Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2025-3-37-43 Выберите тип статьи.
УДК 665.939.14 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Исследование кинетических закономерностей процесса получения белков из шрота подсолнечника

Максим В. Копылов [1] kopylov-maks@yandex.ru 0000-0003-2678-2613
Анна А. Дерканосова [1] aa-derk@yandex.ru 0000-0002-9726-9262
Руслан У. Умарханов [1] rus_270487@mail.ru 0000-0001-5113-6096
Алексей А. Берестовой [1] berestovoy_1991@mail.ru 0000-0003-2255-9414
Алиса А. Торшина [1] alislis.tor@yandex.ru 0000-0003-3150-8686

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

Аннотация. Статья посвящена разработке и экспериментальному исследованию технологии комплексной переработки подсолнечного шрота с целью получения ценных белковых концентратов. Актуальность работы обусловлена необходимостью рационального и углубленного использования вторичных продуктов масложировой промышленности для создания пищевых и кормовых добавок с высокой питательной ценностью. В ходе исследования был апробирован многоступенчатый технологический процесс, включающий такие ключевые операции, как измельчение и фракционирование сырья, гидролиз, центрифугирование, баромембранное разделение и заключительное обезвоживание полученных фракций. Центральное место в работе уделено подбору оптимальных параметров баромембранного разделения. Были испытаны керамические и полимерные мембраны с различными размерами пор. Установлено, что полимерная мембрана (200 Да) задерживает весь белок, но не обеспечивает селективности, в то время как керамическая мембрана (1,4 мкм) пропускает свыше 60% целевого продукта. В результате комплексного анализа производительности и селективности оптимальной была признана керамическая мембрана с размером пор 0,14 мкм, 23 каналами и фильтрующей поверхностью 0,35 м². Второй важной частью работы стало исследование процесса сушки жидкого белкового концентрата на распылительной сушилке. Были определены рациональные режимы, обеспечивающие получение сухого сыпучего продукта с заданными качественными показателями. Наибольшая эффективность достигнута при использовании форсунки диаметром 2,0 мм, температуре теплоносителя на входе 384,3–390 К и на выходе 348,0–352,5 К, а также скорости подачи продукта 3,09–3,42 кг/ч. Это позволило получить готовый порошок светло-коричневого цвета с влажностью 6,48–6,83%. В результате работы была научно обоснована и экспериментально подтверждена эффективность предложенной технологии, определены оптимальные параметры ключевых стадий процесса, что позволяет рекомендовать ее для практической реализации в условиях перерабатывающих предприятий.

Ключевые слова: комплексная переработка, подсолнечный шрот, белковые фракции, баромембранное разделение, кинетические закономерности..

Investigation of kinetic patterns of the process of obtaining proteins from sunflower meal

Maxim V. Kopylov [1] kopylov-maks@yandex.ru 0000-0003-2678-2613
Anna A. Derkanosova [1] aa-derk@yandex.ru 0000-0002-9726-9262
Ruslan U. Umarkhanov [1] rus_270487@mail.ru 0000-0001-5113-6096
Alexey A. Berestovoy [1] berestovoy_1991@mail.ru 0000-0003-2255-9414
Alisa A. Torshina [1] alislis.tor@yandex.ru 0000-0003-3150-8686

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

Abstract. The article is devoted to the development and experimental research of the technology of complex processing of sunflower meal in order to obtain valuable protein concentrates. The relevance of the work is due to the need for rational and in-depth use of secondary products of the fat and oil industry to create food and feed additives with high nutritional value. During the research, a multi-stage technological process was tested, including such key operations as crushing and fractionation of raw materials, hydrolysis, centrifugation, baromembrane separation and final dehydration of the obtained fractions. The central place in the work is given to the selection of optimal parameters of baromembrane separation. Ceramic and polymer membranes with different pore sizes were tested. It was found that the polymer membrane (200 Da) retains the entire protein, but does not provide selectivity, while the ceramic membrane (1.4 microns) passes over 60% of the target product. As a result of a comprehensive analysis of performance and selectivity, a ceramic membrane with a pore size of 0.14 microns, 23 channels and a filter surface of 0.35 m2 was found to be optimal. The second important part of the work was the study of the drying process of liquid protein concentrate on a spray dryer. Rational modes have been identified to ensure the production of a dry bulk product with specified quality parameters. The highest efficiency was achieved using a 2.0 mm diameter nozzle, a coolant inlet temperature of 384.3–390 K and an outlet temperature of 348.0–352.5 K, and a product feed rate of 3.09–3.42 kg/h. This made it possible to obtain a ready-made powder of light brown color with a moisture content of 6.48–6.83%. As a result of the work, the effectiveness of the proposed technology was scientifically substantiated and experimentally confirmed, the optimal parameters of the key stages of the process were determined, which makes it possible to recommend it for practical implementation in the conditions of processing enterprises.

