

Научная статья 1
УДК 631.3:636:636.084.7
DOI: 10.66783/2782-3172.2026.85.79.012

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ ПАТЕНТНЫХ РЕШЕНИЙ ВИБРАЦИОННЫХ ДОЗАТОРОВ ДЛЯ ВЫСОКОТОЧНОГО ДОЗИРОВАНИЯ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ

Дмитрий Алексеевич Пронин¹, Сергей Юрьевич Булатов², Алексей Николаевич Пронин³

¹Нижегородский радиотехнический колледж, Нижний Новгород, Россия

²Нижегородский государственный инженерно-экономический университет, Нижегородская область, Княгинино, Россия

³ЦНИИ «Буревестник», Нижний Новгород, Россия

Автор, ответственный за переписку: Дмитрий Алексеевич Пронин, dimflix.official@gmail.com

Аннотация

В современных условиях функционирования производства, осложненного жесткими санкционными ограничениями, введенными против России странами Запада, приоритетным направлением является импортозамещение на основных направлениях производственной составляющей, включая перерабатывающие предприятия в сельскохозяйственной, пищевой, химической, фармацевтической и других отраслях промышленности, на которых применяется огромное количество различных дозирующих устройств, включая вибрационные дозаторы. В данной статье проведен анализ существующих патентных решений вибрационных дозаторов с регулируемым зазором для дозирования сыпучих материалов с целью выявления нерешенных задач и направлений для дальнейших исследований в области высокоточного дозирования. Для изучения существующих патентных решений вибрационных дозирующих устройств с регулируемым зазором для высокоточного дозирования сыпучих компонентов проведен анализ обширной базы литературных источников, включая патенты, научные статьи, технологические процессы и технические руководства. Также изучен опыт использования различных моделей вибрационных дозаторов в различных отраслях промышленности, начиная с сельскохозяйственной, животноводческой и заканчивая пищевой, фармацевтической, химической и горнодобывающей промышленности. Анализ ключевых патентных решений вибрационных дозирующих устройств с регулируемым зазором для высокоточного дозирования сыпучих компонентов показал, что их возможно классифицировать по определенным категориям, таким как: системы с автоматическим регулированием зазора, твердотельные системы с пьезоприводом, многоканальные системы дозирования, системы адаптивного управления вибрацией, высокоточные системы малых доз и промышленные тяжелые системы. Каждая категория имеет свои основные характеристики, конструкционные особенности, системы контроля и управления, технические показатели. Рассматриваемые патентные разработки в основном описывают решения для конкретного направления производства, где отсутствуют универсальные подходы для различных объемов производства. После детального рассмотрения определены нерешенные проблемы и возможные направления для дальнейших исследований. При рассмотрении существующих патентных решений вибрационных дозаторов с регулируемым зазором для высокоточного дозирования сыпучих компонентов необходимо отметить, что основные проблемы высокоточного дозирования заключаются в недостаточном быстродействии механических систем регулирования зазора и в наличии неучтенной массы «компонента в полете» – материала, покинувшего лоток, но не достигнувшего приемной емкости после остановки процесса дозирования. Отсутствуют системы контроля физико-механических свойств

компонентов, так как влияние влажности на свойства компонента представляет особую сложность для вибрационного дозирования. Для решения поставленных задач необходима разработка адаптированных алгоритмов координации для минимизации времени цикла, программ, протоколов связи, применение искусственного интеллекта и методов машинного обучения для оптимизации процесса дозирования.

Ключевые слова: вибрационное дозирующее устройство, сыпучие компоненты, точность дозирования, регулируемый зазор, алгоритм управления, автоматизация, погрешность

Финансирование: исследование, на основе результатов которого написана данная статья, финансировалось за счет собственных средств авторов

Для цитирования: Пронин Д. А., Булатов С. Ю., Пронин А. Н. Анализ существующих патентных решений вибрационных дозаторов для высокоточного дозирования сыпучих материалов // Вестник Вятского ГАТУ. 2026. № 2. С. 94–102. DOI: 10.66783/2782-3172.2026.85.79.012.

