



Научная статья
4.3.3. – Пищевые системы (технические науки)
УДК664.769

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2026.01.022

EDN: OWATVH

ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКТИВНО-РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ УСТАНОВКИ ДЛЯ ОХЛАЖДЕНИЯ ЭКСТРУДАТА

Денис Александрович Алесенко ¹, Василий Викторович Матюшев ²,
Ирина Александровна Чаплыгина ³, Алексей Андреевич Беляков ⁴

^{1,2,3} Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия

¹ korven-dalas@rambler.ru, <https://orcid.org/0009-0006-1621-6510>

² don.matyusheff2015@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0005-1691-1380>

³ ledum_palustre@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6695-0808>

⁴ Красноярский государственный аграрный университет. Ачинский филиал, Ачинск, Россия

⁴ bellimfor@yandex.ru, <https://orcid.org/>

Аннотация. Одной из основных операций производства экструдата из зерна пшеницы и в дальнейшем получение текстурированной муки в пищевых системах является его охлаждение. Для исключения спекания белковой составляющей продукта его необходимо охладить до температуры не более чем на 10 °С, превышающей температуру окружающей среды. Анализ технических средств для охлаждения экструдата показал, что они имеют низкую интенсивность охлаждения готового продукта вследствие недостатков конструкции теплообменного аппарата. Целью исследования являлось совершенствование технологического процесса получения экструдата посредством модификации звена охлаждения материала и оптимизации конструктивно-режимных параметров охлаждающей установки с учётом теоретически вычисленного компромиссного оптимума. Для оптимизации процесса охлаждения полуфабриката использованы методы планирования эксперимента и математической обработки полученных данных. Реализацию плана проводили с применением пакета регрессионного анализа *Data Fit* и специализированного программного пакета *Statistics* системы компьютерной математики *Maple*. Были проведены исследования с учетом влияния факторных показателей на продолжительность и энергоёмкость процесса охлаждения экструдата. В серии опытов уточнены значения резульатных показателей процесса охлаждения экструдата в параметрической области компромиссного оптимума, формируемого конструктивно-режимными параметрами работы установки. Обеспечены следующие качественные показатели зернового экструдата: влажность 8,74 %, снижение влажности на 15–27 %, снижение потерь белка на 13,65 % при сохранении остальных химико-технологических характеристик. Отклонение фактических данных конструктивно-режимных параметров от аналогичных теоретических параметров, формирующих компромиссный оптимум, по абсолютной величине не превышает 5 %. При выборе значений конструктивно-режимных параметров в окрестности точки компромиссного оптимума, а именно скорости вращения вала 17 об/мин и угла наклона лопастей 10 град., фактически полученные значения продолжительности 0,073 ч и энергоёмкости 0,004 кВт·ч/кг, отклоняются от аналогичных теоретически вычисленных значений по абсолютной величине не более чем на 5 %.

Ключевые слова: установка, охлаждение, экструдат, белковая составляющая, компромиссный оптимум, скорость вращения, угол наклона, вал, лопасть, продолжительность, энергоёмкость.

Для цитирования: Оптимизация конструктивно-режимных параметров установки для охлаждения экструдата / Д. А. Алесенко [и др.] // Ползуновский вестник. 2026. № 1, С. 147–151. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2026.01.022. EDN: <https://elibrary.ru/OWATVH>.

Original article

OPTIMIZATION OF DESIGN AND OPERATING PARAMETERS FOR EXTRUDATE COOLING SYSTEM

Denis A. Alesenko ¹, Vasily V. Matyshev ², Irina A. Chaplygina ³,
Aleksey A. Belyakov ⁴

^{1,2,3} Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk, Russia

¹ korven-dalas@rambler.ru, <https://orcid.org/0009-0006-1621-6510>

² don.matyusheff2015@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0005-1691-1380>