Keywords: complex processing, sunflower meal, protein fractions, baromembrane separation, kinetic patterns.

Для цитирования
Копылов М.В., Дерканосова А.А., Умарханов Р.У., БерестовоймА.А., Торшина А.А. Исследование кинетических закономерностей процесса получения белков из шрота подсолнечника // Вестник ВГУИТ. 2025. Т. 87. № 3. С. 37–43. doi:10.20914/2310-1202-2025-3-37-43

For citation
Kopylov M.V., Derkanosova A.A., Umarkhanov R.U., Berestovoy A.A., Torshina A.A. Investigation of kinetic patterns of the process of obtaining proteins from sunflower meal. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2025. vol. 87. no. 3. pp. 37–43. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2025-3-37-43

© 2025, Копылов М.В. и др. / Kopylov M.V. et al.
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

Растущий спрос на белок для пищевых и кормовых целей в условиях ограниченности ресурсов обуславливает активный поиск новых и рационализацию существующих источников его получения. Особое внимание уделяется полноценной переработке побочных продуктов агропромышленного комплекса, что позволяет повысить рентабельность основных производств и решить вопросы ресурсосбережения. Одним из таких перспективных источников являются шроты и жмыхи масличных культур, в частности, подсолнечника и рапса. Однако традиционные методы переработки данных продуктов не позволяют эффективно выделять и концентрировать белковые фракции, что приводит к их недоиспользованию и получению товаров с невысокой добавленной стоимостью.

Результаты и обсуждение

Технология комплексной переработки подсолнечного шрота включает следующие операции: измельчение и фракционирование шрота, гидролиз, центрифугирование, баромембранное разделение, обезвоживание белкового концентрата, обезвоживание углеводного комплекса.

Экспериментальные исследования по концентрированию белковых составляющих из подсолнечного шрота проводили с помощью баромембранной установки «ВОДОПАД УМТКп-1 (рисунок 1).

В ходе экспериментальных исследований были апробированы керамические мембраны («Tami») с размерами 1,4 мкм, 0,14 мкм, полимерные мембраны («Нанотех») с размерами пор 200 Да. Основными параметрами баромембранного разделения является размер пор, поддержание постоянной температуры продукта и давление в системе.

Было установлено, что керамическая мембрана с размерами пор 1,4 мкм улавливает только крупные фракции белков, которые составляют минимальное количество, при этом более 60 % белков уходит в пермеат. Полимерные мембраны с размерами пор 200 Да, улавливают весь белок и остальные мелкодисперстные, составляющие которые входят в состав субстрата. Установлено, что оптимальной мембраной для баромембранного разделения сыворотки являются керамические мембраны со следующими характеристиками: размер пор – 0,14 мкм, внешний диаметр мембраны – 25 мм, количество каналов – 23 шт., гидравлический диаметр канала – 3,5 мм, фильтрующая поверхность мембраны – 0,35 м^2.