ANALYSIS OF EXISTING PATENTED SOLUTIONS FOR VIBRATING FEEDERS USED IN THE HIGH-PRECISION DOSING OF BULK SOLIDS

Dmitry A. Pronin¹, Sergey Yu. Bulatov², Alexey N. Pronin³

¹Nizhny Novgorod Radio Engineering College, Nizhny Novgorod, Russia

²Nizhny Novgorod State University of Engineering and Economics, Knyaginino, Nizhny Novgorod Region, Russia

³Burevestnik Central Scientific Research Institute, Nizhny Novgorod, Russia

Corresponding author: Dmitry A. Pronin, dimfrix.official@gmail.com

Abstract

In today's manufacturing environment, complicated by strict sanctions imposed on Russia by Western countries, import substitution is a priority in key production areas, including processing plants in the agricultural, food, chemical, pharmaceutical, and other industries, which employ a wide variety of dosing devices, including vibrating feeders. This article analyzes existing patented designs for adjustable-gap vibrating feeders for bulk solids to identify unsolved problems and areas for further research in the field of high-precision dosing. To examine the existing patented designs for adjustable-gap vibrating feeders for high-precision dosing of bulk solids, we have analyzed the extensive literature base, including patents, scientific articles, process engineering, and technical manuals. We have also examined the experience of using various vibrating feeder models in various industries, ranging from agriculture and livestock to food, pharmaceutical, chemical, and mining. The analysis of key patents for adjustable-gap vibrating dosing devices for high-precision bulk solids dosing has revealed that they can be classified into specific categories, including: systems with automatic gap adjustment, solid-state systems with piezoelectric actuators, multi-channel dosing systems, adaptive vibrating control systems, high-precision small-dose systems, and heavy-duty industrial systems. Each category has its own key characteristics, design features, control and monitoring systems, and performance indicators. The patents under review primarily describe the solutions for specific production areas, where universal approaches for varying production volumes are lacking. After a detailed review, unresolved issues and potential areas for further research have been identified. When examining the existing patented solutions for vibrating feeders with adjustable gaps for high-precision dosing of bulk solids, it should be noted that the main challenges of high-precision dosing are the insufficient response of mechanical gap adjustment systems and the presence of the unaccounted mass of "in-flight component"—material that has left the bay but has not reached the receiving container after the dosing process has stopped. There are no systems for monitoring

the physical and mechanical properties of the components, as the effect of moisture on component properties presents a particular challenge for vibrating dosing. To address these challenges, it is necessary to develop the adapted coordination algorithms to minimize cycle time, programmes, communication protocols, and the use of artificial intelligence and machine learning methods to optimize the dosing process.

Keywords: vibrating feeder, bulk solids, dosing accuracy, adjustable gap, control algorithm, automation, error

Funding: the study on which the article is based was funded by the authors' own funds

For citation: Pronin DA, Bulatov SYu, Pronin AN. Analysis of existing patented solutions for vibrating feeders used in the high-precision dosing of bulk solids // Vestnik Vyatskogo GATU. 2026;(2):94–102. DOI: 10.66783/2782-3172.2026.85.79.012. (In Russ.).

Введение. Высокоточное дозирование сыпучих материалов является критически важным технологическим этапом на современных перерабатывающих предприятиях, в том числе в сельскохозяйственной отрасли [1]. В производстве кормов для животноводства и птицеводства этот процесс приобретает важное значение, поскольку рецептуры включают десятки компонентов с существенно различающимися физико-механическими свойствами: сыпучестью, гидроскопичностью, насыпной плотностью, размером и формой частиц, углом естественного откоса, а также склонностью к слеживанию и расслоению. Узкая специализированность дозаторов от неоднородности сырья приводит к систематическим погрешностям дозирования, нарушению технологического процесса и рецептуры многокомпонентной смеси, снижению биологической ценности корма, а также к росту производственных издержек. В связи с этим в современных отечественных исследованиях активно прорабатываются как новые алгоритмы управления системами дозирования, так и результаты практических испытаний различных типов дозаторов (включая шнековые системы) для сухих сыпучих компонентов комбикормов [2, 3].

В настоящее время на заводах по производству кормовых смесей массово применяются вибрационные дозаторы различных конструкций. Основное большинство из которых оптимизировано под работу с относительно гомогенными компонентами и не обеспечивает стабильную точность при дозировании многокомпонентных комбикормов в режиме высокой производительности. Современные требования отрасли предполагают достижение погрешности не более ± 1 г при скорости заполнения тары массой от 1 до 50 кг [4].