³ ledum_palustre@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6695-0808>

⁴ Krasnoyarsk State Agrarian University, Achinsk branch, Achinsk, Russia

⁴ bellimfor@yandex.ru, <https://orcid.org/>

© Алесенко Д. А., Матюшев В. В., Чаплыгина И. А., Беляков А. А., 2026

Abstract. One of the main operations in the production of extrudates from wheat grain and subsequent obtaining of textured flour in food systems is its cooling. To prevent caking of the protein component of the product, it must be cooled to a temperature no more than 10 °C above the ambient temperature. An analysis of technical means for cooling extrudates has shown that they have a low intensity of cooling the finished product due to deficiencies in the design of the heat exchanger. The aim of the study was to improve the technological process of producing extrudates by modifying the material cooling link and optimizing the design and operational parameters of the cooling unit, taking into account the theoretically calculated compromise optimum. To optimize the semi-finished product cooling process, methods of experiment planning and mathematical processing of the obtained data were used. The implementation of the plan was carried out using the regression analysis package Data Fit and the specialized software package Statistics from the Maple computer mathematics system. Studies were conducted taking into account the influence of factor indicators on the duration and energy intensity of the extrudate cooling process. In a series of experiments, the values of the resultant indicators of the extrudate cooling process were refined within the parametric range of the compromise optimum formed by the design and operating parameters of the installation. The following quality indicators of grain extrudate were achieved: moisture content of 8.74 % (a reduction in moisture by 15-27 %), a reduction in protein loss by 13.65 %, while maintaining the remaining chemical and technological characteristics. The deviation of the actual design and operating parameter data from their analogous theoretical parameters forming the compromise optimum does not exceed 5 % in absolute value. When selecting the design and operating parameters in the vicinity of the point of compromise optimum, specifically, a shaft rotation speed of 17 rpm and a blade inclination angle of 10 degrees, the actually obtained values of duration (0.073 hours) and energy consumption (0.004 kW·h/kg) deviate from their corresponding theoretically calculated values by no more than 5 % in absolute terms.

Keywords: installation, cooling, extrudate, protein component, compromise optimum, rotation speed, tilt angle, shaft, blade, duration, energy consumption.

For citation: Alesenko D. A., Matyshev V. V., Chaplygina I. A. & Belyakov A. A. (2026). Optimization of design and operating parameters for extrudate cooling system. *Polzunovskiy vestnik*, (1), 147-151. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2026.01.022. EDN: <https://elibrary.ru/OWATVH>.

ВВЕДЕНИЕ

Улучшение и модернизация уже существующих, а также разработка совершенно новых технологий и оборудования для переработки зерновых культур является важной задачей, решение которой может быть достигнуто в том числе благодаря применению экструзионных процессов. Изменение свойства исходного сырья в результате экструзии позволяет получать конечную продукцию с определенными, заранее заданными характеристиками [1–9].

Одной из значимых операций в процессе производства экструдата из крахмалосодержащего сырья (зерновые культуры и их смеси) является его эффективное охлаждение. Рациональный подход к процессу охлаждения экструдата играет важную роль в определении качественных характеристик готового продукта, а также влияет на его потребительские характеристики и общую энергоэффективность производственного процесса.

Температура зернового экструдата после процесса охлаждения не должна превышать температуру окружающей среды более чем на 10 °C. Соблюдение данного условия позволяет исключить спекания белковой составляющей продукта [10, 11].

На основании анализа технических средств для охлаждения зернового экструдата, применяемых в существующих технологических линиях установлено, что они имеют низкую интенсивность охлаждения готового продукта вследствие недостатков конструкции теплообменного аппарата [12, 13, 14].

В связи с этим исследования, направленные на создание нового оборудования для охлаждения экструдата, установление закономерностей процесса охлаждения с целью определения рациональных конструктивно-режимных параметров и режимов работы охладителей, являются актуальными.

Цель исследования: совершенствование технологического процесса получения экструдата зерна пшеницы посредством модификации звена охлаждения материала и оптимизации конструктивно-режимных параметров охладительной установки с учётом теоретически вычисленного компромиссного оптимума.