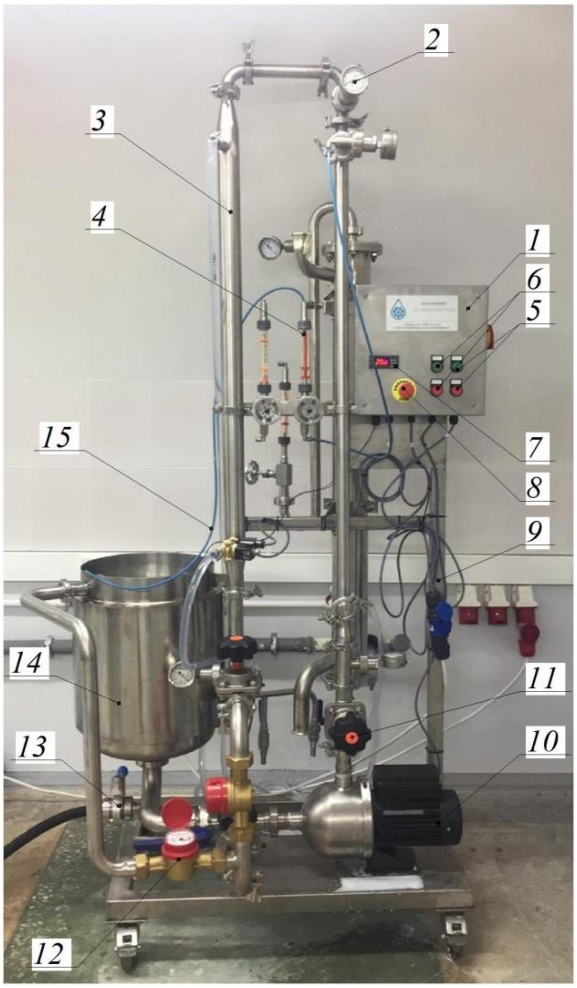


Рисунок 1. Баромембранная установка: 1 – щит управления, 2 – манометр, 3 – теплообменник, 4 – ротаметр, 5 – кнопки пуск/стоп электродвигателя, 6 – кнопки контроля датчика температуры, 7 – датчик контроля температуры, 8 – кнопка отключения установки, 9 – рама, 10 – насос, 11 – задвижка, 12 – расходомер, 13 – кран для слива концентрата, 14 – емкость, 15 – трубка для слива пермеата

Figure 1. Baromembrane installation: 1 – control panel, 2 – pressure gauge, 3 – heat exchanger, 4 – rotameter, 5 – start buttons/electric motor stop, 6 – temperature sensor control buttons, 7 – temperature control sensor, 8 – installation shutdown button, 9 - frame, 10 – pump, 11 – valve, 12 – flow meter, 13 – faucet for draining concentrate, 14 – container, 15 – permeate drain tube

На рисунок 2 представлены зависимости производительности мембранной установки (по фильтрату) от времени: 1 – керамическая, 1,4 мкм, 23 канала; 2 – керамическая, 0,14 мкм, 23 канала; 3 – керамическая, 0,14 мкм, 8 каналов; 4 – полисульфон, 200 Да.

Из полученных зависимостей видно, что наиболее эффективной мембраной для получения концентрата белков является керамическая мембрана с размером пор 0,14 мкм с числом каналов – 23 шт.

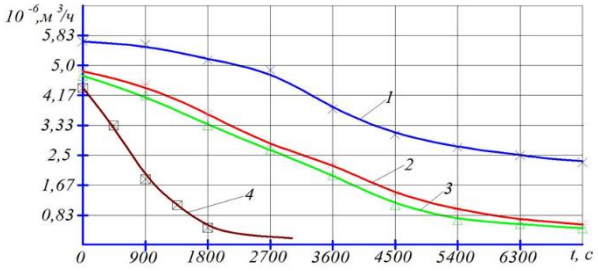


Рисунок 2. Зависимости производительности баромембранной установки (по фильтрату) от времени t, с

Figure 2. Dependences of the performance of the baromembrane installation (by filtrate) on time t, c

На рисунке 3 представлены зависимости проницаемости УФ мембран от давления (по фильтрату при Т = 293 К). У мембран, изготовленных из полисульфона с размером пор 200 Да, проницаемость мембран не превышает $15 \cdot 10^{-3}$ $м^3/м^2 \cdot ч$. При этом через керамическую мембрану с размером пор 1,4 мкм, проходит большое количество белков. Установлено, что оптимальной для фильтрования белков являются керамические мембраны с размером пор 0,14 мкм. Немаловажным показателем, влияющим на проницаемость мембран, является температура.

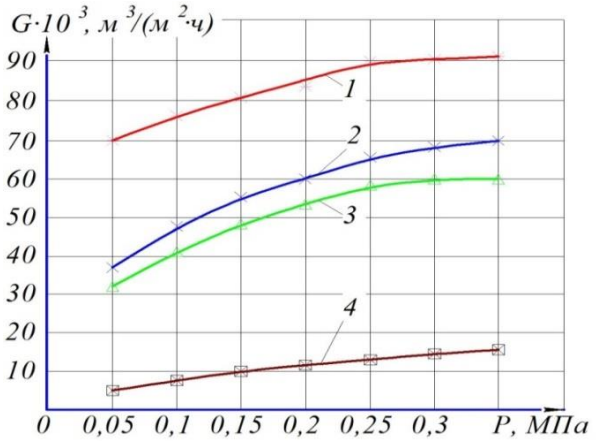


Рисунок 3. Зависимости проницаемости УФ мембран от давления (по фильтрату при Т = 293 К)

Figure 3. Dependence of the permeability of UV membranes on pressure (by filtrate at T = 293 K)

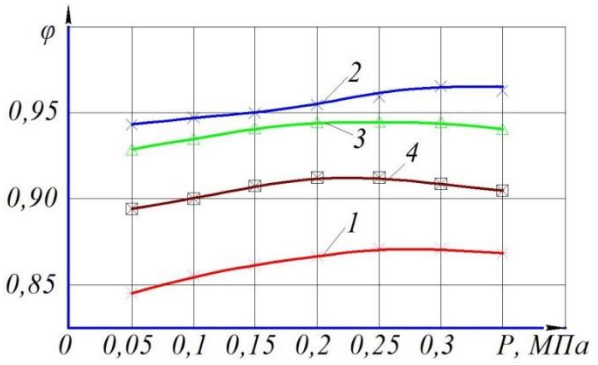


Рисунок 4. Зависимости селективности УФ мембран от давления (по фильтрату при Т = 293 К)

Figure 4. Dependence of the selectivity of UV membranes on pressure (by filtrate at T = 293 K)

Селективность мембраны – это заданное свойство мембраны, иметь различную проницаемость для компонентов разделяемой смеси. На рисунке 4 представлены зависимости селективности УФ мембран от давления (по фильтрату при Т = 293 К).

