

Закономерности фильтрования подсолнечного масла с применением 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

Реферат. Осадок в подсолнечном масле представляет собой дисперсную фазу, состоящую из механических включений продуктов измельчения семян подсолнечника в виде частиц мезги, жмыха, шрота, остаточных количеств металлов, пестицидов. В процессе переработки они находятся в масле во взвешенном состоянии и отрицательно влияют на его качество. Объектом исследования служило нерафинированное подсолнечное масло после 3 мес. хранения, произведённого по общепринятой схеме: прессование–осаждение–центрифугирование. Для проведения исследований разработана экспериментальная установка, позволяющая изменять угол наклона фильтрующего элемента. Определены закономерности фильтрования без предварительной очистки подсолнечного масла центрифугированием и после центрифугирования. Установлено, загрязнённость отцентрифугированного масла в начальный период в 14,6 раза ниже. После 10 мин обработки она снижается на 62%, после 20 мин – на 79,4%. При 30-минутной обработке частицы размером 0,005–0,1 мм удаляются до 90%, что по показателю загрязнённости приближено рафинированным маслам. Показано влияние виброакустического воздействия на подсолнечное масло при его фильтровании. На последнем этапе производства показатель перекисного числа снижается до 2–3 моль активного кислорода, а после 3-месячного хранения – с 11,8 до 7,7, что по ГОСТ соответствует маслу высшего сорта. Получены данные по изменению качественных показателей подсолнечного масла при его фильтровании в поле виброакустического воздействия.

Ключевые слова: подсолнечное масло, очистка, фильтрование, скорость фильтрации, виброакустическое воздействие, концентрация антиоксидантов

Regularities of filtration of sunflower oil with the use of vibroacoustic exposure

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 Zhangir Khan, Zhangir Khan street, 51, Uralsk, Kazakhstan

Summary. The residue in sunflower oil is a dispersed phase consisting of particulate products grinding sunflower seeds in the form of particles of the pulp, oil cake, meal, residual quantities of metals, pesticides. In the recycling process they are in the oil in suspension and negatively affect its quality. For research an experimental setup was developed allowing to change the angle of inclination of the filter element. The regularities of filtration were determined without preliminary purification of sunflower oil by centrifugation and after centrifugation. It is established, the contamination of centrifuged oil in the initial period is 14.6 times lower. After 10 minutes of treatment, it decreases by 62%, after 20 minutes – by 79.4%. With a 30-minute treatment, particles of 0.005-0.1 mm in size are removed to 90%, which is approximated to the refined oil in terms of contamination. The influence of vibration-acoustic action on sunflower oil during its filtration is shown. At the last stage of production, the peroxide index is reduced to 2-3 moles of active oxygen, and after 3 months of storage – from 11.8 to 7.7, which according to GOST corresponds to the highest-grade oil. The regularities of the filtration without pre-treatment of sunflower oil by centrifugation and after centrifugation. Shows the effect of vibroacoustic exposure on sunflower oil when filtering. The obtained data on the change of qualitative parameters of sunflower oil during its filtration in the field of vibroacoustic impact.

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

Введение

Фильтрование подсолнечного масла применяют с целью его очистки. Все примеси, находящиеся в объёме масла во взвешенном состоянии, с течением времени оседают. При этом нежировые примеси в процессе фильтрации масла коагулируют и под действием силы тяжести оседают в виде суспензии на фильтрующий элемент и закупоривают его

поры и устья. Проницаемость фильтра уменьшается, соответственно уменьшается скорость фильтрации [1–3].

Для определения закономерностей фильтрования подсолнечного масла с применением виброакустического воздействия был проведён комплекс исследований на разработанной экспериментальной установке, схема которой приведена на рисунке 1.