МЕТОДЫ

Объектом исследования являлся процесс охлаждения экструдата в рабочей камере разработанного охладителя. Предмет исследования – конструктивные режимные параметры работы охладителя. В качестве материала для исследования был выбран экструдат из зерна пшеницы, полученный на экструдере ЭК-100 при температуре 120–130 °C и давлении 3–4 МПа. Выбор материала исследования обоснован его широким применением в технологиях получения текстурированной муки, пищевых ингредиентов и функциональных продуктов питания. Оценку сохранности качества зернового экструдата контролировали по показателям: температура после охлаждения, влажность, насыпная плотность, содержание белка и крахмала. Критериями оптимизации работы установки выбраны: обеспечение конечной температуры экструдата не более чем на 10 °C выше температуры окружающей среды (как условие предотвращения спекания белков); минимизация продолжительности процесса охлаждения (ч); минимизация энергоёмкости процесса (кВт·ч/кг).

Для оптимизации процесса охлаждения экструдированного зернового продукта, повышения точности и надёжности оценки скорости вращения вала и угла наклона лопастей использованы методы планирования эксперимента и математической обработки полученных данных. Реализацию плана проводили с применением пакета регрессионного анализа Data Fit и специализированного программного пакета Statistics системы компьютерной математики Maple.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Учеными Красноярского ГАУ была разработана, запатентована и изготовлена конструкция охладителя экструдата [15] (рисунок 1). Рабочая камера с лопастями представлена на рисунке 2.

На основании теоретических исследований, проведенных учеными Красноярского ГАУ, было установлено, что оптимальные конструктивно-режимные характеристики работы охладителя экструдата формируются

ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКТИВНО-РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ УСТАНОВКИ ДЛЯ ОХЛАЖДЕНИЯ ЭКСТРУДАТА

посредством выбора загружаемого веса в охладитель 9 кг (полная загрузка установки), скорости вращения вала 17 об/мин, угла наклона лопастей 10 град., температуры хладагента – 1,17 °С, скорости потока хладагента 4,28 м/с, градиента температур зернового экструдата (разность температуры экструдата после экструдера и охладителя) 38,9666 °С. В области эффективности процесса охлаждения экструдата величины продолжительности и энергоёмкости оцениваются соответственно значениями 0,0728 ч и 0,0039 кВт·ч/кг.



Рисунок 1 – Общий вид установки для охлаждения экструдата

Figure 1 – General view of the extrudate cooling unit



Рисунок 2 – Рабочая камера с лопастями

Figure 2 – Working chamber with blades

Для повышения точности прогноза состояния системы по значениям результатных показателей процесса охлаждения с учётом конструктивно-режимных параметров работы установки выполнена серия дополнительных корректирующих экспериментов. Составлен план по исследованию продолжительности (y_1 , ч) и энергоёмкости (y_2 , кВт·ч/кг) процесса охлаждения зернового экструдата при условии заполнения охлаждаемого цилиндра экструдатом веса $x_1 = 9$ кг, когда температура охлаждающего агента $x_4 = -1,2$ °С, скорость потока охлаждающего возду-

ха – $x_5 = 4,3$ м/с, а градиент температур $x_6 = 39$ °С. В качестве двух факторных показателей выбрали: скорость вращения вала (x_2 , об/мин) и угол наклона лопастей (x_3 , град.), которые варьировали, соответственно, на 5 и 6 уровнях:

$$x_2 = 10, 14, 18, 22, 26 \text{ об/мин}$$

и

$$x_3 = 0, 6, 12, 18, 24, 30 \text{ град.}$$

Средняя длина зернового экструдата после отсекавателя стренга составляла 47 мм. Влажность экструдата после экструдера составляла 29 %, после охлаждения на экспериментальной установке – 8,74 %. Насыпная плотность экструдата после охлаждения составляла 180 кг/м³, что свидетельствует о формировании структурно-однородной массы.

Содержание белка в охлажденном зерновом экструдате варьировало в диапазоне от 13,78 % до 15,95 % в зависимости от режима охлаждения. Применение разработанной установки с активным перемешиванием и принудительной подачей охлаждённого воздуха позволило снизить потери белка в среднем на 13,65 % по сравнению с пассивным охлаждением в базовом варианте.

