

Оптимизация процесса производства соевого масла

Екатерина Ю. Желтоухова	¹	katsturova@gmail.com	 0000-0002-7463-9013
Наталья Л. Клейменова	¹	klesha78@list.ru	 0000-0002-1462-4055
Мария А. Болгова	¹	14bolgova.masha9@gmail.com	 0000-0001-7464-3883
Маргарита А. Лесняк	²	lesnyak.rita@mail.ru	 0000-0003-3504-1702
Полина А. Тронза	³	tronza0207@yandex.ru	 0000-0002-4583-1276

¹ Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

Аннотация. Для производства соевого масла используется технология прямой экстракции нефрасом с дальнейшим очищением мисцеллы от растворителя и кислотной гидратацией (лимонной кислотой). Мисцелла очищается от растворителя посредством прохождения через целый ряд теплообменных аппаратов и дистилляторов. Окончательный дистиллятор представляет собой 2х-ступенчатый дистилляционный аппарат, работающий при абсолютном давлении примерно 400 мбар. Существенные недостатки данных установок является нерациональное использование пара и его тепла, возможность перегрева готового продукта и ухудшение его качества, небольшая скорость протекания процесса, сложная конструкция и обслуживание. Для интенсификации процесса испарения растворителя из пленки мисцеллы в конструкции желобов в пленочной камере целесообразно установить цилиндрические или щелевые отверстия, через которые происходит образование свободно падающих струй мисцеллы последовательно с вышележащего витка желоба на плоскость нижележащего. При этом пленка мисцеллы, движущейся по желобу, имеет определенную гидродинамическую нестабильность в местах стока и падения струи на плоскость желоба. Непосредственно в струе жидкость, как правило, турбулизируется, а ламинарная пленка отсутствует. Указанный технический прием заметно интенсифицирует процесс дистилляции. Также для интенсификации следует установить аэрационную систему подачи острого пара, представлена трубчатым барботером. Применение трубчатых аэраторов позволяет достичь увеличения отношения аэрируемой площади к общей площади секции при использовании меньшего количества аэрационных элементов и сокращении длины трубопроводов (в среднем в 4 раза). Вследствие этого существенно сокращаются сроки и стоимость монтажа.

Ключевые слова: соя, соевое масло, шрот соевый, мисцелла, экстракция, нефрас

Optimization of the soybean oil production process

Ekaterina Yu. Zheltoukhova	¹	katsturova@gmail.com	 0000-0002-7463-9013
Natalia L. Kleimenova	¹	klesha78@list.ru	 0000-0002-1462-4055
Maria A. Bolgova	¹	14bolgova.masha9@gmail.com	 0000-0001-7464-3883
Margarita A. Lesnyak	²	lesnyak.rita@mail.ru	 0000-0003-3504-1702
Polina A. Tronza	³	tronza0207@yandex.ru	 0000-0002-4583-1276

¹ Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Abstract. The technology of direct extraction with nephras followed by the further miscella purification from the solvent and acid hydration (citric acid) is used to produce soybean oil. The miscella is cleared of solvent by passing through a range of heat exchangers and distillers. The final distillation unit is a 2-stage distillation apparatus operating at approximately absolute 400 mbar. A significant drawback of these installations is the irrational use of steam and its heat, the possibility of the finished product overheating and its quality deterioration, the process low speed, complex design and maintenance. To intensify the process of solvent evaporation from the miscella film in the structure of the troughs in the film chamber, it is advisable to install cylindrical or slotted holes through which free falling jets of miscella are formed sequentially from the overlying loop of the trough to the plane of the underlying one. In this case, the miscella film moving along the chute has a certain hydrodynamic instability at the points of flow and the fall of the jet on the plane of the chute. Directly in the jet, the liquid, as a rule, is turbulized, and there is no laminar film. This technique significantly intensifies the distillation process. An aeration system for supplying live steam, represented by a tubular bubbler, should be installed for intensification as well. The use of tubular aerators makes it possible to achieve an increase in the ratio of the aerated area to the total area of the section with the use of a smaller number of aeration elements and a reduction in the length of the pipelines (by 4 times on average). As a result, the time and cost of installation are reduced significantly.

Keywords: soybean, soybean oil, soybean meal, miscella, extraction, nefras

Введение

Основной целью работы является улучшение качественных показателей готового соевого масла благодаря внесению дополнительного сырья в рецептуру и введение нового оборудования, а также сокращение энергозатрат производства.