Для цитирования

Бредихин С.А., Рудик Ф.Я., Тулиева М.С. Закономерности фильтрования подсолнечного масла с применением виброакустического воздействия // Вестник ВГУИТ. 2017. Т. 79. № 1. С. 68–72. doi:10.20914/2310-1202-2017-1-68-72

For citation

Bredihin S.A., Rudik F.Ja., Tuliyeva M.S. Regularities of filtration of sunflower oil with the use of vibroacoustic exposure. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2017. Vol. 79. no. 1. pp. 68–72. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2017-1-68-72

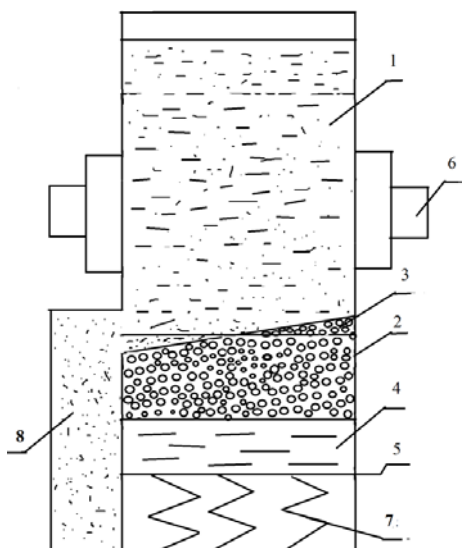


Рисунок 1. Схема экспериментальной установки: 1 – ёмкость с маслом; 2 – картридж с адсорбентом; 3 – фильтрующий элемент; 4 – очищенное масло; 5 – сливной патрубком; 6 – ультразвуковой возбудитель; 7 – вибрационный механизм; 8 – ёмкость-отстойник

Figure 1. Scheme of the experimental installation: 1 – container of oil 2 – cartridge adsorbent; 3 – filter wall; 4 – refined oil; 5 – drain pipe; 6 – ultrasonic exciter; 7 – vibration mechanism; 8 – tank-septic tank

Объектом исследования служило нерафинированное подсолнечное масло после 3 месяцев хранения, произведённого по общепринятой схеме: прессование–осаждение–центрифугирование. Объём масла в ёмкости составлял $0,02 \text{ м}^3$. Изменение продолжительности перетекания масла сквозь адсорбент фиксировали замерами его объёма в единицу времени. Количество постоянно перетекающего масла на начальный период устанавливали равным $0,28 \text{ м}^3/\text{с}$ регулируемой расхода сливным патрубком.

В качестве фильтрующего элемента использовали минеральные материалы доломит и опоку фракцией до 10 мм просушенные и прокаленные соответственно при температуре $500 \text{ }^\circ\text{C}$ и $200 \text{ }^\circ\text{C}$ в соотношении – 50:50%, которые служили также сорбентом.

Осадок в масле представлял собой дисперсную фазу, состоящую из механических включений продуктов измельчения семян в виде частиц мезги, жмыха, шрота, остаточных количеств металлов, пестицидов. В процессе переработки они находятся в масле во взвешенном состоянии и в течение всего периода хранения коагулируют и под действием силы оседают на дне ёмкости. Их нахождение в масле нежелательно по двум причинам. Во-первых, они являются дополнительными очагами окислительных процессов в масле и ведут к его ферментации, во-вторых, ухудшают потребительские свойства товарной продукции [4–6].

Для связи с редакцией: post@vestnik-vsuet.ru

Весь осадок, имеющий твёрдую структуру, адгезирует в поверхность фильтрационной перегородки и задерживается в адсорбенте. Это является положительным явлением, так как масло тщательно очищается от загрязняющих составляющих, но при этом отрицательным является то, что они закупоривают проход масла сквозь поры и устья адсорбента. На рисунке 2 представлены данные по концентрации загрязнений в масле после их производства. Для очистки фильтрованием с наложением ультразвуковых колебаний использовали масло после его центрифугирования и без центрифугирования.

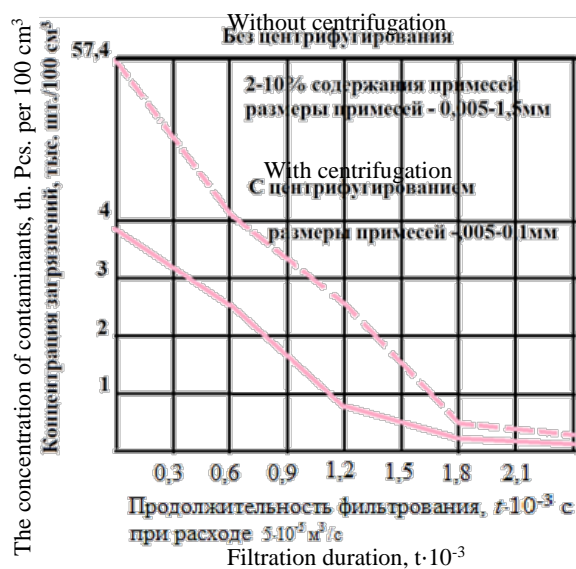


Рисунок 2. Зависимость концентрации загрязнений в масле от продолжительности фильтрации при расходе $5,83 \text{ м}^3/\text{с}$