Материалы и методы. Для анализа существующих патентных решений вибрационных дозирующих устройств с регулируемым зазором для высокоточного дозирования сыпучих компонентов проведен анализ обширной базы литературных источников, включая патенты [5–10], научные статьи, технологические процессы и технические руководства. Осуществлено рассмотрение современных трендов и направлений в развитии цифровой инфраструктуры, включая вопросы интеграции предприятий с промышленным интернетом. Особое внимание уделено использованию искусственного интеллекта при применении методов машинного обучения в области оптимизации процесса дозирования, определения оптимальных параметров на основе характеристик дозируемого компонента [11], коррекции процессов с использованием нейросетей. Также изучен опыт использования различных моделей вибрационных дозаторов в различных отраслях промышленности, начиная с сельскохозяйственной, животноводческой и заканчивая пищевой, фармацевтической, химической и горнодобывающей промышленности [12].

Результаты и обсуждение. Анализ ключевых патентных решений вибрационных дозирующих устройств для высокоточного дозирования сыпучих компонентов показал, что их возможно классифицировать по определенным категориям (таблица 1).

Таблица 1. Классификация патентных решений

Категория / пример патента	Основные характеристики
Системы с автоматическим регулированием зазора [5]	Программное управление зазором, обратная связь по массе
Твердотельные системы с пьезоприводом [6]	Пьезоэлектрические приводы, отсутствие механических узлов
Многоканальные системы дозирования [7]	Параллельное грубое и точное дозирование через разные каналы
Высокоточные системы малых доз [8]	Точность до 0,2 г, применение для кофе и специй
Промышленные тяжелые системы [9]	Большая производительность, применение для цемента и минералов
Системы адаптивного управления вибрацией [10]	Резонансное слежение, цифровой контроллер DSP

Рассмотрим устройство с автоматическим регулированием зазора, оборудованное классическими механическими электроприводами с системой интеллектуального управления, способной автоматически оптимизировать параметры работы для достижения заданной точности производительности [5]. Такие устройства в процессе работы учитывают физико-механические свойства дозируемых компонентов и адаптируются к их изменениям [13, 14]. Имеют двухуровневую систему коррекции с возможностью изменения зазора питающего лотка, а также амплитуды и частоты его колебания. Устройства предназначены для высокопроизводительного дозирования в диапазоне от 10 до 200 кг/ч для сыпучих компонентов с различными характеристиками текучести. Имеет ряд таких основных недостатков, как сложность механизма регулирования высоты зазора при относительно медленной реакции механической системы. Для дозируемых компонентов требуется предварительная калибровка.

Дозатор, описываемый в патенте [6], является прорывным решением, где вместо классических механических приводов установлены пьезоэлектрические биморфные изгибные элементы, которые используются для создания вибрации. Материал передаётся по баллистической траектории. Система управления использует интеллектуальный алгоритм, основанный на информации обратной связи от пьезоэлектрических элементов, для определения массы выданного компонента путем соотношения энергии возбуждения с энергией возврата. В автоматическом режиме возможно управлять скоростью потока предпитателя или полностью останавливать его работу, с учетом накопленной массы и сравнением с заданным значением. Разработка обеспечивает высокую точность дозирования, быструю реакцию на управляющие сигналы и широкий диапазон регулирования скорости подачи. Имеет характерные недостатки, заключающиеся в ограниченной производительности при дозировании больших объёмов, высокой стоимости пьезоэлектрических элементов и их чувствительности к температуре и влажности.

Патент [7] описывает оригинальный дозатор для макаронных изделий, с возможностью адаптации под дозирование сыпучих компонентов с различными физико-механическими свойствами. Конструкция состоит из рамы, где установлены две ферромагнитные катушки с расположенными напротив двумя каналами с сердечниками, а также подвижной регулируемой перегородки для распределения компонента между каналами. Основной канал с высокой амплитудой и частотой вибрации предназначен для максимальной производительности, а второй канал с низкой амплитудой и частотой вибрации – для обеспечения точного дозирования. Основополагающим фактором является возможность одновременного использования параллельных каналов грубого и точного дозирования, что позволяет проводить гибкую настройку для достижения максимальной производительности и точности дозирования с сокращением времени цикла операции. Скорость дозирования

достигает 10–200 доз в минуту с точностью $\pm 1-3$ г. Основные недостатки: сложная система управления, увеличенные габариты конструкции, высокая стоимость обслуживания и изделия.

