

Научная статья

УДК 331.436+ 631.243.32

DOI: [10.55170/1997-3225-2025-10-2-51-57](https://doi.org/10.55170/1997-3225-2025-10-2-51-57)

ОБЕСПЕЧЕНИЕ УСЛОВИЙ ТРУДА НА ПРИЁМНЫХ ПУНКТАХ КОМБИКОРМОВЫХ ПРОИЗВОДСТВ

Татьяна Ивановна Белова¹, Евгений Михайлович Агашков², Роман Владимирович Шкрабак³,
Кристина Игоревна Портнова⁴, Владимир Степанович Шкрабак⁵ 

^{1,4} Брянский государственный аграрный университет, Кокино, Брянская обл., Россия² Орловский государственный университет имени И. С. Тургенева, Орёл, Россия^{3,5} Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Санкт-Петербург, Россия¹ belova911@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6114-2315>² evgenii-agashkov@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0003-4800-9194>³ shkrabakrv@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0128-0510>⁴ kristinaportnova10@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0007-7524-7584>⁵ v.shkrabak@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3331-624X>

Резюме. Цель исследований – создание нормируемых условий для работающих и производственного оборудования на приёмных пунктах элеваторов комбикормового производства. При доставке зерновых материалов на предприятия по производству комбикормов используется автомобильный транспорт, для разгрузки которого установлены специально предназначенные приемные пункты, куда сыпучий материал разгружается в приемные бункеры, состоящие из нескольких секций. В зоне эксплуатации находятся операторы приёмных пунктов, водители автомобилей и ремонтный персонал, которые находятся в опасных, тяжёлых и вредных условиях труда, зависящие от уровней запыленности воздуха; напряжённости и тяжести труда и др. Всё это требовало изучения факторов, влияющих на процесс истечения пшеницы из транспортного средства и выгрузного бункера и получения аналитических зависимостей, устанавливающих взаимосвязь площадей пропускания выпускных отверстий бункера при заданном равномерном истечении материала (пшеница) в условиях безопасного функционирования оборудования приёмного пункта в зависимости от наполнения бункера и объема пропускаемого материала. Для этого выполнены лабораторные исследования на установке, на которой смоделированы процессы истечения зерна пшеницы из секции бункера через заслонку при различной степени заполнения бункера и ширины открытия заслонки. Полученные зависимости скорости истечения пшеницы в начале и конце ссыпания при площади открытия заслонки 0,002 м² отличались незначительно, по мере увеличения площади наблюдались значительные расхождения (при площади пропускания 0,008 м² составляет 5,76 кг/с вначале, а в конце - 2,37 кг/с). Стабильный характер скорости истечения наблюдался в середине процесса опустошения бункера. Эти результаты позволят обеспечить равномерную подачу зерна из приёмного бункера на транспортёр, что приведёт уменьшению тяжести на 23% и напряжённости трудового процесса у работающих на 25%, а также - снижению выброса пыли в рабочую зону на 8%.

Ключевые слова: сыпучие материалы, условия и безопасность, равномерное истечение, скорость истечения, объем наполнения бункера, площадь истечения

Для цитирования: Белова Т. И., Агашков Е. М., Шкрабак Р. В., Портнова К. И., Шкрабак В. С. Обеспечение условий труда на приёмных пунктах комбикормовых производств // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2025. Т 10, № 2. С. 51-57. DOI: [10.55170/1997-3225-2025-10-2-51-57](https://doi.org/10.55170/1997-3225-2025-10-2-51-57)

Original article

ENSURING WORKING CONDITIONS AT RECEPTION POINTS OF FEED MILL PRODUCTION

Tatiana I. Belova¹, Evgeny M. Agashkov², Roman V. Shkrabak³, Kristina I. Portnova⁴, Vladimir S. Shkrabak⁵ 

^{1,4} Bryansk State Agrarian University, Kokino, Bryansk region, Russia² Orel State University, Orel, Russia^{3,5} St. Petersburg State Agrarian University, Saint Petersburg, Russia¹ belova911@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6114-2315>² evgenii-agashkov@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0003-4800-9194>³ shkrabakrv@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0128-0510>⁴ kristinaportnova10@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0007-7524-7584>⁵ v.shkrabak@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3331-624X>