Figure 2. Dependence of the concentration of pollutants the oil length of filtration at the flow of $5.83 \text{ м}^3/\text{s}$

Высокая результативность обработки ультразвуком наблюдалась у поверхности раздела двух фаз, где активизировался процесс диспергирования твёрдых включений в жидкой фазе и происходило эмульгирование жировых включений, выпадающих также в виде осадка.

Концентрация загрязняющих частиц в масле в начальный период без центрифугирования составляет 57,4 тыс. шт. в объёме $0,1 \text{ м}^3$. В последующем, по мере увеличения времени очистки этот показатель снижается, что можно объяснить активизацией процесса осаждения частиц с большой массой и, соответственно, большей гравитационной силой. Уже к 10 мин обработки он достигает 4,01 тыс. шт./ $0,1 \text{ м}^3$, что соответствовало качественным показателям масла после центрифугирования, а через 30–40 мин обработки масло имело требуемые значения.

При этом следует указать, что очистка масла без центрифугирования в недопустима, во-первых, по причине интенсивного загрязнения поверхности фильтрационной перегородки крупными твёрдыми частицами и, во-вторых, из-за снижения проницаемости.

Загрязнённость отцентрифугированного масла в начальный период в 14,6 раза ниже. Уже после 10 мин обработки она снижается на 62%, после 20 мин – на 79,4%. При 30-минутной обработке частицы размером 0,005–0,1 мм удаляются до 90%, что по показателю загрязнённости приближено рафинированным маслам.

Полученные данные позволяют принять рациональным режимом 30–40-минутную обработки масла при установленных акустических и вибрационных параметрах.

Определены закономерности изменения параметров фильтрации при ультразвуковом и ультразвукововибрационном воздействии с горизонтально расположенной поверхностью фильтрующего элемента и его наклоном к горизонтали под углом 10° и 15°.

Скорость фильтрации характеризуется количеством масла, проникающего сквозь фильтрующий элемент адсорбент в установленный период [7–10]. Данные исследования позволили получить сравнительную картину осаждения и адгезии в фильтрующую перегородку нежировых примесей. Необработанные сырые и нерафинированные подсолнечные масла содержат более 2% общих примесей, в той или иной мере включающих в себя мезгу, жмых, шрот, мыла, воска, следовые количества металлов, пестицидов, пигментов и других веществ, ведущих к активизации процесса окисления и ферментации.

Все примеси в виде частиц дисперсной фазы имеют размеры от 0,005 до 1,5 мм и плотность 1100–1400 кг/м³ при плотности масла 920 кг/м³. В результате виброакустического воздействия в экспериментальной установке наблюдается коагуляция частиц и их осаждение на фильтрационном элементе. Зависимость скорости фильтрации от продолжительности при воздействии на картридж представлена на рисунке 3.

Скорость фильтрации масла при его очистке только в акустическом потоке с горизонтально расположенным картриджем замедляется уже в первые 2-часовые циклы исследования на 18%, в последующем, уже к 8 ч работы установки она снижается с $2,8 \cdot 10^{-4}$ до $0,3 \cdot 10^{-4}$ м³/с. Качество очистки не ухудшается, но произво-

дительность уменьшается на 90%. При виброакустическом воздействии на очищаемое масло концентрация загрязнения поверхности картриджа при его горизонтальном расположении уменьшается. Так после 2-часового цикла она уменьшается на 5,6% и при дальнейшей обработке концентрация загрязнения поверхности картриджа снижается. Следует отметить, что производительность установки уменьшается при этом вдвое, но проницаемость фильтрующего элемента значительно выше, чем при использовании только акустических потоков.