Устройство, представленное в патенте [8], разработано для дозирования сыпучих компонентов с высокими требованиями к точности $\pm 0,2$ г. Новизна технических решений заключается в том, что для обеспечения высокой точности дозирование происходит на высокой частоте 140 Гц при амплитуде менее 0,5 мм и минимальном прецизионном зазоре менее 2 мм. Кроме того, устройство оснащено специальным механизмом быстрой отсечки. Дозатор имеет ряд существенных недостатков, заключающихся в ограниченном диапазоне дозирования от 1 до 40 г, низкой производительности и чувствительности к физико-механическим свойствам.

Описываемая промышленная система [9] для дозирования больших объемов продукции относится к конструкциям для тяжелых условий эксплуатации. Дозирование проводится в диапазоне от 100 кг до нескольких тонн в час с точностью дозирования $\pm 0,5-2$ %. Имеет усиленную раму и лоток, мощный электромагнитный вибропривод и регулируемый зазор подачи компонента от 10 до 100 мм. Система оснащена многоуровневой схемой управления, включающей в себя регулировку амплитуды вибрации и зазора подачи с системой учета и компенсации массы «компонента в полете». Основным недостатком заключается в том, что применимость данного устройства ограничена при дозировке массы до 100 кг погрешностью свыше 2 %.

Ключевой особенностью концепции адаптивного управления [10] является использование цифровых сигнальных процессоров (DSP) для мониторинга процесса в реальном времени и решения сложных алгоритмов управления, за счет чего снижается энергопотребление на 20–30 %, стабилизируется расход материала с автоматической адаптацией к изменению физико-механических свойств компонентов. Система с помощью акселерометра непрерывно отслеживает ускорение вибрационного привода, определяет резонансную частоту и амплитуду движения. Для поддержания резонансного режима имеется возможность автоматической подстройки, а в случае колебаний уровня загрузки – компенсации ее изменений. Через удаленный Ethernet-интерфейс возможно проводить мониторинг и диагностику.

На основе проведенного анализа можно сформулировать следующие ключевые выводы. Особо важным конструктивным элементом для высокоточных дозаторов сыпучих компонентов (в частности, ингредиентов комбикормов, обладающих различными физико-механическими свойствами) является система точной отсечки потока. При этом дозирование должно осуществляться строго по массе с использованием весовой обратной связи, так как объемное дозирование не обеспечивает требуемой точности из-за изменения насыпной плотности материалов.

Анализ показал, что простого механического регулирования зазора недостаточно для достижения высокой точности. Для повышения точности и производительности необходимо разработать устройство, реализующее стратегию двухстадийного дозирования (грубое + точное) за счет изменения амплитуды колебаний лотка. По аналогии с режимом точной досыпки в шнековых дозаторах, предлагаемое устройство должно работать на высокой амплитуде для быстрого заполнения (грубый этап), а при приближении к заданной массе – автоматически уменьшать амплитуду вибрации (или переходить в импульсный режим) для точной досыпки и минимизации погрешности от «компонента в полете». Для достижения высокой точности $\pm 1-2$ г необходимо внедрение адаптивных алгоритмов управления с использованием машинного обучения, которые будут компенсировать изменение физико-механических свойств (например, влажности) дозируемого компонента. Для увеличения производительности – рассматривать многоканальные архитектуры с параллельными каналами грубого и точного дозирования [15]. Ввиду необходимости снижения электропотребления и повышения стабильности работы оборудования стоит обратить внимание на возможное использование резонансного возбуждения вибрации

с автоматическим слежением за изменением резонансной частоты. Несмотря на недостатки пьезоэлектрических приводов, открываются новые возможности и перспективы в области сверхточного дозирования. Интеграция с цифровыми системами управления (IoT, ML) постепенно становится стандартом для современного оборудования и позволяет легко встраивать оборудование в цифровую инфраструктуру предприятия.