Экспериментальные исследования по сушке продукта на распылительной сушилке осуществлялись на установке YC-500 (рисунок 5), в состав которой входят форсунка 1, трубка подачи сжатого воздуха 2, сушильная камера 3, тумблер питания 4, сборник конденсата 5, приемная емкость 6, циклонный сепаратор 7, панель управления 8, перистальтический насос 9, трубка подачи продукта 10, трубка защиты системы от засорения 11, компрессор 12, отвод отработанного воздуха 13, смотровое окно 14.

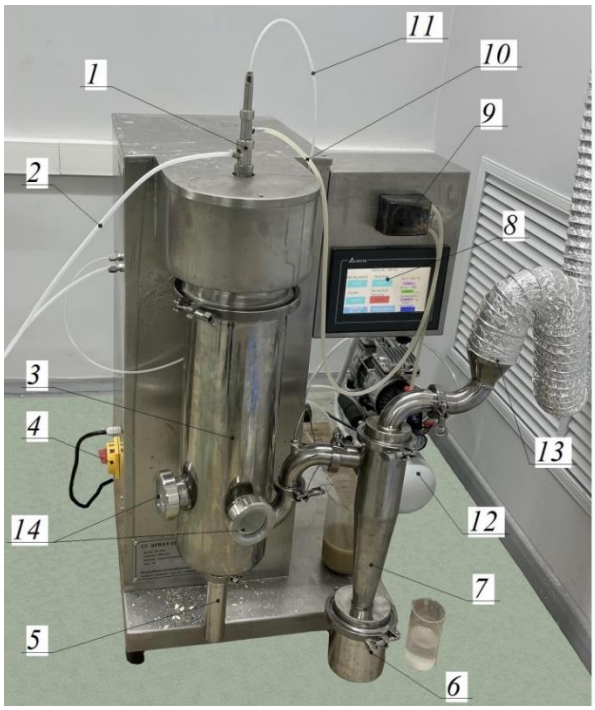


Рисунок 5. Распылительная сушилка YC-500: 1 – форсунка, 2 – трубка подачи сжатого воздуха, сушильная камера, 4 – тумблер питания, 5 – сборник конденсата, 6 – приемная емкость, 7 – циклонный сепаратор, 8 – панель управления, 9 – перистальтический насос, 10 – трубка подачи продукта, 11 – трубка защиты системы от засорения, 12 – компрессор, 13 – отвод отработанного воздуха, 14 – смотровое окно

Figure 5. Spray dryer YC-500: 1 – nozzle, 2 – compressed air supply tube, drying chamber, 4 – power switch, 5 – condensate collector, 6 – receiving tank, 7 – cyclone separator, 8 – control panel, 9 – peristaltic pump, 10 – product supply tube, 11 – protection tube anti–clogging systems, 12 – compressor, 13 – exhaust air outlet, 14 - viewing window

Подготовленный жидкий продукт подается насосом-дозатором в форсунку. Нагретый до необходимой температуры калорифером воздух при помощи вентилятора подается в сушильную камеру. Отделение высушенного порошка от транспортирующего воздуха осуществляется в циклоне, из которого он разгружается в сборную емкость. Кроме того, был использован отсасывающий вентилятор, в который отработанный воздух попадает по воздуховоду после циклона.

Из этой емкости жидкий продукт по продуктопроводу засасывается насосом-дозатором и подается в форсунку. Белковый концентрат распыляется потоком воздуха в сушильной камере и высушивается в потоке нагретого воздуха. Отработанный воздух из сушилки, содержащий мелкие частицы раствора, движется навстречу распыленному раствору. В результате взаимодействия воздуха и капель происходит испарение, а сухие частицы осаждаются из воздушного потока. Из-за развитой поверхности диспергированных частиц процесс протекает почти мгновенно, что позволяет использовать высокие температуры газа без ухудшения качества продукта. Сухой порошкообразный продукт оседает на дно сушильной камеры и непрерывно удаляется. По показаниям весов определяется производительность установки по подаваемому на сушку жидкому продукту.