Соевое масло добывается из сои – однолетнего травянистого растения семейства бобовых. Соевое масло относится к жирным маслам семян,

состоящим из сложной смеси различных триглицеридов, фосфолипидов, некоторого количества свободных жирных кислот и разнообразных нежировых веществ. Органолептический метод используется для определения показателей качества соевого масла на основе осязания, зрения и обоняния. Точность и достоверность данной оценки напрямую зависит от навыков и квалификации анализатора, а также условий проведения анализа [1, 3].

Для цитирования

Желтоухова Е.Ю., Клейменова Н.Л., Болгова М.А., Лесняк М.А., Тронза П.А. Оптимизация процесса производства соевого масла // Вестник ВГУИТ. 2021. Т. 83. № 1. С. 78–85. doi:10.20914/2310-1202-2021-1-78-85

For citation

Zheltoukhova E.Yu., Kleimenova N.L., Bolgova M.A., Lesnyak M.A., Tronza P.A. Optimization of the soybean oil production process. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2021. vol. 83. no. 1. pp. 78–85. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2021-1-78-85

Материалы и методы

Семена сои поступают подаются на транспортер и норию. Из нории соя поступает в буферную емкость. В бункер сырье поступает через магнитный сепаратор. Очистка важна для получения высококачественной продукции. Сепаратор состоит из набора сит для разделения следующих фракций: грубая фракция, чистая фракция, мелкая фракция, сор и песок, проходит через нижнее сито. Очищенное сырье после сепаратора поднимается норией и через транспортер равномерно подается в нагреватель / кондиционер. Нагреватель является вертикальной башней, где материал медленно перемещается самотеком сверху вниз. Материал в конечном итоге кондиционируется и достигает температуры 65° – 70° С на выходе из кондиционера. В этой секции производится сушка сырья, дважды процесс дробления и дважды аспирация соевой оболочки. Материал с конвейера поступает на сушилку через питательный бункер и шлюзовой затвор. Сушилка кипящего слоя используется для поверхностной обработки сои. Сырье нагревается в ней горячим воздухом, подаваемым вентиляторами, и нагретым в нагревателе воздуха. Подготовленное сырье выгружается самотеком на дробильный вальцевый станок, где оно дробится на половинки и четвертинки. Смесь загружается в первичный мульти-аспиратор через питатели. Оболочка аспирируется воздушным вентилятором. Оболочка и увлеченное ядро отделяются от воздуха в циклоне и через шлюзовой затвор подаются в транспортер. Дробленка после первичного обрушивания поступает на дробильный вальцевый станок самотеком, где она дробится на кусочки. Дробленое ядро после вторичного обрушивания подается в секцию лепесткования. Оболочка с примесью частиц ядра транспортируется в сепаратор оболочки. Установка оборудована вибрационными ситами с разным размером отверстий для отделения трех фракций продукта. Дробленое ядро после мульти-аспираторов перемещается в секцию лепесткования. Оболочка аспирируется потоком воздуха из вентилятора, отделяется в циклоне. Из бункера оболочка подается через питатель на молотковую дробилку для измельчения. Измельченная оболочка после дробилки за счёт разряжения, создаваемого вентилятором поступает в фильтр-циклон откуда шнековым конвейером и скребковым и норией подается в емкость. В кондиционере-смесителе продукт подготавливается для последующего гранулирования. Кондиционирование включает

в себя увлажнение, за счет подачи в сырьё воды и(или) пара. Подготовленный продукт при помощи подающего шнека подаётся в камеру прессования гранулятора. Пресс-гранулятор предназначен для гранулирования измельченной соевой оболочки перед отгрузкой ее потребителю. Прессование производится путем продавливания материала с помощью валков, установленных на эксцентричном валу, через матрицу пресс-гранулятора. Гранулированный материал, выходящий из матрицы, срезается двумя регулируемые ножами и по самотеку поступает далее в осушитель. Вертикальный противоточный осушитель предназначен для снижения влажности гранул перед охлаждением. Сушка гранулированной соевой оболочки осуществляется потоком воздуха, создаваемым вентилятором. Гранулы из охладителей подаются в транспортер и далее норией, скребковыми транспортерами и в отгрузочный бункер. Теплые, размягченные частицы ядра, собранные транспортером направляются в плющильные вальцевые станки. Плющильные вальцевые станки оснащены одной парой гладких валков большого диаметра, которые сплющивают дробленку в лепесток. Непрерывная экстракция растворителем (нефрасом) является самой современной технологией извлечения масла из масличных материалов. По сравнению с другими способами извлечения растительных масел, непрерывная экстракция обладает такими преимуществами, как малая трудоемкость, больший выход готовой продукции и низкая стоимость технического обслуживания и текущего ремонта, благодаря чему она стала обязательным условием экономического выживания в мире современной масложировой промышленности [2].