Заключение. При рассмотрении существующих патентных решений вибрационных дозаторов для высокоточного дозирования сыпучих компонентов выявились нерешенные задачи и направления для дальнейших исследований. Необходимо отметить, что основные проблемы высокоточного дозирования заключаются в недостаточном быстродействии механических систем регулирования зазора и в наличии неучтенной массы «компонента в полете» — материала, покинувшего лоток, но не достигнувшего приемной емкости после остановки процесса дозирования. Отсутствуют системы контроля физико-механических свойств компонентов, так как влияние влажности на свойства компонента представляет особую сложность для вибрационного дозирования [16–19]. Для решения поставленных задач необходима разработка адаптированных алгоритмов координации для минимизации времени цикла, программ, протоколов связи [20, 21], применение искусственного интеллекта и методов машинного обучения для оптимизации процесса дозирования. Современное производство требует высокоскоростной синхронизации дозаторов с другими видами оборудования, внедрения универсальных подходов [22] для различных объемов производства, масштабируемости. Перспективным направлением является развитие комбинированных систем вибрационного и аэродинамического воздействия. Использование технологий пьезоэлектрических и MEMS-актуаторов открывает новое направление для создания эргономичных энергоэффективных дозирующих устройств для применений в автоматизированной розничной торговле, автоматах по продаже товаров, персонализированном производстве пищевых продуктов.

Список источников

1. CITEX Holding GmbH. (2023). Vibration feeder device and method for vibration feeding of bulk material. US Patent 11,673,751 B2. URL: <https://patents.google.com/patent/US11673751B2> (дата обращения: 14.03.2026).
2. Программа управления системой дозирования сухих сыпучих компонентов комбикорма / С. Ю. Булатов, В. Н. Нечаев, А. Н. Пронин [и др.] // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2024. № 1. С. 82–88. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=67879900> (дата обращения: 05.05.2026).
3. Булатов С. Ю., Пронин А. Н. Результаты исследований шнекового дозатора сухих сыпучих компонентов комбикорма // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2024. Т. 25, № 1. С. 123–133. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=60955386> (дата обращения: 05.05.2026).
4. Spirol International Corporation. (2021). Methods and systems for controlling a vibratory feeder. US Patent 10,974,908 B2. URL: <https://patents.google.com/patent/US10974908B2>.
5. CITEX Holding GmbH. (2022). Vibration feeder device and method for vibration feeding of bulk material. US Patent Application 2022/0017312 A1. URL: <https://patents.google.com/patent/US20220017312A1> (дата обращения: 18.03.2026).
6. Dudley M. (2024). Solid state gravimetric vibratory dosing feeder. US Patent 12,473,150 B2. URL: <https://patents.google.com/patent/US12473150B2> (дата обращения: 11.03.2026).
7. Marini R. (2023). A dosing apparatus for dosing long-type pasta and method thereof. European Patent EP4201209A1. URL: <https://patents.google.com/patent/EP4201209A1> (дата обращения: 02.04.2026).
8. Vibratory bean doser. (2023). World Intellectual Property Organization Patent WO2023158608A1. URL: <https://patents.google.com/patent/WO2023158608A1> (дата обращения: 25.03.2026).

9. FLSmidth, Pfister. (2012). Dosing device. US Patent 8,221,035 B2. URL: <https://patents.google.com/patent/US8221035B2> (дата обращения: 19.03.2026).
10. Spirol International Corporation. (2020). Methods and systems for controlling a vibratory feeder. US Patent Application 2020/0002100 A1. URL: <https://patents.google.com/patent/US20200002100A1> (дата обращения: 08.04.2026).
11. Мельников С. В. Методика изучения физико-механических свойств сельскохозяйственных растений. М. : ВИСХОМ, 1960. 277 с.
12. Поляков С. И. Проблема достижения точности дозирования материалов // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2005. № 11. С. 145–148.
13. Владимиров С. В., Корнийчук В. Г. Влияние воздуха на точность дозирования трудно сыпучих пищевых продуктов // Актуальные проблемы биоразнообразия и природопользования : материалы II Национальной научно-практической конференции, посвященной 20-летию кафедры Экологии моря ФГБОУ ВО «КГМТУ». Симферополь, 2019. С. 462–465.
14. Катыльков А. В., Любартович В. А. Дозирование сыпучих и вязких материалов. Л. : Химия. Ленингр. отделение, 1990. 240 с.
15. Демченко В. А., Казаков Ю. Р. Пути повышения точности работы дозаторов для сыпучих пищевых продуктов // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств. 2015. № 1. С. 37–42.
16. Alfons Tschritter GmbH. (2017). Dosing method and dosing device for particles of bulk material. US Patent Application 2017/0029218 A1. URL: <https://patents.google.com/patent/US20170029218A1> (дата обращения: 12.04.2026).
17. Дереза О. О., Дереза С. В. Влияние свойств сыпучих материалов на точность дозирования // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. 2011. Т. 11, № 5. С. 166–169.
18. Влияние влажности зернового материала на процесс дозирования / Д. Н. Пирожков, С. А. Сорокин, Н. В. Коняев, Н. В. Назаренко // Вестник КГСХА. 2018. № 9. С. 209–214.
19. Сеидова И. А. Физико-механические свойства комбикорма и его основных компонентов // Вестник ОГАУ. 2022. № 1 (45). С. 139–146.
20. 6K Inc. (2024). Pulsed control for vibrating particle feeder. US Patent Application 2024/0417121 A1. URL: <https://patents.google.com/patent/US20240417121A1>. (дата обращения: 07.03.2026).
21. Разработка математической модели точности дозирования ингредиентов / В. В. Пеленко, А. Г. Крысин, Г. Д. Зильберштейн, А. С. Громцев, Д. С. Степкин // Процессы и аппараты пищевых производств. 2006. № 1. С. 26–33.
22. Петров С. А. Особенности процесса дозирования и критерии его эффективности в современных дозаторах временного типа // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2022. № 2. С. 661–666.