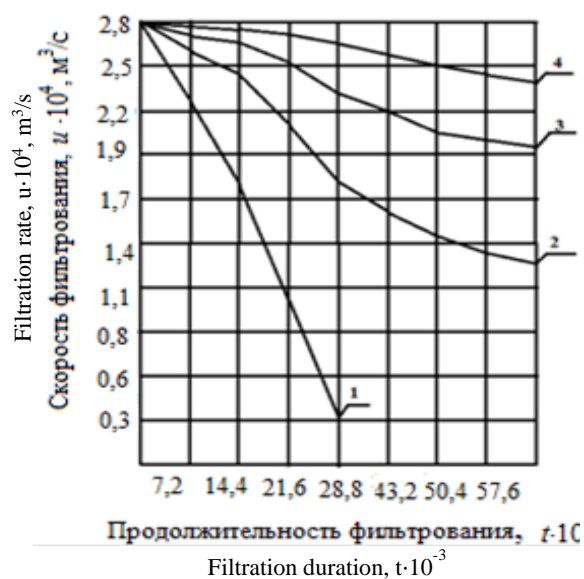


Рисунок 3. Зависимость скорости фильтрации от продолжительности при воздействии на картридж: 1 – ультразвуковом; 2 – виброакустическом; 3 – виброакустическом с углом наклона картриджа 10°; 4 – виброакустическом с углом наклона картриджа 15°

Figure 3. Dependence of the filter length when exposed to the print cartridge: 1 – ultrasound; 2 – for; 3 – vibroacoustic angle of the cartridge 10°; 4 – vibroacoustic angle of the cartridge 15°

Исследованиями установлена необходимость создания направленных продольных акустических микропотоков и поперечных вибрационных пульсирующих колебаний. Кроме этого определена возможность удаления осадка по наклонно установленному картриджу. Исследована скорость фильтрации подсолнечного масла в диапазоне угла наклона картриджа – 12°...15°.

После 16-часового цикла работы установки скорость фильтрации подсолнечного масла снижается при угле наклона 10° на 29%, а при 15° – на 13%. Однако, эти показатели вполне удовлетворяли поставленным целям обеспечения высокой производительности установки.

Изучено изменение кислотности и концентрации антиоксидантов в сырых и нерафинированных подсолнечных маслах сразу после их производства, хранения и регенерации (рисунок 4). Наличие в масле свободных жирных кислот обусловлено технологией его производства и очистки.

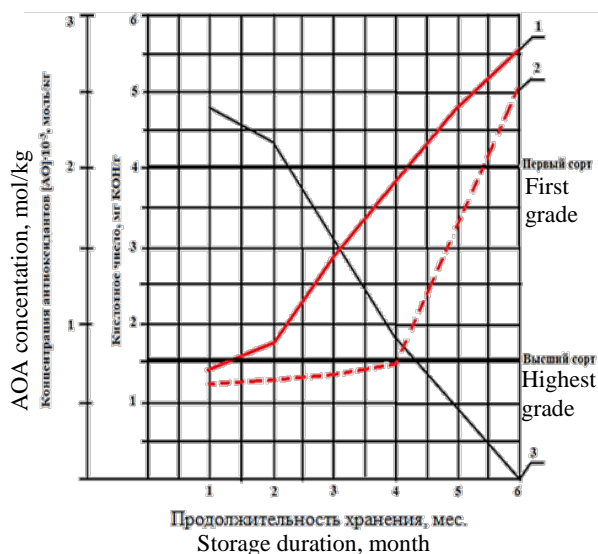


Рисунок 4. Зависимость изменения кислотного числа и концентрации антиоксидантов от продолжительности хранения: 1 – кислотное число масла, произведённого без виброакустической фильтрации; 2 – кислотное число масла, произведённого с виброакустической фильтрацией; 3 – снижение концентрации антиоксидантов при хранении

Figure 4. Dependence of the acid number and concentration of antioxidants from the duration of storage: 1 – acid number of oil to be produced without the acoustic filter; 2 – the acid number of the oil, produced with vibro-acoustic filtering; 3 – reduction in the concentration of antioxidants during storage

При хранении очищенного подсолнечного масла произведённого без виброакустической фильтрации (кривая 1 рисунок 4) идёт инициирование цепной свободнорадикальной реакции. Интенсивность окисления к 3-му месяцу хранения достигает 52,6%, а к 4-месячному хранения она находится на рубеже выхода из показателей 1-го сорта масла, после чего его употребление в пищевых целях, не допускается.