В исследованиях контролировались следующие параметры:

– расход воздуха, подаваемого на сушку (измерялся соплом «четверть круга» с микроманометром ММН);

– расход воздуха на распыл продукта G_v (измерялся ротаметром РС-40);

– температура воздуха на входе в сушильную камеру t1 и температура отработанного воздуха t2 (измерялась термопарами).

Скорость воздуха рассчитывали, как отношение расхода воздуха в единицу времени к площади сечения сушильной камеры. При проведении экспериментов варьировались параметры распыла исходного продукта, температуру входящего и отработанного воздуха.

Исследования сушки проводились при следующих параметрах вибрации: амплитуда колебаний 9 мм, расход воздуха на сушку 330 нм^3/ч.

В результате проведенных экспериментов по сушке белкового концентрата были получены образцы сухого продукта на разных режимах (рисунок 6). Установлено, что из поставляемого комплекта форсунок: 0,5 мм, 0,8 мм, 1,0 мм, 1,5 мм и 2,0 мм высушить продукт получается только на форсунке с диаметром 2,0 мм.



Рисунок 6. Поучаемый готовый продукт на распылительной сушилке

Figure 6. The finished product being taught on a spray dryer

При этом даже этот диаметр форсунки не обеспечивает непрерывность процесса сушки и периодически форсунка забивается. Готовый продукт (рисунок 6) получается светло-коричневого цвета и влажность составляет 5-7 %.

Образец № 1. Влажность концентрата, подаваемого на сушку, – 88.91 % (определена на экспресс-влагомере «Сарториус»). Температура воздуха, подаваемого на сушку в сушильную камеру 371,6-373,8 К. Температура воздуха, выходящего из сушильной камеры 342,3-346,5 К. Подача жидкого продукта на сушку – 2,4-3,0 кг/ч. Влажность сухого продукта – 7,4 % (определена на экспресс-влагомере Сарториус)

Образец № 2. Влажность концентрата, подаваемого на сушку, 85,03 (определена на экспресс-влагомере «Сарториус»). Температура воздуха, подаваемого на сушку в сушильную камеру 384,3-390 К. Температура воздуха, выходящего из сушильной камеры 348,0-352,5 К. Подача жидкого продукта на сушку – 3,09-3,42 кг/ч. Влажность сухого продукта – 6,48-6,83 % (определена на экспресс-влагомере Сарториус).

Правильно подобранные параметры сушки позволяют получать качественный готовый продукт в сыпучем виде (рисунок 7).

На рисунках 7-8 представлены кинетические зависимости процесса сушки белкового концентрата на распылительной сушилке.

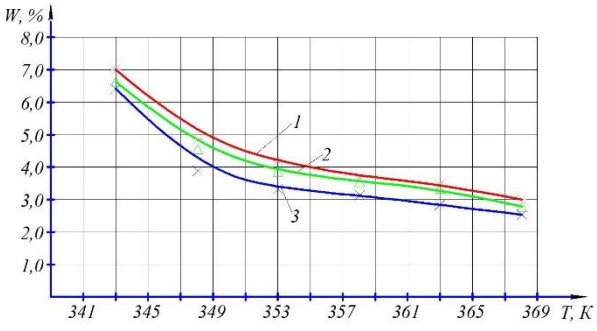


Рисунок 7. Зависимость влажности подсолнечного белка W, % от температуры Т, К при частоте вращения насоса 0,2 об/с: 1 – содержание СВ = 12,2 %; 2 – СВ = 13,7 %; 3 – СВ = 15,6 %

Figure 7. The dependence of the moisture content of sunflower protein W, % on the temperature T, K at a pump speed of 0.2 rpm: 1 – CB content = 12.2%; 2 – CB = 13.7%; 3 – CB = 15.6 %

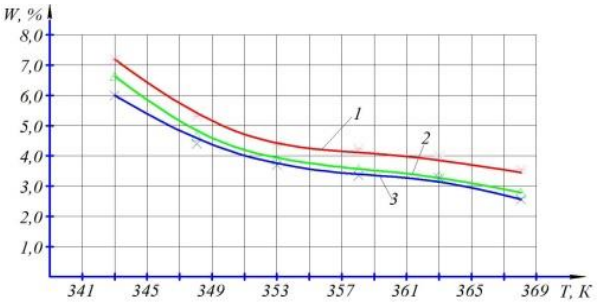


Рисунок 8. Зависимость влажности подсолнеччного белка W,% от температуры Т, К при содержании СВ = 13,4 % (частота вращения насоса: 1 – n = 0,15 об/с; 2 – n = 0,2 об/с; 3 – n = 0,25 об/с)