Refetences

1. CITEX Holding GmbH. (2023). Vibration feeder device and method for vibration feeding of bulk material. US Patent 11,673,751 B2. <https://patents.google.com/patent/US11673751B2> [Accessed 14 March 2026].
2. Bulatov SYu, Nechaev VN, Pronin AN, et al. Control program for the dosing system of dry bulk feed components. Vestnik rossiyskoy sel'skokhozyaystvennoy nauki. 2024;(1):82–88. <https://elibrary.ru/item.asp?id=67879900> [Accessed 5 May 2026]. (In Russ.).
3. Bulatov SYu, Pronin AN. The results of research of the screw dispenser of dry bulk feed components. Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka. 2024;25(1):123–133. <https://elibrary.ru/item.asp?id=60955386> [Accessed 5 May 2026]. (In Russ.).

4. Spirol International Corporation. (2021). Methods and systems for controlling a vibratory feeder. US Patent 10,974,908 B2. <https://patents.google.com/patent/US10974908B2> [Accessed 6 July 2017].
5. CITECH Holding GmbH. (2022). Vibration feeder device and method for vibration feeding of bulk material. US Patent Application 2022/0017312 A1. <https://patents.google.com/patent/US20220017312A1> [Accessed 18 March 2026].
6. Dudley M. (2024). Solid state gravimetric vibratory dosing feeder. US Patent 12,473,150 B2. <https://patents.google.com/patent/US12473150B2> [Accessed 11 March 2026].
7. Marini R. (2023). A dosing apparatus for dosing long-type pasta and method thereof. European Patent EP4201209A1. <https://patents.google.com/patent/EP4201209A1> [Accessed 2 April 2026].
8. Vibratory bean doser. (2023). World Intellectual Property Organization Patent WO2023158608A1. <https://patents.google.com/patent/WO2023158608A1> [Accessed 25 March 2026].
9. FLSmidth, Pfister. (2012). Dosing device. US Patent 8,221,035 B2. <https://patents.google.com/patent/US8221035B2> [Accessed 19 March 2026].
10. Spirol International Corporation. (2020). Methods and systems for controlling a vibratory feeder. US Patent Application 2020/0002100 A1. <https://patents.google.com/patent/US20200002100A1> [Accessed 8 April 2026].
11. Melnikov SV. Metodika izucheniya fiziko-mekhanicheskikh svoystv sel'skokhozyaystvennykh rasteniy = Methodology for studying the physical and mechanical properties of agricultural plants. Moscow: VISKHOM; 1960. 277 p. (In Russ.).
12. Polyakov SI. The problem of achieving precision in dosing materials. Aktual'nyye problemy lesnogo kompleksa. 2005;(11):145–148. (In Russ.).
13. Vladimirov SV, Korniyuchuk VG. Vliyaniye vozdukha na tochnost' dozirovaniya trudno sypuchikh pishchevykh produktov = The influence of air on the accuracy of dosing hard-to-flow food products. In: Aktual'nyye problemy bioraznoobraziya i prirodopol'zovaniya. Materialy II Natsional'noy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 20-letiyu kafedry Ekologii morya FGBOU VO KGMTU = Actual problems of biodiversity and nature management. Proceedings of the II national scientific and practical conference dedicated to the 20th anniversary of the Department of Marine Ecology of the Federal State Budgetary Educational Institution at KSMTU, 2019. P. 462–465. (In Russ.).
14. Katalymov AV, Lyubartovich VA. Dozirovaniye sypuchikh i vyazkikh materialov = Dosing of bulk and viscous materials. Leningrad: Khimiya, Leningradskoye otdeleniye; 1990. 240 p. (In Russ.).
15. Demchenko VA, Kazakov YuR. Ways to improve the accuracy of dispensers for bulk food products. Nauchnyy zhurnal NIU ITMO. Seriya: Protsessy i apparaty pishchevykh proizvodstv. 2015;(1):37–42. (In Russ.).
16. Alfons Tschritter GmbH. (2017). Dosing method and dosing device for particles of bulk material. US Patent Application 2017/0029218 A1. <https://patents.google.com/patent/US20170029218A1> [Accessed 12 April 2026].
17. Dereza OO, Dereza SV. Influence of bulk material properties on dosing accuracy. Pratsi Tavriys'kogo derzhavnogo agrotekhnologichnogo universitetu. 2011;11(5):166–169. (In Russ.).
18. Pirozhkov DN, Sorokin SA, Konyaev NV, Nazarenko NV. Influence of grain material moisture content on the dosing process. Vestnik KGSKHA. 2018;(9):209–214. (In Russ.).
19. Seidova IA. Physicomechanical properties of compound feed and its main components. Vestnik OGAU. 2022;(1):139–146. (In Russ.).
20. 6K Inc. (2024). Pulsed control for vibrating particle feeder. US Patent Application 2024/0417121 A1. <https://patents.google.com/patent/US20240417121A1> [Accessed 7 March 2026].