Abstract. The aim of the study is to create standardized conditions for workers and production equipment at reception points in feed mills. Grain material is delivered to the feed mill using a motor vehicle with specially designed loading stations, where cereal is unloaded into multi-section receiving bunkers. The operating area is characterized by dangerous, difficult, and harmful working conditions for operators of reception points, car drivers, and repair workers, based on levels of air dust, stress, and severity of work. All this required

the study of the factors influencing the process of the wheat from the vehicle and the unloading hopper and the production of analytical dependencies establishing the relationship between the areas of the discharge holes of the hopper with a given uniform outflow of material (wheat) under conditions of safe operation of the reception point equipment depending on the hopper filling and the volume of material being poured. To achieve this, laboratory studies were conducted using an installation simulating wheat grain flow processes through baffles from bin compartments with varying degrees of bin fill and baffle opening width. The obtained dependencies showed slight differences in initial and final wheat flow rates when the baffle opening area was 0.002 m² (5.76 kg/s initially vs. 2.37 kg/s finally), but significant discrepancies emerged as the opening area increased (for instance, reaching 5.76 kg/s at the beginning and dropping to 2.37 kg/s at the end when the passage area was 0.008 m²). It was observed that the discharge rate was steady, during the middle of the bunker emptying process. These results will ensure even grain supply from the receiving hopper onto conveyors, leading to a reduction in workload by 23%, job stress by 25%, and dust emissions into the workspace by 8%.

Keywords: bulk materials, conditions and safety, uniform discharge, discharge rate, hopper filling volume, discharge area

For citation: Belova, T. I., Agashkov, E. M., Shkrabak, R. V., Portnova, K. I. & Shkrabak, V. S. (2025). Ensuring working conditions at reception points of feed mill production. *Izvestiia Samarskoi gosudarstvennoi selskokhoziaistvennoi akademii (Bulletin Samara State Agricultural Academy)*, 10, 2, 51-57 (in Russ.). DOI: [10.55170/1997-3225-2025-10-2-51-57](https://doi.org/10.55170/1997-3225-2025-10-2-51-57)

Комбикормовая отрасль Российской Федерации, в связи с возрастающими потребностями, будет увеличивать объемы производства. В 2023 году производство комбикормов в стране по сравнению с 2019 годом увеличилось на 15,7% и составило 35,2 млн. т. Наша страна входит в первую десятку производителей комбикормов, занимая шестое место в мире. В 2024 году в Российской Федерации насчитывалось 262 предприятия по производству комбикормов, которые, преимущественно, используют отечественное оборудование [1, 2]. Анализ рынка комбикормов в России в 2019-2023 гг. и прогноз на 2024-2028 гг. представляют интерес.

Пшеница является основным компонентом для получения комбикормов для животных и птицы [3], а также основной зерновой культурой, выращиваемой во всем мире. По данным на 2022 год [4] на ее долю приходится 794 млн. тонн из 2765 млн. тонн всех зерновых культур. По производству пшеницы Российская Федерация является третьим производителем (85,2 млн. т/год), уступая Китаю (135, 8млн.т/год) и Индии (105 млн. т/год) [5].

Увеличение производства комбикормов приводит к возрастанию мощностей производства, созданию новых и реконструкции существующих предприятий, повышению нагрузок на работающих и ухудшению условий и безопасности труда [6-14].

Анализ технологического процесса производства комбикормов на приемном пункте и результатов специальной оценки условий труда позволил выявить наиболее вредные и опасные факторы производства, воздействующих на обслуживающий персонал. Оказалось, что около 40% времени они подвержены воздействию физических перегрузок, около 30% времени – психофизиологических перегрузок, а примерно 50% времени смены – пылей высоких значений концентраций. Данные измерений концентрации пыли показали, что наиболее высокие значения имели место при залповом ссыпании сыпучего материала из транспортного средства в приемный (выгрузной) бункер, значения которой превышали нормы более, чем в 100 раз, отсутствие автоматического регулирования при выгрузке сыпучего материала из бункера усугубляет данную ситуацию.

С другой стороны, имеет место влияние неравномерности на работу производственного оборудования, которое функционирует в условиях перегрузок рабочих органов, что приводит к преждевременному износу и выходу его из строя, простоям приемного пункта, необходимости дополнительного проведения работ в условиях повышенных концентраций пыли и опасных ситуаций.

