standardization Method for the Biodiesel Cold Soak Filtration Apparatus // Journal of the American Oil Chemists' Society. 2015. Т. 92. №. 9. С. 1357-1363.

10 Pal U. S. et al. Effect of refining on quality and composition of sunflower oil // Journal of food science and technology. 2015. Т. 52. №. 7. С. 4613-4618.

11 Chavan A. P., Gogate P. R. Ultrasound assisted synthesis of epoxidized sunflower oil and application as plasticizer // Journal of Industrial and Engineering Chemistry. 2015. Т. 21. С. 842-850.

REFERENCES

1 Akopyan V. B., Ershov Yu. A., Osnovy vzaimodeystviya ultrazvuka s biologicheskimi ob'ektami [The basics of the interaction of ultrasound with biological objects]. Moscow. MGTU im. N.E. Bauman 2005. 225 p. (in Russian).

2 Bredikhin S. A., Zhukov V. G., Kosmodem'yanskii Yu. V., Yakushev A. O. Protsessy i apparaty pishchevoi tekhnologii [Processes and devices of food technology]. St-Peterburg. Lan'. 2014. 544 p. (in Russian).

ЛИТЕРАТУРА

1 Акопян В. Б., Ершов Ю. А., Основы взаимодействия ультразвука с биологическими объектами. Москва. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. 225 с.

2 Бредихин С. А., Жуков В. Г., Космодемьянский Ю. В., Якушев А. О. Процессы и аппараты пищевой технологии. Санкт-Петербург. Издательство Лань, 2014. 544 с.

3 Быковский И. И. Основы теории вибрационной техники. Москва. Машиностроение, 1968. 362 с.

4 Рудик Ф. Я. Разработка технологии очистки подсолнечного масла на стадии его хранения // Хранение и переработка сельскохозяй сырья. 2009. № 3. С. 17-19.

5 Рудик Ф. Я., Исследование процесса порчи нерафинированного подсолнечного масла при хранении // Вестник Саратовского госагроуниверситета. 2012. № 8. С. 53-55.

6 Рудик Ф. Я., Моргунова Н. Л., Тулиева М. С. Приоритетные направления развития пищевой индустрии и производства растительных масел // Вестник Саратовского госагроуниверситета. 2014. № 1. С. 87-89.

7 Рудик Ф. Я., Моргунова Н. Л., Тулиева М. С. Факторы, обуславливающие процесс порчи масла при хранении // Аграрный научный журнал. 2015. № 4. С. 66-69.

3 Bykovskii I. I. Osnovy teorii vibratsionnoi tekhniki. [Fundamentals of the theory of vibrating equipment.]. Moscow. Mashinostroenie 1968. 362 p. (in Russian).

4 Rudik F. Ya. Development of technology of purification of sunflower oil during its storage. *Khranenie i pererabotka sel'skokhozya* [Storage and processing of Selskaya]. 2009. no. 3. pp. 17–19. (in Russian).

5 Rudik F. Ya., The study of the process of spoilage of crude sunflower oil during storage. *Vestnik Saratovskogo gosagrouniversiteta* [Proceedings of Saratov state agrarian University]. 2012. no. 8. pp. 53–55. (in Russian).

6 Rudik F. Ya., Morgunova N. L., Tulieva M. S. Priority directions of development of food industry and production of vegetable oils. *Vestnik Saratovskogo gosagrouniversiteta* [Proceedings of Saratov state agrarian University]. 2014. no. 1. pp. 87–89. (in Russian).

7 Rudik F. Ya., Morgunova N. L., Tulieva M. S. Factors that contribute to the process of deterioration of oil

during storage. *Agrarnyi nauchnyi zhurnal* [Agricultural research magazine]. 2015. no. 4. pp. 66–69. (in Russian).

8 Li Y. et al. Green ultrasound-assisted extraction of carotenoids based on the bio-refinery concept using sunflower oil as an alternative solvent. *Ultrasonics sonochemistry*. 2013. vol. 20. no. 1. pp. 12–18.

9 Haas M. J. et al. A Simple Standardization Method for the Biodiesel Cold Soak Filtration Apparatus. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 2015. vol. 92. no. 9. pp. 1357–1363.

10 Pal U. S. et al. Effect of refining on quality and composition of sunflower oil. *Journal of food science and technology*. 2015. vol. 52. no. 7. pp. 4613–4618.

11 Chavan A. P., Gogate P. R. Ultrasound assisted synthesis of epoxidized sunflower oil and application as plasticizer. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*. 2015. vol. 21. pp. 842–850.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Сергей А. Бредихин д.т.н., зав. кафедрой, кафедра Процессы и аппараты перерабатывающих производств, Российский государственный аграрный университет МСХА имени К.А. Тимирязева, ул. Тимирязевская, 49, г. Москва, 127550, Россия, Bredihin2006@yandex.ru

Феликс Я. Рудик д.т.н., профессор, кафедра Технология продуктов питания, Саратовский государственного аграрный университет имени Н.И. Вавилова, Театральная площадь, 1, г. Саратов, 410012, Россия

Мадина С. Тулиева старший преподаватель, кафедра Технология переработки пищевых продуктов, Западно-Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангир хана, улица Жангир хана, 51, г. Уральск, Казахстан, madina81@mail.ru

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Sergey A. Bredikhin doctor of technical sciences, head of department, Processes and apparatus of processing industries department, Russian state agricultural university named after K.A. Timiryazev, Timiryazevskaya St. 49, Moscow, 127550, Russia, Bredihin2006@yandex.ru

Felix Y. Rudik doctor of technical sciences, professor, food technology department, Saratov state agrarian University named after N.I. Vavilov, Theatre square, 1, Saratov, 410012, Russia

Madina S. Tuliyeva senior lecturer, Technology of processing of food products department, West Kazakhstan agrarian technical University named after Zhangir Khan, Zhangir Khan street, 51, Uralsk, Kazakhstan, madina81@mail.ru

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

CONTRIBUTION

All authors equally took part in writing the manuscript and are responsible for plagiarism

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

ПОСТУПИЛА 27.12.2016

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 01.02.2017

RECEIVED 12.27.2016

ACCEPTED 2.1.2017