Материал, поступающий через питатель, постепенно заполняет ячейку экстрактора. Вместе с материалом, поступающим в ячейку экстрактора, подается мисцелла для создания пульпы. Непроницаемые перегородки барабана обеспечивают полное насыщение материала мисцеллой. Это минимизирует потерю времени при переходе между ступенями орошения и увеличивает время контакта. По мере движения, экстрагируемый материал орошается мисцеллой, подаваемой из разбрызгивателей, установленных по всему диаметру барабана. По мере вращения барабана, находящийся на нем соевый лепесток орошается мисцеллой убывающей концентрации, а из самого последнего разбрызгивателя подается чистый растворитель (нефрас), поступающий из водоотделителя. Приближаясь к концу процесса экстракции, экстрагируемый

материал освобождается от мисцеллы, которая стекает в последний поддон, и через выходное отверстие сбрасывается в разгрузочный бункер, откуда шнеком с регулируемой скоростью вращения подается в цепной транспортер и далее в секцию удаления растворителя из шрота.

Основной аппарат секции – десольвентизатор-тостер состоит из одиннадцати отделений, расположенных друг над другом, и условно делится на следующие отделения. В отделении десольвентизации и тостирования шрот кроме глухого пара, так же подвергается воздействию острого пара. Через отверстия пар проникает в массу шрота и равномерно распределяется в ней.

Температура повышается и поддерживается на уровне 105–107 °С. Далее пары из нижнего чана проникают через отверстия в днище верхнего чана, и проходят через находящийся в нем шрот, затем таким же образом проходят вышестоящие чаны. После этого пары из отделений отгонки растворителя проходят газоходы третьего, второго и первого чанов, не контактируя в них со шротом во избежание его переувлажнения, и в конечном итоге выводятся из тостера в скруббер [5].

Острый пар в чан вводится в слой материала противоходом его движению, т. е. снизу-вверх. Пар конденсируется в шроте, тем самым своим скрытым теплом испаряя смесь растворитель – вода.

Таблица 1.
Органолептические и физико-химические показатели соевого шрота [12]

Table 1.

Organoleptic and physical and chemical characteristics of soybean meal [12]

Наименование показателя Indicator name	Характеристика Characteristic	Показатели полученного образца шрота Indicators of the received meal sample
Цвет ГОСТ 13979.4 Color GOST 13979.4	От светло-желтого до светло-коричневого Light yellow to light brown	Желтый Yellow
Запах ГОСТ 13979.4 Odor GOST 13979.4	Свойственный соевому шроту без посторонних запахов (затхлого, плесневелого, гнилостного) Characteristic of soybean meal without foreign odors (musty, moldy, putrid)	Свойственный соевому шроту Peculiar to soybean meal
Массовая доля влаги и летучих веществ, %, не более ГОСТ Р 54705–2011 Mass fraction of moisture and volatile substances, %, not more than GOST R 54705–2011	12,0	10,3
Массовая доля сырого протеина в пересчете на абсолютно сухое вещество, %, не менее ГОСТ 51417 Mass fraction of crude protein in terms of absolutely dry matter, %, not less than GOST 51417	41	47,6
Массовая доля сырой клетчатки в пересчете на абсолютно сухое вещество, %, не более ГОСТ Р 52839 Mass fraction of crude fiber in terms of absolutely dry matter, %, not more than GOST R 52839	8,0	6,6
Массовая доля сырого жира в пересчете на абсолютно сухое вещество, %, не более ГОСТ 13496.15 Mass fraction of crude fat in terms of absolutely dry matter, %, not more than GOST 13496.15	2,0 – 4,0	3,9
Массовая доля золы в пересчете на абсолютно сухое вещество, не более ГОСТ 13979.6 Mass fraction of ash in terms of absolutely dry matter, not more than GOST 13979.6	1,5	1,1
Посторонние примеси (камешки, стекло, земля) по п. 7.5 ГОСТ Р 53799 Impurities (stones, glass, earth) according to clause 7.5 of GOST R 53799	Не допускается Not allowed	Не допускается Not allowed
Содержание нитратов, мг/кг, не более ГОСТ 13496.19 Nitrate content, mg / kg, not more than GOST 13496.19	200,0	
Содержание нитритов, мг/кг, не более ГОСТ 13496.19 Nitrite content, mg/kg, not more than GOST 13496.19	10,0	