На приемных пунктах предусмотрены технические средства безопасности труда для снижения пылевых делений от сыпучих материалов, имеются средства для регулирования его пропускания на приемный транспортер, однако условия труда работников остаются неблагоприятными из-за обслуживания оборудования в условиях воздействия высоких уровней тяжести и напряженности. Указанное выше говорит о том, что необходимо решать вопросы в направлении обеспечения равномерности процесса истечения материала к месту его нахождения и, тем самым, снижать уровни опасности и вредности производства на приемном пункте

В настоящее время активно ведутся исследования в направлении обеспечения равномерности ссыпания и транспортировки, совершенствования оборудования и автоматизации производственных процессов при получении комбикормовой продукции [13-16]. Однако эти работы лишь косвенно учитывают влияние на снижение неблагоприятного воздействия на работников параметров технологического производства. С другой стороны, исследования в области создания благоприятных условий труда работников производства [17-21] недостаточно учитывают влияние параметров технологического процесса на показатели безопасности труда.

Объектом исследования являются условия труда работников при разгрузке зернового материала из бункера приемного пункта элеватора на транспортирующее оборудование.

Цель исследований: создание нормируемых условий для работающих и производственного оборудования на приемных пунктах элеваторов комбикормового производства.

Задачи исследований: изучение факторов, влияющих на процесс истечения пшеницы из транспортного средства и выгрузного бункера; обоснование аналитических зависимостей, устанавливающих взаимосвязь площадей пропускания выпускных отверстий бункера при заданном равномерном истечении материала «пшеница» в условиях безопасного функционирования оборудования приемного пункта от наполнения бункера и объемасыпаемого материала.

Материалы и методы исследований. Исследования проводились на: комбикормовом предприятии Брянской области; в научной лаборатории по оценке условий труда и экологической безопасности кафедры Безопасности жизнедеятельности и инженерной экологии Брянского государственного аграрного университета.

Для исследования факторов, влияющих на процесс равномерного истечения пшеницы из экспериментального (пирамидального) бункера, использованы зависимости для истечения крупнозернистого материала [22, 23], которые являлись основой для получения выражения предельного объемного истечения из выпускного отверстия рассматриваемой секции выгрузного бункера в целях обеспечения безопасного функционирования процесса истечения пшеницы [23-26]:

$$Q_{np} = \sqrt{\frac{32gr^5}{(tg\alpha_1 + tg\alpha_3 + tg\alpha_2 + tg\alpha_3)}} \quad (1)$$

где Q – объемное истечение пшеницы из бункера, $m^3/ч$; g – ускорение свободного падения, m/c^2 ; $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ – углы между боковыми стенками и вертикальной осью экспериментального выгрузного бункера град; r – радиус вписанной окружности поперечного сечения выгрузного бункера, м.

На этом этапе экспериментальных исследований были получены зависимости равномерного истечения пшеницы от порций опустошения бункера при значениях площадей пропускания продукта $S_{во}$ (0,002 m^2 ; 0,004 m^2 ; 0,006 m^2 ; 0,008 m^2) при различном первоначальном наполнении бункера (рис. 1-3). Задаваясь определенными значениями равномерной скорости истечения сыпучего материала пшеницы при начальной наполненности 0,05 m^3 ; 0,04 m^3 ; 0,03 m^3 получали, соответственно, значения площадей пропускания выпускных отверстий в течение всего времени t_n опустошения выгрузного бункера [25].