Содержание крахмала (73,4–79,1 %), жира (0,61–0,72 %), клетчатки (3,02–3,45 %), сахаров (2,44–3,64 %), а также энергетическая ценность (382–384 ккал) и обменная энергия (14,17–14,41 МДж/кг) изменяются незначительно, что свидетельствует о сохранении основных пищевых и энергетических характеристик продукта.

Предварительный анализ опытных данных показал, что фактическая продолжительность конкретного случайного процесса охлаждения экструдата изменяется в диапазоне 0,070–0,074 ч, а его энергоёмкость составляет 0,003–0,005 кВт·ч/кг.

Экспериментальный поиск оптимальной продолжительности процесса охлаждения полуфабриката (y_1 , ч) в зависимости от скорости вращения вала x_2 , об/мин и угла наклона лопастей (x_3 , град.) и при фиксированных значениях факторов $x_1 = 9$ кг, $x_4 = -1,2$ °С, $x_5 = 4,3$ м/с, $x_6 = 39$ °С выполнен по областям множества $\Omega = [10, 26] [0, 30]$. Области уровня, образованные между его линиями уровня, изображают изменения результатного показателя посредством интенсивности окраски заполняемых областей: от минимального светлого до максимального тёмного цвета с шагом 10 %.

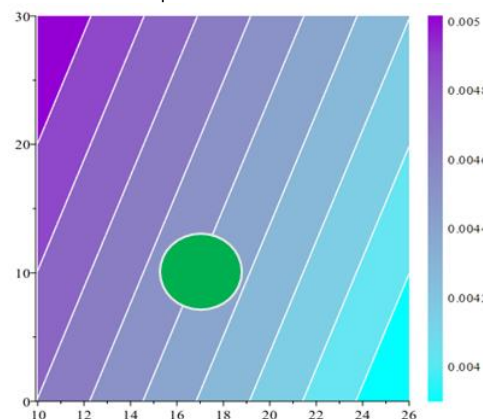


Рисунок 3 – Линии уровня продолжительности охлаждения экструдата (y_1 , ч) при изменениях скорости вращения вала (x_2 , об/мин), угла наклона лопастей (x_3 , град.)

Figure 3 – Lines of the cooling time of the extrudate (y_1 , h) with changes in the speed of rotation of the shaft (x_2 , rpm), the angle of inclination of the blades (x_3 , deg.)

В этом случае средние значения по областям уровней резульатного показателя соответственно составляют 5 %, 15, 25, 35, 45, 55, 65, 75, 85, 95 % от максимума резульатного показателя. Область эффективности – окрестность точки компромиссного оптимума заполнена зелёным цветом (рис. 3).

Выбор любой точки из области эффективности для функции продолжительности процесса практически (меньше чем на 10 %) не отличается от выбора точки минимума этого процесса. Аналогично построенное отличие будет меньше чем на 5 %.

В серии опытов определена возможная продолжительность процесса охлаждения 0,073 ч, которая близка к теоретически вычисленной оценке 0,0728 ч, и достигается при выборе скорости вращения вала 17 об/мин и угла наклона лопастей 10 град.

Экспериментальный поиск оптимальной энергоёмкости процесса охлаждения полуфабриката (y_2 , кВт ч/кг) в указанном частном случае в зависимости от скорости вращения вала (x_2 , об/мин) и угла наклона лопастей (x_3 , град.) выполнен на множестве $\Omega = [10, 26] \times [0, 30]$.

При построении 9 линий уровня выстраиваются 10 областей уровня, а средние значения резульатного показателя по этим областям составляют 5 %, 15, 25, 35, 45, 55, 65, 75, 85, 95 % от максимума резульатного показателя. Область эффективности – окрестность точки компромиссного оптимума (рис. 4).