В отделении окончательной отгонки растворителя и тостирования шрот подвергается тепловой обработке только посредством глухого пара. В отделении сушки шрота нагретый воздух поступает в воздушную камеру с перфорированным днищем для равномерного пропускания воздуха через шрот. Из воздушной камеры воздух равномерно поднимается через шрот со скоростью 18–20 м/мин, что обеспечивает образование «кипящего слоя» шрота. «Кипящий слой» оптимизирует забор влаги и тепла воздухом. В процессе сушки температура шрота падает приблизительно до 65 °С, а влажность опускается до значений на 1–2% выше нормы. В отделении охлаждения шрота материал продувается холодным воздухом таким же способом, как и в отделении сушки и выгружается через выпускной шлюзовый затвор в транспортер. Далее шрот, не содержащий растворителя, осушенный и охлажденный, направляется в склад хранения шрота. Органолептические и физико-химические показатели соевого шрота приведены в таблице 1 [12].

Секция дистилляции мисцеллы необходима для отгонки растворителя из мисцеллы для получения чистого масла. На всех стадиях процесс дистилляции ведется под вакуумом для облегчения отгонки растворителя и предотвращения окисления масла. Исходная мисцелла из емкости поступает в экономайзер, в котором из нее удаляется большая часть растворителя за счет тепла отходящих паров тостера. Испарение растворителя из мисцеллы проходит в восходящей пленке. Пары растворителя выводятся в систему конденсации, а мисцелла далее перекачивается в теплообменник. Теплообменник предназначен для нагрева мисцеллы путем рекуперации тепла масла, прошедшего дистилляцию. Мисцелла нагревается примерно до 75 °С, а сырое масло охлаждается со 100 до 70 °С. Далее мисцелла поступает в кожухотрубчатый теплообменник, где нагревается для компенсации потерь тепла после испарения растворителя на предыдущих стадиях дистилляции глухим паром. Мисцелла нагревается от 75 до 100 °С, а концентрация масла увеличивается с 70–90% до 95–97%. После масло, еще содержащее следы растворителя, поступает в выпариватель, являющийся расширительным баком над дистиллятором. В нем пары растворителя отделяются от мисцеллы, которая достигает концентрации 4–5% и нагревается до 100–105 °С.

Далее мисцелла направляется на окончательную дистилляцию. Окончательный дистиллятор является двухступенчатым аппаратом с сетчатыми тарелками.

Далее из окончательного дистиллятора масло перекачивается либо в секцию неполной кислотной гидратации, либо напрямую через теплообменник в осушитель масла, работающий под глубоким вакуумом, который поддерживается эжектором пара.

Обработанный пар от этого эжектора используется как барботажный пар в окончательном дистилляторе. Осушенное масло затем подается окончательный охладитель масла. Охладитель охлаждает масло, выходящее из осушителя от приблизительно 90 до 50 °С. Из дистиллятора масло перекачивается через теплообменник масло/мисцелла, где охлаждается от 100 °С до температуры приблизительно 70 °С. Из данной емкости через теплообменник масло поступает в статический смеситель, где смешивается с 30% раствором лимонной кислоты. Задачей смесителя является диспергирование раствора в фазу масла [7, 9].

Реактор оборудован медленно работающей мешалкой и внутренними перегородками для обеспечения стандартного времени реакции 25–30 мин. Оттуда смесь под давлением от насоса подается в смеситель. Масляно-водяная смесь поступает в сат-рационную колонну-реактор, где происходит дополнительный процесс образования в масле фосфатидных образований. Далее полученная смесь поступает через пластинчатый теплообменник в центробежный сепаратор. В сепараторе эмульсия под действием центробежных сил разделяется на две фазы:

- легкую, т. е. влажное гидратированное масло (влажность 0,3 – 0,4%)
- тяжелую, т. е. эмульсию, содержащую приблизительно 40–50% воды, 35%-40% лецитина и 15–20% масла.

Из сепаратора гидратированное масло через нагреватель попадает в осушитель. Осушенное масло направляется в баки хранения готового масла через пластинчатый охладитель, понижающий температуру масла примерно до 50 °С.

Воздух, насыщенный парами растворителя, удаляется из установки вентилятором, который как раз и выполняет функцию поддержания разрежения в установке [13–20].