Figure 8. The dependence of the moisture content of sunflower protein W,% on the temperature T, K at the content CB = 13.4 % (pump rotation speed: 1 – n = 0.15 rpm; 2 – n = 0.2 rpm; 3 – n = 0.25 rpm)

Заключение

Установлено, что оптимальной мембраной для баромембранного разделения являются керамические мембраны со следующими характеристиками: размер пор – 0,14 мкм, внешний диаметр мембраны – 25 мм, количество каналов – 23 шт., гидравлический диаметр канала – 3,5 мм, фильтрующая поверхность мембраны – 0,35 м2. Выявлены кинетические зависимости процесса сушки белкового концентрата на распылительной сушилке, которые позволили определить рациональные параметры: влажность исходного концентрата 85,03, начальная температура теплоносителя 384,3-390 К, конечная температура отработанного воздуха 348,0-352,5 К, подача продукта 3,09-3,42 кг/ч, диаметр форсунки 2,0 мм, влажность сухого продукта – 6,48-6,83 %.

Благодарности

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-26-00391 «Получение светлых концентратов подсолнечного белка с использованием адсорбционных методов и сенсорным формированием органолептического профиля».

Литература

1 Мельникова Е.И., Станиславская Е.Б., Копылов М.В. и др. Получение и применение сухого микропартикулята сывороточных белков в технологии вареных колбас // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 1. С. 137–143.

2 Василенко Л.И., Мещерякова О.Л., Берестовой А.А. и др. Ферментативный гидролиз балластных полимеров с последующим получением концентратов белков методом ультрафильтрации // Технология органических веществ: мат. 87-й науч.-техн. конф. профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов (с междунар. участием). Минск, 2023. С. 441–444.

3 Доморощенкова М.Л., Иванова Т.Н., Петрова О.А. и др. Белковый потенциал семян подсолнечника. Исследования процессов получения пищевых белков из подсолнечного шрота // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института жиров. 2020. № 1-2. С. 24–29.

4 Щеколдина Т.В. Технологии получения белоксодержащего сырья из продуктов переработки семян подсолнечника // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2015. № 109. С. 360–378.

5 Романова А.Б., Самарина Е.А., Баурин Д.В. Получение белковых ферментолизатов шрота подсолнечника // Успехи в химии и химической технологии. 2013. Т. 27. № 9 (149). С. 11–14.

6 Шагинова Л.О., Семенова А.А., Козлова О.В. и др. Исследование процесса получения белкового препарата из семян подсолнечника для использования в пищевой промышленности // Новые технологии. 2021. № 3. С. 41–50.

7 Ivanova P., Petkov K., Koleva M. et al. Optimization of protein extraction from sunflower meal produced in Bulgaria // Bulgarian Journal of Agricultural Science. 2012. Vol. 18. № 2. P. 153–160.

8 Dabbour M., He R., Ma H. et al. Optimization of ultrasound assisted extraction of protein from sunflower meal and its physicochemical and functional properties // Journal of Food Process Engineering. 2018. Vol. 41. № 5. e12799. doi: 10.1111/jfpe.12799

9 Dabbour M., He R., Ma H. et al. Ultrasonic-assisted protein extraction from sunflower meal: Kinetic modeling, functional, and structural traits // Innovative Food Science & Emerging Technologies. 2021. Vol. 74. 102824. doi: 10.1016/j.ifset.2021.102824

10 Yust M.M., Pedroche J., Girón-Calle J. et al. Improvement of protein extraction from sunflower meal by hydrolysis with alcalase // Grasas y Aceites. 2003. Vol. 54. № 4. P. 419–423. doi: 10.3989/gya.2003.v54.i4.224

11 Richardson C.R., Hsu J.T., Hatfield E.E. et al. Sunflower meal as a protein supplement for growing ruminants // Journal of Animal Science. 1981. Vol. 53. № 3. P. 557–563. doi: 10.2527/jas1981.533557x

12 Nedelkov K.V. A new approach for processing and use of sunflower meal // Bulgarian Journal of Agricultural Science. 2023. Vol. 29. № 2. P. 245–252.

13 Wongsirichot P., Gonzalez-Miquel M., Winterburn J. Recent advances in rapeseed meal as alternative feedstock for industrial biotechnology // Biochemical Engineering Journal. 2022. Vol. 180. 108373. doi: 10.1016/j.bej.2022.108373

14 Gültekin Subaşı B., Casanova F., Capanoglu E. et al. A review on protein extracts from sunflower cake: Techno-functional properties and promising modification methods // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2022. Vol. 62. № 24. P. 6682–6697. doi: 10.1080/10408398.2021.1904823

15 Iegorov B., Kananykhina O., Turpurova T. Development of production technology of high-protein feed additive from by-products of sunflower oil production // Grain Products and Mixed Fodder's. 2022. Vol. 22. № 2. P. 17–23.