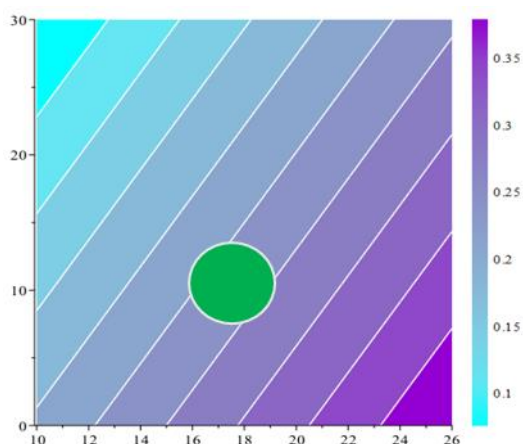


Рисунок 4 – Линии уровня энергоёмкости охлаждения экструдата (y_2 , кВт ч/кг) при изменениях скорости вращения вала (x_2 , об/мин), угла наклона лопастей (x_3 , град.)

Figure 4 – Lines of the cooling energy intensity of the extrudate (y_2 , kWh/kg) with changes in the speed of rotation of the shaft (x_2 , rpm), the angle of inclination of the blades (x_3 , deg.)

В серии опытов определена возможная энергоёмкость процесса охлаждения 0,004 кВтч/кг, близкая к теоретической величине 0,0039 кВтч/кг и которая достигается при выборе скорости вращения вала 17 об/мин и угла наклона лопастей 10 град с точностью приближения до 5 %.

ВЫВОДЫ

1. В серии опытов уточнены значения резульатных показателей процесса охлаждения экструдата в параметрической области компромиссного оптимума, формируемого конструктивно-режимными параметрами работы установки. Отклонение фактических данных конструктивно-режимных параметров от аналогичных теоретических параметров, формирующих

компромиссный оптимум, по абсолютной величине не превышает 5 %.

2. При выборе значений конструктивно-режимных параметров в окрестности точки компромиссного оптимума, а именно, скорости вращения вала 17 об/мин и угла наклона лопастей 10 град., фактически полученные значения продолжительности 0,073 ч и энергоёмкости 0,004 кВт ч/кг отклоняются от аналогичных теоретически вычисленных значений по абсолютной величине не более чем на 5 %.

3. Разработанная установка охладителя экструдата обеспечивает улучшение ключевых качественных показателей зернового экструдата, позволяя снизить его влажность на 15–27 %, потери белка на 13,65 %, при сохранении остальных химико-технологических характеристик на уровне, соответствующем требованиям к пищевым продуктам данного типа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бахчевников О.Н. Экструдирование растительного сырья для продуктов питания (обзор) / О.Н. Бахчевников, С.В. Брагинец // Техника и технология пищевых производств. 2020. Т. 50, № 4. С. 690–706. doi: 10.21603/2074-9414-2020-4-690-706.
2. Экструдирование поликомпонентной смеси крахмалосодержащего сырья и мезги плодовоовощных культур / В.В. Ваншин [и др.] // Вестник ОГУ. 2014. № 1 (162). С. 156–160.
3. Применение отечественных экструзионных ингредиентов в хлебопекарном производстве / Е.В. Жиркова [и др.] // Хлебопродукты. 2016. № 2. С. 36–39.
4. Использование экструдата из смеси зерна пшеницы и картофеля в хлебопечении / В.В. Матюшев [и др.] // Достижения науки и техники в АПК. 2017. Т. 31, № 8. С. 80–84.
5. Совершенствование технологии производства текстурированной муки / В.В. Матюшев [и др.] // Вестник КрасГАУ. 2023. № 5. С. 240–245. doi: 10.36718/1819-4036-2023-5-240-245.
6. Технология экструзионных продуктов / А.Н. Остриков [и др.]. 2-е изд. Санкт-Петербург : Проспект Науки, 2024. 200 с.
7. Фролов Д.И. Современные тенденции и перспективы использования экструдатов в функциональных пищевых продуктах // Инновационная техника и технология. 2018. № 3 (16). С. 10–15.
8. Шанина Е.В. Изменение химического состава экструдированного сырья в процессе экструзии / Наука и образование: опыт, проблемы, перспективы развития. Материалы международной научно-практической конференции. 2018. С. 155–156.
9. Экструдирование смесей пшеницы и выжимок моркови повышенной влажности в технологии продуктов, готовых к употреблению / А.Ю. Шариков [и др.] // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2018. Т. 80. № 3 (77). С. 43–49. doi: 10.20914/2310-1202-2018-3-43-49.
10. Фролов Д.И., Курочкин А.А. К вопросу совершенствования экструзионных технологий / Инновационная техника и технология. 2015. № 2. С. 18–23.
11. Алесенко Д.А. Анализ теоретических исследований охлаждения прессованных продуктов / Д.А. Алесенко // Инновационные тенденции развития Российской науки : Материалы XVII международной научно-практической конференции молодых ученых, Красноярск, 04–06 марта 2024 года. Красноярск : Красноярский ГАУ, 2024. С. 397–400.
12. Матюшев В.В., Чаплыгина И.А., Алесенко Д.А. Совершенствование конструкции охладителя экструдатов // Научно-практические аспекты развития АПК : Ма-

ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКТИВНО-РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ УСТАНОВКИ ДЛЯ ОХЛАЖДЕНИЯ ЭКСТРУДАТА

териалы национальной научной конференции. Красноярск : Красноярский ГАУ, 2023. С. 214–216.

13. Эксплуатационные показатели линии охлаждения и пневмотранспорта полножирной экструдированной сои / С.В. Алексеев [и др.] // Вестник Курганской ГСХА. 2020. № 2(34). С. 48–52.

14. Фоминых А.В., Овчинников Д.Н., Фомина С.В. Линия производства полножирной экструдированной сои с рекуперацией тепловой энергии // Вестник Курганской ГСХА. 2014. № 3(11). С. 83–85.

15. Охладитель сыпучих материалов: пат. 212621 Рос. Федерация № 2022105218; заявл. 25.02.2022; опубл. 01.08.2022, Бюл. № 22. 7 с.

Информация об авторах

Д. А. Алесенко – аспирант кафедры «Товароведение и управление качеством продукции АПК» Красноярского государственного аграрного университета.

В. В. Матюшев – доктор технических наук, профессор кафедры «Товароведение и управление качеством продукции АПК» Красноярского государственного аграрного университета.

И. А. Чаплыгина – кандидат биологических наук, доцент кафедры «Товароведение и управление качеством продукции АПК» Красноярского государственного аграрного университета.

А. А. Беляков – кандидат технических наук, доцент кафедры «Агроинженерии» Ачинского филиала Красноярского государственного аграрного университета.

REFERENCES

1. Bakhchevnikov, O.N. & Braginet, S.V. (2020). Extruding vegetable raw materials for food products (review). *Technique and technology of food production*, (Т. 50, № 4), 690-706. (In Russ.). doi: 10.21603/2074-9414-2020-4-690-706.

2. Vanshin, V.V., Tuktamysheva, A.R., Novikova, L.V., Khalitova, E.Sh. & Zinyukhina, A.G. (2014). Extrusion of polycarbonate mixture of starch-containing raw materials and fruit and vegetable crops pulp. *Vestnik OGU*. (№ 1 (162)), 156-160. (In Russ.).

3. Zhirkova, E.V., Martirosyan, V.V., Malkina, V.D. & Sevryukova, T.A. (2016). Application of domestic extrusion ingredients in bakery production. *Khleboпродукты*. (№ 2), 36-39. (In Russ.).

4. Matyushev, V.V., Chaplygina, I.A., Shpiruk, Yu.D., Baranovskaya, Yu.V. & Selivanov, N.I. (2017). Use of extrudate from a mixture of wheat and potato grains in baking. *Achievements of science and technology in agroindustrial complex*, (Т. 31, № 8), 80-84. (In Russ.).

5. Matyushev, V.V., Mirzhigot, A.S., Chaplygina, I.A. & Semenov, A.V. (2023). Improvement of the technology of textured flour production. *Vestnik KrasGAU*, (№ 5), 240-245. (In Russ.). doi: 10.36718/1819-4036-2023-5-240-245.