Таблица 2.
Органолептические и физико-химические показатели гидратированного соевого масла [12]

Table 2.

Organoleptic and physicochemical characteristics of hydrated soybean oil [12]

Наименование, показателя, метод испытания Name, indicator, test method	Норма для масла соевого нерафинированного первого сорта Norm for unrefined soybean oil of the first grade	Показатели полученного образца Indicators of the received sample
Вкус и запах ГОСТ 5472 Taste and smell GOST 5472	Свойственные соевому маслу без постороннего запаха и привкуса Characteristic of soybean oil without foreign smell and taste	Свойственные соевому маслу без постороннего запаха и привкуса Characteristic of soybean oil without foreign smell and taste
Прозрачность, ГОСТ 5472, ГОСТ Р 52110, ГОСТ Р 54896 Transparency, GOST 5472, GOST R 52110, GOST R 54896	Допускается осадок и легкое помутнение Sediment and slight turbidity are allowed	Прозрачное Transparent
Кислотное число, мг KOH/г, не более Acid number, mg KOH / g, no more	4,0	3,59
Массовая доля фосфора, мг/кг, не более Mass fraction of phosphorus, mg / kg, no more	200	188
Массовая доля влаги и летучих веществ, %, не более ГОСТ 11812 Mass fraction of moisture and volatile substances, %, not more than GOST 11812	0,2	0,19
Массовая доля нежировых примесей, %, не более ГОСТ 5481 Mass fraction of non-fatty impurities, %, not more than GOST 5481	–	–
Температура вспышки экстракционного масла, °С, не ниже ГОСТ 9287 Flash point of extraction oil, °C, not lower than GOST 9287	225	234
Перекисное число, ммоль активного кислорода / кг не более ГОСТ Р 51487, ГОСТ Р 54896, ГОСТ Р 26593 Peroxide number, mmol of active oxygen / kg, no more GOST R 51487, GOST R 54896, GOST R 26593	10	7,1

Для извлечения растворителя из воздуха, выходящего из установки, между конденсатором и вентилятором устанавливается система масляной абсорбции. Воздух, освобожденный от паров растворителя, удаляется вентилятором в атмосферу. Минеральное масло, циркулируя в замкнутом контуре, откачивается насосом из абсорбера в рекуперационный теплообменник (масло-масло), где оно подвергается предварительному нагреву за счет уже прошедшего очистку масла из десорбера. Подогретое таким образом масло попадает затем в кожухотрубный подогреватель, где его температура доводится до +100 °С, и поступает в десорбер. В десорбере масло стекает в нижнюю часть через слой колец Палля, а ему навстречу снизу аппарата подается острый пар. Пары через каплеуловитель направляются в конденсатор, а очищенное минеральное масло поступает на охлаждение.

Очищенное от растворителя масло насосом прокачивается через пластинчатый теплообменник, где оно отдает избыточное тепло маслу. Охлажденное абсорбционное масло попадает в верхнюю часть абсорбера и таким образом замыкает контур. Растворитель подвозится автоцистерной на оборотное бензохранилище и в соответствии с нормами техники безопасности сливается в емкость для растворителя через сетчатый фильтр. Из емкости для растворителя растворитель (нефрас) насосом закачивается в водоотделитель. Избыток растворителя через переливную трубу возвращается. Для создания вакуума во всасывающей линии насосов, в первоначальный момент работы насосов, предусмотрена вакуумная линия к конденсатору. Экстракционное масло поступает в промежуточные емкости. Масло, температура вспышки которого соответствует нормативным требованиям, отгружается в емкость.

Обсуждение

В результате предложенной модернизации, органолептических и физико-химических показателей соевого масла достигли характеристик, отвечающих нормам действующих ГОСТ (таблица 2), а также, требованиям потребителей.

По физико-химическим показателям соевой шрот нормируются по следующим показателям: массовая доля влаги и летучих веществ, массовая доля сырого протеина в пересчете на абсолютно сухое вещество, массовая доля сырой клетчатки в пересчете на абсолютно сухое вещество, массовая доля сырого жира в пересчете на абсолютно сухое вещество, массовая доля золы в пересчете на абсолютно сухое вещество, посторонние примеси, содержание нитратов, содержание нитритов.