Аналогично повышению кислотного числа при хранении снижается концентрация антиоксидантов, призванных препятствовать окислительному процессу (кривая 3 рисунок 4). Если на момент производства масла окислительная стойкость свободных жирных кислот

была на достаточном для высшего сорта уровне, составляющем $2,21[AO] \cdot 10^{-3}$ моль/кг и интенсивность снижения в период инициирования свободнорадикальной реакции не превышала 6% к 2 месяцам хранения, то уже к 3-му месяцу хранения концентрация антиоксидантов снизилась до $1,52[AO] \cdot 10^{-3}$ моль/кг. Это соответствует 32%-му изменению концентрации антиоксидантов и свидетельствует об активизации процесса окисления в условиях разветвления цепной свободнорадикальной реакции.

В дальнейшем, по мере увеличения срока хранения, концентрация антиоксидантов значительно снижается: к 4 месяцам хранения на 62%, к 5 месяцам – на 96%, а к 6 месяцам она доходит до нулевого состояния.

Данные показывают, что с увеличением срока хранения сырые и нерафинированные подсолнечные масла подвергаются интенсивному окислению и после 4-месячного хранения они выходят за пределы 1-го сорта и в соответствии с требованиями ГОСТ могут быть использованы только в технических целях.

Заключение

Проведённые исследования подтверждают целесообразность применения виброакустического воздействия фильтрации масла, как последней операции в производстве. Показатель перекисного числа при этом снижается до 2–3 моль активного кислорода, после 3-месячного хранения – с 11,8 до 7,7, что по ГОСТ соответствует маслу высшего сорта. После 5-месячного хранения, перекисное число достигает 12,7 моль активного кислорода, что соответствует маслу для промышленной переработки. После очистки масло достигает уровня первого сорта – 8,3 моль активного кислорода.

Если при регенерации масла все показатели кислотного, перекисного, анизидинового и цветного чисел можно снизить и использование масла возобновить, то токоферол – основной антиоксидант – не возобновляем. При окислении масла уже после шести месяцев хранения этот показатель достигает нулевого значения.

При очистке масла в разработанной установке возможно снижение кислотного числа с максимально достигнутого при хранении уровня 5,5 мг КОН/г до уровня 1,5 мг КОН/г.

Установлено, что сырые и подсолнечные масла необходимо подвергать регенерации после трёх месяцев хранения.

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 Жеребятников В.Р., Лобичева Р.А., Люцин Ю.П. Фракционный состав механических примесей подсолнечного пресового масла до и после центрифуги НОГШ-325 // Труды ВНИИВИЖ. 1972. С. 60–63.
- 5 Рудик Ф. Я. Разработка технологии очистки подсолнечного масла на стадии его хранения // Хранение и переработка сельскохозяйственного сырья. 2009. № 3. С. 17–19.
- 6 Рудик Ф. Я., Моргунова Н. Л., Тулиева М. С. Приоритетные направления развития пищевой промышленности и производства растительных масел // Вестник Саратовского государственного аграрного университета. 2014. № 1. С. 87–89.
- 7 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.
- 8 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.
- 9 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.
- 10 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.

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 государственный 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

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

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

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 29.11.2016

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 23.01.2017

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. MG TU 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).
- 3 Bykovskii I. I. Osnovy teorii vibratsionnoi tekhniki. [Fundamentals of the theory of vibrating equipment.]. Moscow. Mashinostroenie 1968. 362 p. (in Russian).
- 4 Lyutsin Yu. P. Fractional composition of mechanical impurities sunflower oil press before and after the centrifuge NOGS-325. *Trudy VNIIVIZh* [Proceedings of UNIVEG]. 1972. no. 29. pp. 60–63. (in Russian).
- 5 Rudik F. Ya. Development of technology of purification of sunflower oil during its storage. *Khranenie i pererabotka sel'skokhozyr'ya* [Storage and processing of Selskaya]. 2009. no. 3. pp. 17–19. (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 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.
- 8 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.
- 9 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.
- 10 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.

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. Tulyeva 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

CONTRIBUTION

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

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 11.29.2016

ACCEPTED 1.23.2017