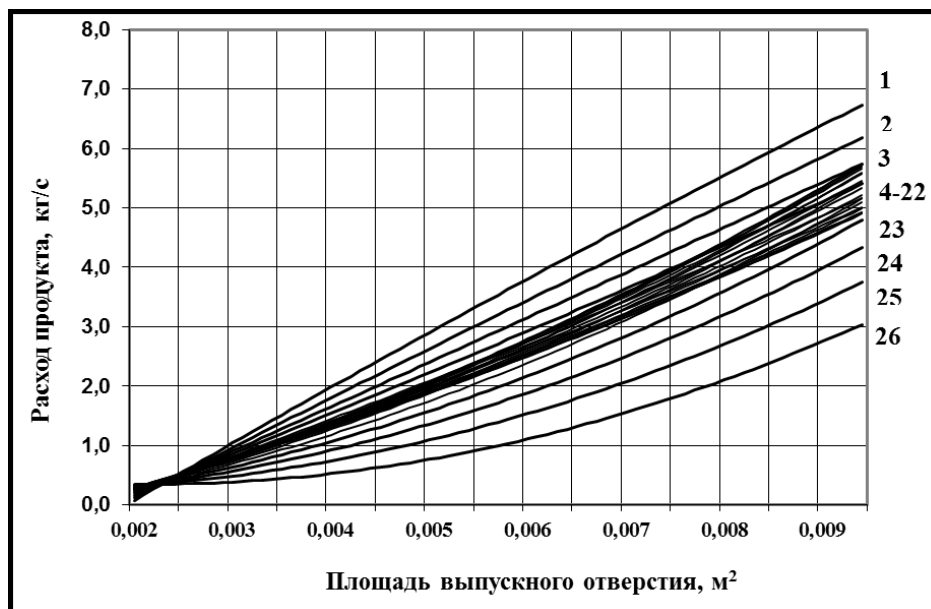


Рис. 1. Экспериментальные данные зависимости скорости истечения пшеницы (расхода продукта) от площади пропускания (выпускного отверстия) при начальном наполнении бункера 0,05 m^3 и порциях 1-26

В связи с этим эксперимент проходил по следующему алгоритму.

1. Заполняли бункер материалом объемом 0,05 m^3 .

2. Согласно смоделированной ситуации было установлено, что средняя скорость истечения для лабораторной установки устанавливалась в районе 0,8 кг/с, что соответствует среднему времени опустошения бункера при его начальной наполненности 0,05 m^3 – 49 с.

3. Согласно данным, полученным на основании эксперимента [9, 10], устанавливалась ширина открытия заслонки для пшеницы при массе одной порции пшеницы равной 7,77 кг и ее объеме 0,01 м³: 2,5 см для порции 1; 2,84 см для порции 2; 2,46 см для порции 3; 2,8 см для порции 4; 3,5 см для порции 5.

4. Контролировалось время наполнения порции (тары) с контрольным взвешиванием тары для проверки.

5. Изменяли ширину раскрытия заслонки с точность до 1 мм по времени наполнения порции после наполнения предыдущей по предыдущему алгоритму.

6. В случае несоответствия времени наполнения порции производилось изменение ширины раскрытия заслонки в большую или меньшую сторону для поддержания постоянного расхода.

7. Повторялись п. 1-6 при объемах 0,04 м³; 0,03 м³ засыпаемого материала, соответственно.

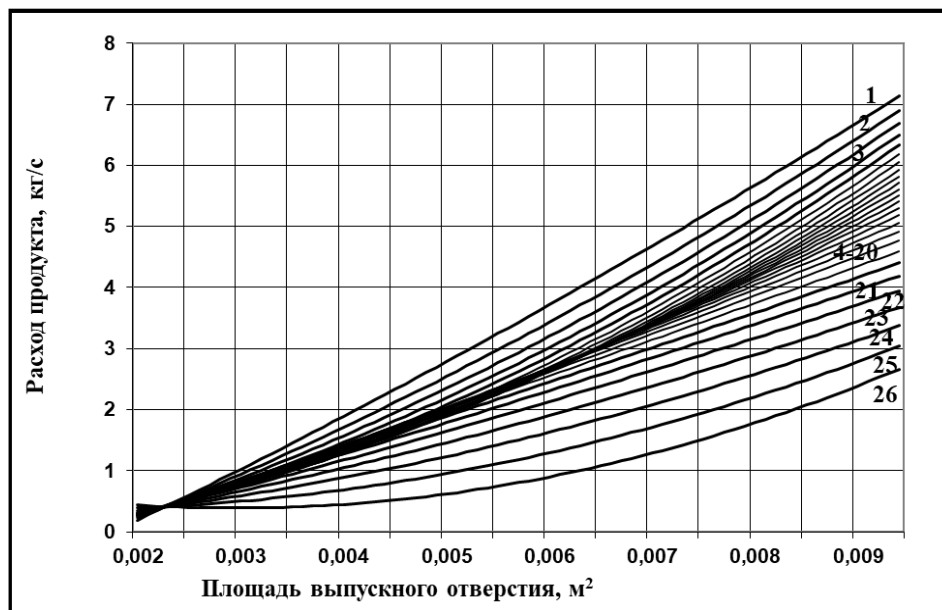


Рис. 2. Экспериментальные данные зависимости скорости истечения пшеницы (расхода продукта) от площади пропускания (выпускного отверстия) при начальном наполнении бункера 0,04 м³ и порциях 1-26