Для физико-химических показателей соевого масла нормируются: кислотное число, массовая доля фосфора, массовая доля влаги и летучих веществ, массовая доля нежировых примесей, температура вспышки экстракционного масла, а также перекисное число. Для производства соевого масла используется технологическая линия прямой экстракции нефрасом с дальнейшим очищением мисцеллы от растворителя и лимонной кислотой. Полученная мисцелла очищается от растворителя посредством прохождения через целый ряд теплообменных аппаратов и дистилляторов. Это позволяет рационально использовать пар и его тепло,

исключить перегрев готового продукта и улучшить его качества, а также облегчить конструкцию и обслуживание. Для интенсификации процесса испарения растворителя из пленки мисцеллы в конструкции желобов в пленочной камере устанавливаются цилиндрические или щелевые отверстия, через которые происходит образование свободно падающих струй мисцеллы последовательно с вышележащего витка желоба на плоскость нижележащего. При проведении данных анализов (таблицы 1,2) выявили, что длительность хранения контрольных экспериментальных образцов совпадает с длительностью хранения образцов соевого масла; при стабильной температуре хранения.

Заключение

По результатам работы удалось усовершенствовать настоящую линию производства соевого масла, т. к. проведенные органолептические и физико-химические показатели соевого шрота и гидратированного соевого масла показали улучшенные показатели и соответствие стандарту физико-химических. Для интенсификации предложенной технологии производства соевого масла следует установить аэрационную систему подачи острого пара, представлена трубчатым барботером. Используемые рубчатые аэраторы позволяют достичь увеличения отношения аэрируемой площади к общей площади секции при использовании меньшего количества аэрационных элементов и сокращении длины трубопроводов (в среднем в 4 раза).

Литература

- 1 Петибская В.С. Соя: Химический состав и использование. Майкоп: ОАО «Полиграф-ЮГ», 2012. 432 с.
- 2 Нечаев А.П. Пищевые продукты XXI века // Масла и жиры. 2011. № 1. С. 4–7
- 3 Liu F., Liu Y., Liu X., Shan L., Wang X. Preparation of deoiled soy lecithin by ultrafiltration // JAOCS. 2011. № 88. P. 1807–1812.
- 4 Соколовский С. Рынок сои РФ: тенденции и перспективы развития // Рынок сои и соевых шротов стран СНГ и Европы: II Международная конференция. Калининград, 2013.
- 5 Nahashon S.N., Kilonzo-Nthenge A.K. Advances in Soybean and Soybean by-products in monogastric nutrition and health // Soybean Nutr. 2011. P. 125–156.
- 6 ГОСТ Р 53799–2010. Шрот соевый кормовой тестированный. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2010. 12 с.
- 7 Cheng M.H., Rosentrater K.A. Economic feasibility analysis of soybean oil production by hexane extraction // Industrial crops and products. 2017. V. 108. P. 775–785. doi: 10.1016/j.indcrop.2017.07.036
- 8 Lei Z. et al. Preparation of soybean oil factory sludge catalyst and its application in selective catalytic oxidation denitration process // Journal of Cleaner Production. 2019. V. 225. P. 220–226. doi: 10.1016/j.jclepro.2019.03.254
- 9 Acik G. et al. Synthesis and properties of soybean oil-based biodegradable polyurethane films // Progress in Organic Coatings. 2018. V. 123. P. 261–266. doi: 10.1016/j.porgcoat.2018.07.020
- 10 Доморощенко М. Об изменениях в стандартизации соевого шрота // Комбикорма. 2012. № 1. С. 77–79.
- 11 Alqaisi O., Moraes L.E., Ndambi O.A., Williams R.B. Optimal dairy feed input selection under alternative feeds availability and relative prices // Information Processing in Agriculture. 2019. V. 6. №. 4. P. 438–453. doi: 10.1016/j.inpa.2019.03.004
- 12 Marono S., Loponte R., Lombardi P., Vassalotti G. et al. Productive performance and blood profiles of laying hens fed *Hermetia illucens* larvae meal as total replacement of soybean meal from 24 to 45 weeks of age // Poultry Science. 2017. V. 96. №. 6. P. 1783–1790. doi: 10.3382/ps/pew461
- 13 Miao S., Zhao C., Zhu J., Hu J. et al. Dietary soybean meal affects intestinal homeostasis by altering the microbiota, morphology and inflammatory cytokine gene expression in northern snakehead // Scientific reports. 2018. V. 8. №. 1. P. 1–10. doi: 10.1038/s41598-017-18430-7