16 Тарасов В.Е., Коробко С.С. Использование вторичных ресурсов переработки семян подсолнечника для создания новых ПАВ натурального происхождения // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2021. Т. 83. № 2. С. 108–115. doi: 10.20914/2310-1202-2021-2-108-115

17 Гапонова Л.В., Гаврилова В.А., Демьяненко Т.Ф. и др. Подсолнечник и использование его в безотходной технологии переработки с целью производства продуктов лечебно-профилактического и детского питания // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2021. Т. 83. № 4. С. 181–189. doi: 10.20914/2310-1202-2021-4-181-189

18 Huang X., Li Z., Wang Y. et al. Structural, functional properties, and in vitro digestibility of sunflower protein concentrate as affected by extraction method: Isoelectric precipitation vs ultrafiltration // Food Chemistry. 2024. Vol. 439. 138090. doi: 10.1016/j.foodchem.2023.138090

19 Sentís-Moré P., Ortega-Olivé N., Mas-Capdevila A. et al. Impact of centrifugation and vacuum filtration step on the yield and molecular weight distribution of protein hydrolysates from rapeseed and sunflower meals // LWT - Food Science and Technology. 2022. Vol. 165. 113741. doi: 10.1016/j.lwt.2022.113741

20 Domorochshenkova M.L., Ivanova T.N., Petrova O.A. et al. Influence of the composition of sunflower meal on the efficiency of separating the protein part of the raw material from fiber by mechanical fractionation // Food Systems. 2024. Vol. 17. № 1. P. 3–13. doi: 10.21323/2618-9771-2024-17-1-3-13

References

1 Melnikova E.I., Stanislavskaya E.B., Kopylov M.V. et al. Production and application of dry whey protein microparticulate in cooked sausage technology. Bulletin of VSUET. 2024. vol. 86. no. 1. pp. 137–143. (in Russian)

2 Vasilenko L.I., Meshcheryakova O.L., Berestovoy A.A. et al. Enzymatic hydrolysis of ballast polymers with subsequent production of protein concentrates by ultrafiltration. Technology of organic substances: materials of the 87th scientific and technical conference of teaching staff, researchers and postgraduates (with international participation). Minsk, 2023. pp. 441–444. (in Russian)

3 Domoroshchenkova M.L., Ivanova T.N., Petrova O.A. et al. Protein potential of sunflower seeds. Studies of the processes of obtaining food proteins from sunflower meal. Bulletin of the All-Russian Research Institute of Fats. 2020. no. 1-2. pp. 24–29. (in Russian)

4 Shchekoldina T.V. Technologies for obtaining protein-containing raw materials from sunflower seed processing products. Polythematic network electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University. 2015. no. 109. pp. 360–378. (in Russian)

5 Romanova A.B., Samarina E.A., Baurin D.V. Production of protein enzymatic hydrolysates from sunflower meal. Advances in chemistry and chemical technology. 2013. vol. 27. no. 9(149). pp. 11–14. (in Russian)

6 Shaginova L.O., Semenova A.A., Kozlova O.V. et al. Study of the process of obtaining protein preparation from sunflower seeds for use in the food industry. New technologies. 2021. no. 3. pp. 41–50. (in Russian)

7 Ivanova P., Petkov K., Koleva M. et al. Optimization of protein extraction from sunflower meal produced in Bulgaria. Bulgarian Journal of Agricultural Science. 2012. vol. 18. no. 2. pp. 153–160.

8 Dabbour M., He R., Ma H. et al. Optimization of ultrasound assisted extraction of protein from sunflower meal and its physicochemical and functional properties. Journal of Food Process Engineering. 2018. vol. 41. no. 5. p. e12799. doi: 10.1111/jfpe.12799

9 Dabbour M., He R., Ma H. et al. Ultrasonic-assisted protein extraction from sunflower meal: Kinetic modeling, functional, and structural traits. Innovative Food Science & Emerging Technologies. 2021. vol. 74. p. 102824. doi: 10.1016/j.ifset.2021.102824

10 Yust M.M., Pedroche J., Girón-Calle J. et al. Improvement of protein extraction from sunflower meal by hydrolysis with alcalase. Grasas y Aceites. 2003. vol. 54. no. 4. pp. 419–423. doi: 10.3989/gya.2003.v54.i4.224

11 Richardson C.R., Hsu J.T., Hatfield E.E. et al. Sunflower meal as a protein supplement for growing ruminants. Journal of Animal Science. 1981. vol. 53. no. 3. pp. 557–563. doi: 10.2527/jas1981.533557x

12 Nedelkov K.V. A new approach for processing and use of sunflower meal. Bulgarian Journal of Agricultural Science. 2023. vol. 29. no. 2. pp. 245–252.