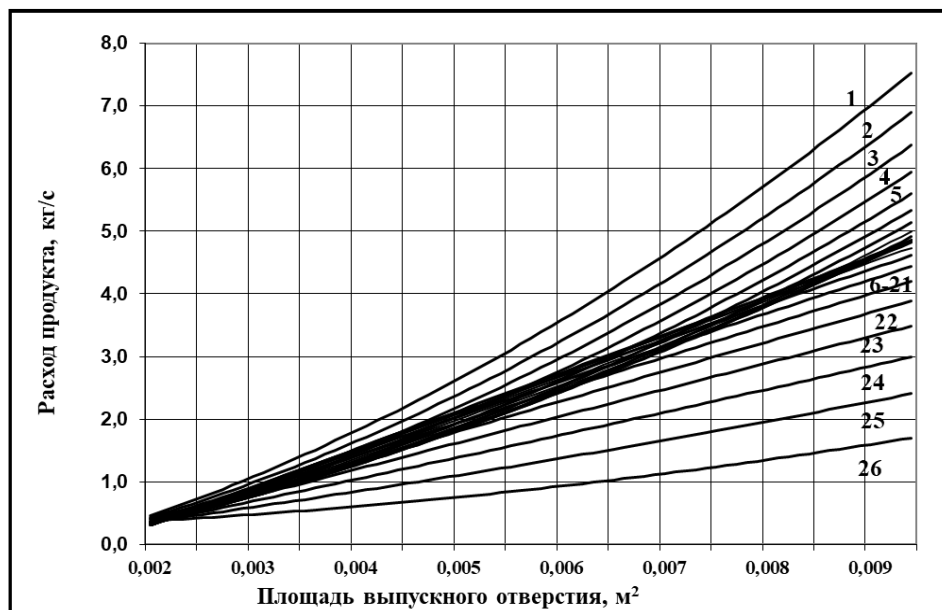


Рис. 3. Экспериментальные данные зависимости скорости истечения пшеницы (расхода продукта) от площади пропускания (выпускного отверстия) при начальном наполнении бункера 0,03 м³ и порциях 1-26

Входными данными этого эксперимента являются: начальный объем материала в бункере (соответственно 0,05 м³; 0,04 м³; 0,03 м³), скорость истечения пшеницы (0,8 кг/с). Выходными данными – время наполнения отдельных порций по мере опустошения бункера, масса этих порций и суммарное время опустошения бункера, фактическая скорость истечения сыпучего материала и площадь пропускания выпускного отверстия бункера для каждой порции.

Результаты исследований. Из графиков (рис. 1-3) видно, что значения скорости истечения пшеницы для первых и последних порций при открытии заслонки площадью 0,002 м² отличаются незначительно. При дальнейшем увеличении площади пропускания бункера, наблюдается расхождение значений истечения, причем у первых порций расход больше чем у последних. Максимальное расхождение значений скорости истечения наблюдается при площади пропускания 0,008 м² и составляет 5,76 кг/с max (порция 1) – 2,37 кг/с min (порция 26). Для средних порций (порции 4-22) значения скорости истечения отличаются незначительно, что говорит о стабильном характере истечения пшеницы из бункера в средней стадии процесса его опустошения. Для начальной стадии процесса опустошения бункера характерна высокая скорость истечения (порции 1-3), особенно при площади пропускания 0,008 м². Для конечной стадии процесса опустошения бункера характерна низкая скорость истечения (порции 23-26), особенно при площади пропускания 0,008 м². Это говорит о нестабильном характере истечения пшеницы из бункера в начальной и конечной стадиях процесса.

Заключение. На работающих в приёмных пунктах комбикормовых предприятий воздействует множество факторов: но определяющими являются тяжесть и напряжённость трудового процесса, которые связаны с возможными аварийными ситуациями из-за повышенной нагрузки на транспортёр, а также возникновением повышенной запылённости воздуха из-за залповой выгрузки сыпучего материала в бункер.

Одним из направлений снижения воздействия этих факторов является обеспечение равномерной подачи сыпучего материала из приёмного бункера на транспортёр, что способствует равномерному распределению нагрузки и снижению вероятности возникновения перегрузки и, как следствие, уменьшению тяжести на 23% и напряжённости трудового процесса у работающих на 25%. При этом следует отметить, что равномерная подача позволяет уменьшить выброс пыли в рабочую зону на 8%, из-за её отвода вместе с сыпучим материалом на транспортёр.