- 14 Zhang Y., Chen S., Zong X., Wang C. et al. Peptides derived from fermented soybean meal suppresses intestinal inflammation and enhances epithelial barrier function in piglets // *Food and Agricultural Immunology*. 2020. V. 31. №. 1. P. 120-135. doi: 10.1080/09540105.2019.1705766
- 15 Shafaei S.M., Nourmohamadi-Moghadami A., Kamgar S., Eghtesad M. Development and validation of an integrated mechatronic apparatus for measurement of friction coefficients of agricultural products // *Information Processing in Agriculture*. 2020. V. 7. №. 1. P. 93-108. doi: 10.1016/j.inpa.2019.04.006
- 16 Spiller M., Muys M., Papini G., Sakarika M. et al. Environmental impact of microbial protein from potato wastewater as feed ingredient: Comparative consequential life cycle assessment of three production systems and soybean meal // *Water research*. 2020. V. 171. P. 115406. doi: 10.1016/j.watres.2019.115406
- 17 Wang Z., Li L., Yuan D., Zhao X. et al. Reduction of the allergenic protein in soybean meal by enzymatic hydrolysis // *Food and Agricultural Immunology*. 2014. V. 25. №. 3. P. 301-310. doi: 10.1080/09540105.2013.782268
- 18 Jazi V., Ashayerizadeh A., Toghyani M., Shabani A. et al. Fermented soybean meal exhibits probiotic properties when included in Japanese quail diet in replacement of soybean meal // *Poultry science*. 2018. V. 97. №. 6. P. 2113-2122. doi: 10.3382/ps/pey071
- 19 Dai C., Ma H., He R., Huang L. et al. Improvement of nutritional value and bioactivity of soybean meal by solid-state fermentation with *Bacillus subtilis* // *LWT*. 2017. V. 86. P. 1-7. doi: 10.1016/j.lwt.2017.07.041
- 20 Zhang Y., Shi C., Wang C., Lu Z. et al. Effect of soybean meal fermented with *Bacillus subtilis* BS12 on growth performance and small intestinal immune status of piglets // *Food and Agricultural Immunology*. 2018. V. 29. №. 1. P. 133-146. doi: 10.1080/09540105.2017.1360258