6. Ostrikov, A.N., Magomedov, G.O., Derkanosova, N.M., Vasilenko, V.N., Abramov, O.V. & Platov, K.V. (2024). *Technology of extrusion products*. St. Petersburg : Prospect Nauka. (In Russ.).

7. Frolov, D.I. (2018). Modern trends and prospects for the use of extrudates in functional food products. *Innovatsionnaya tekhnika i tekhnologii*. (№ 3 (16)).10-15. (In Russ.).

8. Shanina, E.V. Changes in the chemical composition of extruded raw materials in the extrusion process. *Science and education: experience, problems, prospects of development. Materials of the international scientific and practical conference*. V.L. Bopp, E.I. Sorokataya. (Ed.). Krasnoyarsk : KSAU. (In Russ.).

9. Sharikov, A.Yu., Stepanov, V.I., Ivanov, V.V., Polivanovskaya, D.V. & Amelyakina, M.V. (2018). Extruding mixtures of wheat and carrot squeeze mixtures of increased moisture in the technology of products ready to use. *Vestnik of Voronezh State University of Engineering Technologies*, (Т. 80. № 3 (77)). 43-49. (In Russ.). doi: 10.20914/2310-1202-2018-3-43-49.

10. Frolov, D.I. & Kurochkin, A.A. (2015). K question of improvement of extrusion technologies. *Innovatsionnaya tekhnika i tekhnologiya*, (№ 2). 18-23. (In Russ.).

11. Alesenko, D.A. Analysis of theoretical studies of cooling of extruded products. *Innovative trends in the development of Russian science: Proceedings of the XVII International Scientific and Practical Conference of Young Scientists*. D.D. Kharebin, N.S. Romanova, A.G. Mironov. (Ed.). Krasnoyarsk : KSAU. (In Russ.).

12. Matyushev, V.V., Chaplygina, I.A. & Alesenko, D.A. Improvement of the extrudate cooler design. *Scientific and practical aspects of agroindustrial complex development: Proceedings of the national scientific conference*. A.V. Komeitsev (Ed.). Krasnoyarsk : KSAU. (In Russ.).

13. Alekseev, S.V., Mikhailyuk, E.N., Fomina, S.V. & Kovshova, N.A. (2020). Performance indicators of the cooling line and pneumatic conveying of half-fat extruded soybean. *Bulletin of Kurgan State Agricultural Academy*. (№ 2(34)). 48-52. (In Russ.).

14. Fominykh, A.V., Ovchinnikov, D.N. & Fomina, S.V. (2014). Production line of half-fat extruded soybean with heat energy recovery. *Bulletin of Kurgan State Agricultural Academy*, (№ 3(11)). 83-85. (In Russ.).

15. Matyushev, V.V., Semenov, A.V., Chaplygina, I.A., Alesenko, D.A., Balyberdin, A.S. & Gorovenko, O.A. (2022). Cooler of bulk materials. Pat. 212621. *Russian Federation, published on 01.08.2022*. Bull. No. 22. (In Russ.).

Information about the authors

D.A. Alesenko - Postgraduate student at the Department of «Commodity Science and Quality Management of Agricultural Products» of the Krasnoyarsk State Agrarian University.

V.V. Matyushev - Doctor of Technical Sciences, Professor at the Department of "Commodity Science and Quality Management of Agricultural Products" of the Krasnodar State Agrarian University.

I.A. Chaplygina - Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Department of «Commodity Science and Quality Management of Agricultural Products» of the Krasnodar State Agrarian University.

A.A. Belyakov - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of «Agroengineering» at the Krasnoyarsk State Agrarian University Achinskbranch.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 07 октября 2025; одобрена после рецензирования 24 февраля 2026; принята к публикации 16 марта 2026.

The article was received by the editorial board on 07 Oct 2025; approved after editing on 24 Feb 2026; accepted for publication on 16 Mart 2026.