Список источников

1. Анализ рынка комбикормов в России в 2019-2023 гг, прогноз на 2024-2028 гг. [Электронный ресурс]. URL: <https://businessstat.ru/catalog/id9260> (дата обращения: 15.01.2025).
2. Рынок комбикормов вырос вопреки проблемам. Топ-25 крупнейших компаний выпустили более 21 млн. т продукции. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.agroinvestor.ru/rating/article/40075-rynok-kombikormov-vyros-vopreki-probleмам-top-25-krupneyshikh-kompaniy-vypustili-bolee-21-mln-t-prod> (дата обращения: 17.01.2025).
3. Некоторые особенности компонентов комбикормов. [Электронный ресурс]. URL: <https://biohim.com.ru/articles/-component> (дата обращения: 20.01.2025).
4. FAO. Положение с продовольствием в мире [Электронный ресурс]. URL: <https://www.fao.org/-worldfoodsituation/csdb/ru> (дата обращения: 22.01.2025).
5. Топ-10 стран производителей пшеницы в мире. [Электронный ресурс]. URL: <https://agrosector.kz/agriculture-news/top-10-stran-proizvoditelej-pshenicy-v-mire.html> (дата обращения: 23.01.2025).
6. Семенов П. Каждый построенный нами завод – это объект нашей гордости // Комбикорма. 2018. №10. С. 49. EDN: YLKNOP
7. Афанасьев, В. А., Орлов Е. Л., Богомолов И. С. НПЦ "ВНИИ КП": высокоэффективные комбикормовые заводы в блочно-модульном исполнении // Птицеводство. 2020. № 1. С. 23-29. DOI: 10.33845/0033-3239-2020-69-1-23-29 EDN: CTCRVW
8. Белова Т.И., Агашков Е. М., Гавришук В. И., Захарченко Г. Д., Родичева М. В., Абрамов А. В., Терехов С. В. Развитие современных методов защиты, работающих на предприятиях сельскохозяйственной отрасли. EDN: QQABGY
9. Белова, Т. И., Агашков, Е., Терехов, С. В., Чернова, Е. Г., Захарченко, Д. А. Обоснование повышения безопасности работающих приемных пунктов элеваторов комбикормового производства // Техносферная безопасность в АПК, 2018, С. 201-210. EDN: USLVQQ
10. Белова Т. И., Агашков Е. М., Терехов С. В., Чернова Е. Г. Снижение опасностей травмирования операторов приемных пунктов элеваторов // Инновационные пути решения актуальных проблем природопользования и защиты окружающей среды : сборник научных трудов, 2018. С. 26-31. EDN: FUDXGI
11. Belova, T., Agashkov, E., Terekhov, S., & Markaryants, L. (2019, December). Improving the technological reliability and safety of feed mills production lines. // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Vol. 698, No. 7, p. 077058. IOP Publishing.
12. Belova, T. I., Agashkov, E. M., Chernova, E. G., Terekhov, S. V. Ensuring the protection of the environment at the combined feed mills // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 698, No. 7, p. 077064. DOI: 10.1088/1757-899X/698/7/077064 EDN: ONFLYK
13. Завражнов, А. И., Тишанинов К. Н. Обоснование регулирующей способности делителя потока зерна // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2010. № 5. С. 30-31. EDN: ZXLBVZ