References

- 1 Petibskaya V.S. Soy: Chemical Composition and Uses. Maikop, JSC "Polygraph-Yug", 2012. 432 p. (in Russian).
- 2 Nechaev A.P. Food products of the XXI century. Oils and fats. 2011. no. 1. pp. 4–7. (in Russian).
- 3 Liu F., Liu Y., Liu X., Shan L., Wang X. Preparation of deoiled soy lecithin by ultrafiltration. *JAOCS*. 2011. no. 88. pp. 1807–1812.
- 4 Sokolovsky S. Russian soybean market: trends and development prospects. Soybean and soybean meal market of the CIS and Europe: II International conference. Kaliningrad, 2013. (in Russian).
- 5 Nahashon S.N., Kilonzo-Nthenge A.K. Advances in Soybean and Soybean by-products in monogastric nutrition and health. *Soybean Nutr.* 2011. pp. 125–156.
- 6 GOST R 53799–2010. Soybean meal tested. Technical conditions. Moscow, Standartinform, 2010. 12 p. (in Russian).
- 7 Cheng M.H., Rosentrater K.A. Economic feasibility analysis of soybean oil production by hexane extraction. *Industrial crops and products*. 2017. vol. 108. pp. 775-785. doi: 10.1016/j.indcrop.2017.07.036
- 8 Lei Z. et al. Preparation of soybean oil factory sludge catalyst and its application in selective catalytic oxidation denitration process. *Journal of Cleaner Production*. 2019. vol. 225. pp. 220-226. doi: 10.1016/j.jclepro.2019.03.254
- 9 Acik G. et al. Synthesis and properties of soybean oil-based biodegradable polyurethane films. *Progress in Organic Coatings*. 2018. vol. 123. pp. 261-266. doi: 10.1016/j.porgcoat.2018.07.020
- 10 Domoroshchenkova M. About changes in the standardization of soybean meal. *Compound feed*. 2012. no. 1. pp. 77–79. (in Russian).
- 11 Alqaisi O., Moraes L.E., Ndambi O.A., Williams R.B. Optimal dairy feed input selection under alternative feeds availability and relative prices. *Information Processing in Agriculture*. 2019. vol. 6. no. 4. pp. 438-453. doi: 10.1016/j.inpa.2019.03.004
- 12 Marono S., Loponte R., Lombardi P., Vassalotti G. et al. Productive performance and blood profiles of laying hens fed *Hermetia illucens* larvae meal as total replacement of soybean meal from 24 to 45 weeks of age. *Poultry Science*. 2017. vol. 96. no. 6. pp. 1783-1790. doi: 10.3382/ps/pew461
- 13 Miao S., Zhao C., Zhu J., Hu J. et al. Dietary soybean meal affects intestinal homeostasis by altering the microbiota, morphology and inflammatory cytokine gene expression in northern snakehead. *Scientific reports*. 2018. vol. 8. no. 1. pp. 1-10. doi: 10.1038/s41598-017-18430-7
- 14 Zhang Y., Chen S., Zong X., Wang C. et al. Peptides derived from fermented soybean meal suppresses intestinal inflammation and enhances epithelial barrier function in piglets. *Food and Agricultural Immunology*. 2020. vol. 31. no. 1. pp. 120-135. doi: 10.1080/09540105.2019.1705766
- 15 Shafaei S.M., Nourmohamadi-Moghadami A., Kamgar S., Eghtesad M. Development and validation of an integrated mechatronic apparatus for measurement of friction coefficients of agricultural products. *Information Processing in Agriculture*. 2020. vol. 7. no. 1. pp. 93-108. doi: 10.1016/j.inpa.2019.04.006
- 16 Spiller M., Muys M., Papini G., Sakarika M. et al. Environmental impact of microbial protein from potato wastewater as feed ingredient: Comparative consequential life cycle assessment of three production systems and soybean meal. *Water research*. 2020. vol. 171. pp. 115406. doi: 10.1016/j.watres.2019.115406
- 17 Wang Z., Li L., Yuan D., Zhao X. et al. Reduction of the allergenic protein in soybean meal by enzymatic hydrolysis. *Food and Agricultural Immunology*. 2014. vol. 25. no. 3. pp. 301-310. doi: 10.1080/09540105.2013.782268
- 18 Jazi V., Ashayerizadeh A., Toghyani M., Shabani A. et al. Fermented soybean meal exhibits probiotic properties when included in Japanese quail diet in replacement of soybean meal. *Poultry science*. 2018. vol. 97. no. 6. pp. 2113-2122. doi: 10.3382/ps/pey071
- 19 Dai C., Ma H., He R., Huang L. et al. Improvement of nutritional value and bioactivity of soybean meal by solid-state fermentation with *Bacillus subtilis*. *LWT*. 2017. vol. 86. pp. 1-7. doi: 10.1016/j.lwt.2017.07.041
- 20 Zhang Y., Shi C., Wang C., Lu Z. et al. Effect of soybean meal fermented with *Bacillus subtilis* BS12 on growth performance and small intestinal immune status of piglets. *Food and Agricultural Immunology*. 2018. vol. 29. no. 1. pp. 133-146. doi: 10.1080/09540105.2017.1360258

Сведения об авторах

Екатерина Ю. Желтоухова к.т.н., доцент, кафедра технологии жиров процессов и аппаратов химических и пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, katsturova@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-7463-9013>

Наталья Л. Клейменова к.т.н., доцент, кафедра управления качеством и технологии водных биоресурсов, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, klesha78@list.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-1462-4055>

Мария А. Болгова студент, кафедра технологии жиров процессов и аппаратов химических и пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, 14bolgova.masha9@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0001-7464-3883>

Мargarita A. Lesnyak студент, кафедра технологии жиров процессов и аппаратов химических и пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, lesnyak.rita@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-3504-1702>

Полина А. Тронза студент, кафедра технологии жиров процессов и аппаратов химических и пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, tronza0207@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-4583-1276>

Вклад авторов

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

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Ekaterina Yu. Zheltoukhova Cand. Sci. (Engin.), associate professor, fat, processes and devices of chemical and food industries depart, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, katsturova@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-7463-9013>

Natalia L. Kleimenova Cand. Sci. (Engin.), associate professor, quality management and technology of aquatic bioresources department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394066, Russia, klesha78@list.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-1462-4055>

Maria A. Bolgova student, fat, processes and devices of chemical and food industries department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394066, Russia, 14bolgova.masha9@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0001-7464-3883>

Margarita A. Lesnyak student, fat, processes and devices of chemical and food industries department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394066, Russia, lesnyak.rita@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-3504-1702>

Polina A. Tronza student, fat, processes and devices of chemical and food industries department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394066, Russia, tronza0207@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-4583-1276>

Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 22/01/2020	После редакции 17/02/2020	Принята в печать 03/03/2020
Received 22/01/2020	Accepted in revised 17/02/2020	Accepted 03/03/2020