21. Pelenko VV, Krysin AG, Zilbershtein GD, Gromtsev AS, Stepkin DS. Development of a mathematical model for the accuracy of ingredient dosing. *Protsessy i apparaty pishchevykh proizvodstv.* 2006;(1):26–33. (In Russ.).
22. Petrov SA. Features of the dosing process and criteria for its efficiency in modern time-type dispensers. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskiye nauki.* 2022;(2):661–666. (In Russ.).

Информация об авторах

Пронин Дмитрий Алексеевич, студент 4 курса «Информационные системы и программирование», ГБПОУ «Нижегородский радиотехнический колледж», ул. Студенческая, д. 6, г. Нижний Новгород, Российская Федерация, 603022
e-mail: dimflix.official@gmail.com

Булатов Сергей Юрьевич, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Технические системы и технологии», ГБОУ ВО «Нижегородский государственный инженерно-экономический университет», ул. Октябрьская, д. 22А, г. Княгинино, Нижегородская область, Российская Федерация 606340
e-mail: bulatov_sergey_urevich@mail.ru

Пронин Алексей Николаевич, кандидат технических наук, АО «ЦНИИ «Буревестник», Сормовское шоссе, д. 1а, г. Нижний Новгород, Российская Федерация, 603950
e-mail: aleksei031323@yandex.ru

Information about the authors

Dmitry A. Pronin, fourth-year student in Information Systems and Programming, Nizhny Novgorod Radio Engineering College, 6 Studencheskaya Street, Nizhny Novgorod, 603022, the Russian Federation
e-mail: dimflix.official@gmail.com

Sergey Yu. Bulatov, doctor of technical sciences, associate professor, professor of the Department of Technical Systems and Technologies of Nizhny Novgorod State University of Engineering and Economics, 22A Oktyabrskaya Street, Knyaginino, Nizhny Novgorod Region, 606340, the Russian Federation
e-mail: bulatov_sergey_urevich@mail.ru

Alexey Nikolaevich Pronin, candidate of technical sciences, Burevestnik Central Scientific Research Institute, 1a Sormovskoye Shosse, Nizhny Novgorod, 603950, the Russian Federation
e-mail: aleksei031323@yandex.ru

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов

Conflict of interest: the authors declared that there was no conflict of interest

Статья / The article

поступила в редакцию / was received	04.06.2026
одобрена после рецензирования / approved after reviewing	10.06.2026
принята к публикации / accepted for publication	18.06.2026