14. Банников Д. О. Особенности процесса разгрузки бункерных емкостей // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 2008. №5. С.131-135.
15. Савенков Д. Н. Влияние конструктивных параметров бункера с боковым выпускным отверстием на равномерность выгрузки зерноматериала // *Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии*. 2015. №. 8. С. 223-225. EDN: VYMHTL
16. Богомяких, В. А., Скудина А. А. О частоте пульсации сыпучего тела, выходящего из выпускного отверстия бункера наибольшего расхода // *Молодой ученый*. 2015. № 14 (94). С. 139-142. DOI: 10.1007/s12041-015-0470-8 EDN: UCCXTX
17. Белова Т. И., Гаврищук В. И., Абрамов А. В., Агашков Е. М., Бурак В. Е. Улучшение условий труда использованием автоматизированных и автоматических систем регулированием параметров воздушной среды и средств индивидуальной защиты // *Вестник МАНЭБ*. 2012. Т. 17, № 3. С. 91-94. EDN: VWKNXP
18. Белова Т. И., Бурак В. Е., Агашков Е. М., Гераськова О. Б. Классификация систем автоматического удаления вредных веществ из воздуха производственного помещения // *Вестник МАНЭБ*. 2010. Т. 15, № S4. С. 116-118. EDN: VWKVHX
19. Белова Т. И., Гаврищук В. И., Чернова Е. Г., Шувалов В. В., Терехов С. В., Агашков Е. М. Снижение запыленности при выгрузке сыпучих материалов // *Сельский механизатор*. 2017. № 5. С. 24-25. EDN: YODALH
20. Патент № 2023640 С1 Российская Федерация, МПК В65D 90/54, А01F 12/60. Устройство для регулирования подачи сыпучего материала / Шкрабак В. С., Вергун П. И., Бедарев В. В., Ильященко А. А., Морозов В. А., Елисейкин В. А. № 5019368/15: заявл. 27.12.1991: опубл. 30.11.1994; заявитель Ленинградский сельскохозяйственный институт.
21. Патент № 2027652 С1 Российская Федерация, МПК В65D 90/58. Устройство для блокировки шибберных задвижек бункеров-накопителей зерна / Шкрабак В. С., Бедарев В. В., Ильященко А. А., Елисейкин В. А., Селиванова М. А. № 5028678/13: заявл. 02.07.1992: опубл. 27.01.1995; заявитель Ленинградский государственный аграрный университет.
22. Гячев Л. В. Основы теории бункеров. Новосибирск. 1992.
23. Савенков, Д. Н. Влияние конструктивных параметров бункера с боковым выпускным отверстием на равномерность выгрузки зерноматериала // *Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии*. 2015. № 8. С. 223-225. EDN: VYMHTL
24. Белова Т. И., Агашков Е. М., Терехов С. В., Снегирева А. А. Оценка эффективности использования системы автоматизированного регулирования процесса истечения зернового материала из бункера // *Инновации и технологический прорыв в АПК: сборник научных трудов*, 2020. С. 214-222. EDN: OOHYPZ
25. Белова Т. И., Агашков Е. М., Бурак В. Е. Влияние равномерного истечения сыпучих материалов на обеспечение безопасности технологического процесса // *Техносферная и экологическая безопасность на транспорте: сборник научных трудов*, 2022. С.19-23.

References

1. Analysis of the Russian compound feed market in 2019-2023, forecast for 2024-2028. Retrieved from <https://businessstat.ru/catalog/id9260> (in Russ.).
2. The market of mixed fodder grew despite the problems. Top-25 largest companies produced more than 21 million tons of products. Retrieved from <https://www.agroinvestor.ru/rating/article/40075-rynok-kombikormov-vyros-vopreki-problemam-top-25-krupneyshikh-kompaniy-vypustili-bolee-21-mln-t-prod> (in Russ.).
3. Some features of components of mixed fodders. Retrieved from <https://biohim.com.ru/articles/component> (in Russ.).
4. FAO. The World Food Situation. Retrieved from <https://www.fao.org/worldfoodsituation/csdb/ru> (in Russ.).
5. Top 10 wheat producing countries in the world. Retrieved from <https://agrosector.kz/agriculture-news/top-10-stran-proizvoditelej-pshenicy-v-mire.html> (in Russ.).
6. Semenov, P. (2018) Each plant built by us is an object of our pride. *Kombikorma*. №10, 49 (in Russ.).
7. Afanasyev, V. A., Orlov E. L., Bogomolov I. S. (2020) NPC "VNIIPK": highly efficient feed mills in block-modular design. *Poultry farming*. № 1, 23-29. (in Russ.).
8. Belova, T. I., Agashkov, E. M., Gavrishchuk, V. I., Zakharchenko, G. D., Rodicheva, M. V., Abramov, A.V., & Terekhov, S. V. (2019). Development of modern methods of protection of employees working in the agricultural sector. (in Russ.).
9. Belova, T. I., Agashkov, E., Terekhov, S. V., Chernova, E. G., & Zakharchenko, D. A. (2018). Justification of improving the safety of working receiving points of feed production elevators. *Technosphere Security in the agroindustrial complex* (pp. 201-210) (in Russ.).
10. Belova, T. I., Agashkov, E.M., Terekhov, S. V. & Chernova, E. G. (2018) Reduction of injury hazards to operators of grain elevators. *Innovative ways of solving urgent problems of nature management and environmental protection: collection of reports*. 26-31. (in Russ.).
11. Be Belova, T., Agashkov, E., Terekhov, S., & Markaryants, L. (2019, December). Improving the technological reliability and safety of feed mills production lines. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 698, No. 7, p. 077058). IOP Publishing.
12. Belova, T. I., Agashkov, E. M., Chernova, E. G., & Terekhov, S. V. (2019). Ensuring the protection of the environment at the combined feed mills. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 698, No. 7, p. 077064).
13. Zavrazhnov, A. I., Tishaninov K. N. (2010) Justification of the regulating ability of the grain flow divider. *Mechanization and electrification of agriculture*. 5, 30-31 (in Russ.).
14. Bannikov, D. O. (2008) Peculiarities of the process of unloading of the bunker capacities. *Metallurgical and mining industry*. 5, 131-135 (in Russ.).