13 Wongsirichot P., Gonzalez-Miquel M., Winterburn J. Recent advances in rapeseed meal as alternative feedstock for industrial biotechnology. Biochemical Engineering Journal. 2022. vol. 180. p. 108373. doi: 10.1016/j.bej.2022.108373

14 Gültekin Subaşı B., Casanova F., Capanoglu E. et al. A review on protein extracts from sunflower cake: Techno-functional properties and promising modification methods. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2022. vol. 62. no. 24. pp. 6682–6697. doi: 10.1080/10408398.2021.1904823

15 Iegorov B., Kananykhina O., Turpurova T. Development of production technology of high-protein feed additive from by-products of sunflower oil production. Grain Products and Mixed Fodder's. 2022. vol. 22. no. 2. pp. 17–23.

16 Tarasov V.E., Korobko S.S. Use of secondary resources of sunflower seed processing for the creation of new natural surfactants. Bulletin of Voronezh State University of Engineering Technologies. 2021. vol. 83. no. 2. pp. 108–115. doi:10.20914/2310-1202-2021-2-108-115 (in Russian)

17 Gaponova L.V., Gavrilova V.A., Demyanenko T.F. et al. Sunflower and its use in waste-free processing technology for the production of therapeutic, prophylactic and baby food products. Bulletin of Voronezh State University of Engineering Technologies. 2021. vol. 83. no. 4. pp. 181–189. doi: 10.20914/2310-1202-2021-4-181-189 (in Russian)

18 Huang X., Li Z., Wang Y. et al. Structural, functional properties, and in vitro digestibility of sunflower protein concentrate as affected by extraction method: Isoelectric precipitation vs ultrafiltration. Food Chemistry. 2024. vol. 439. p. 138090. doi: 10.1016/j.foodchem.2023.138090

19 Sentís-Moré P., Ortega-Olivé N., Mas-Capdevila A. et al. Impact of centrifugation and vacuum filtration step on the yield and molecular weight distribution of protein hydrolysates from rapeseed and sunflower meals. LWT - Food Science and Technology. 2022. vol. 165. p. 113741. doi: 10.1016/j.lwt.2022.113741

20 Domorochshenkova M.L., Ivanova T.N., Petrova O.A. et al. Influence of the composition of sunflower meal on the efficiency of separating the protein part of the raw material from fiber by mechanical fractionation. Food Systems. 2024. vol. 17. no. 1. pp. 3–13. doi: 10.21323/2618-9771-2024-17-1-3-13

Сведения об авторах

Максим В. Копылов д.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, kopylov-maks@yandex.ru
https://orcid.org/0000-0003-2678-2613

Анна А. Дерканосова д.т.н., профессор, кафедра сервиса и ресторанного бизнеса, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, aa-derk@yandex.ru
https://orcid.org/0000-0002-9726-9262

Руслан У. Умарханов к.х.н., доцент, кафедра физической и аналитической химии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, rus_270487@mail.ru
https://orcid.org/0000-0001-5113-6096

Алексей А. Берестовой к.т.н., доцент, кафедра информационной безопасности, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия , berestovoy_1991@mail.ru
https://orcid.org/0000-0003-2255-9414

Алиса А. Торшина к.т.н., инженер-химик, испытательный центр, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, alislis.tor@yandex.ru
https://orcid.org/0000-0003-3150-8686

Information about authors

Maxim V. Kopylov Dr. Sci. (Engin.), assistant professor, technology of fats, processes and devices of chemical and food production department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, kopylov-maks@yandex.ru
https://orcid.org/0000-0003-2678-2613

Anna A. Derkanosova Dr. Sci. (Engin.), professor, service and restaurant business department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, aa-derk@yandex.ru
https://orcid.org/0000-0002-9726-9262

Ruslan U. Umarkhanov Cand. Sci. (Chem.), assistant professor, Physical and analytical chemistry department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, rus_270487@mail.ru
https://orcid.org/0000-0001-5113-6096

Alexey A. Berestovoy Cand. Sci. (Engin.), assistant professor, information security department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, berestovoy_1991@mail.ru
https://orcid.org/0000-0003-2255-9414

Alisa A. Torshina Cand. Sci. (Engin.), chemical engineer, testing center, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, alislis.tor@yandex.ru
https://orcid.org/0000-0003-3150-8686

Вклад авторов

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

Contribution

All authors are equally involved in the writing of 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 01/03/2025	**После редакции** 18/04/2025	**Принята в печать** 20/04/2026

Received 01/03/2025	**Accepted in revised** 18/04/2025	**Accepted** 20/04/2026