15. Savenkov, D. N. (2015) Influence of design parameters of the hopper with a side outlet on the uni-formity of unloading of grain material. *Vestnik Kursk State Agricultural Academy*. 8, 223-225 (in Russ.).
16. Bogomyakikh, V. A., Skudina A. A. (2015) About the pulsation frequency of a bulk solid leaving the outlet of the hopper of the highest flow rate. *Young Scientist*. 14 (94), 139-142 (in Russ.).
17. Belova, T. I., Gavrishchuk, V. I., Abramov, A. V., Agashkov, E. M. & Burak, V. E. (2012) Improvement of working conditions using automated and automatic systems for regulating the air environment parameters and means of individual protection. *Bulletin of MANEB*. 17. 3. 91-94 (in Russ.).
18. Belova, T. I., Burak, V. E., Agashkov, E. M. & Geraskova, O. B. (2010) Classification of systems of automatic removal of harmful substances from the air of industrial premises. *Bulletin of MANEB*. 15. S4. 116-118. (in Russ.).
19. Belova, T. I., Gavrishchuk, V. I., Chernova, E. G., Shuvalov, V. V., Terekhov, S. V. & Agashkov, E. M. (2017) Dust reduction during unloading of bulk materials. *Rural mechanizer*. 5, 24-25 (in Russ.).
20. Shkrabak V. S., Vergun P. I., Bedarev V. V., Ilyashchenko A. A., Morozov V. A., Eliseikin V. A. (1994) *Patent No. 2023640 C1* Russian Federation, MPK B65D 90/54, A01F 12/60. Device for regulating the feeding of bulk material : No. 5019368/15 : applied. 27.12.1991 : published 30.11.1994; applicant Leningrad Agricultural Institute (in Russ.).
21. Shkrabak V. S., Bedarev V. V., Ilyashchenko A. A., Eliseikin V. A., Selivanova M. A. (1995) *Patent No. 2027652 C1* Russian Federation, MPK B65D 90/58. Device for blocking the gate valves of grain storage bins : No. 5028678/13 : applied. 02.07.1992 : published on 27.01.1995; applicant Leningrad State Agrarian University (in Russ.).
22. Gjachev, L. V. (1992). Fundamentals of bunker theory. Novosibirsk. (in Russ.).
23. Savenkov, D. N. (2015) Influence of design parameters of the hopper with a side outlet on the uni-formity of unloading of grain material. *Bulletin of Kursk State Agricultural Academy*. 8. 223-225. (in Russ.).
24. Belova, T. I., Agashkov, E. M., Terekhov, S. V. & Snegireva, A. A. (2020) Assessment of the effectiveness of the use of the system of automated regulation of the process of expiration of grain material from the hopper. *Innovations and technological breakthrough in agro-industrial complex* : collection of scientific papers. 214-222. (in Russ.).
25. Belova, T. I., Agashkov, E. M. & Burak, V. E. (2022) Influence of the uniform flow of bulk materials on the safety of the technological process. *Technosphere and Environmental Safety in Transport*. 19-23 (in Russ.).

Информация об авторах:

Т. И. Белова – доктор технических наук, профессор;
 Е. М. Агашков – кандидат технических наук, доцент;
 Р. В. Шкрабак – кандидат технических наук, доцент;
 К. И. Портнова – аспирант;
 В. С. Шкрабак – доктор технических наук, профессор.

Information about the authors:

T. I. Belova – Doctor of Technical Sciences, Professor;
 E. M. Agashkov – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;
 R. V. Shkrabak – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;
 K. I. Portnova – postgraduate student;
 V. S. Shkrabak – Doctor of Technical Sciences, Professor.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 14.03.2025; одобрена после рецензирования 14.05.2025; принята к публикации 27.05.2025.
 The article was submitted 14.03.2025; approved after reviewing 14.05.2025; accepted for publication 27.05.2025.