УДК 656.212.6.073

ПРОБЛЕМЫ ХРАНЕНИЯ И ВЫГРУЗКИ ТРУДНОСЫПУЧИХ ГРУЗОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ ИЗ ПРИРЕЛЬСОВЫХ СКЛАДОВ БУНКЕРНОГО ТИПА

© 2026 А.Л. Мишанин[1], А.В. Варламов[2], А.Б. Фокеев[2], Н.Н. Мазько[2], Н.Х. Варламова[2]

[1] Самарский федеральный исследовательский центр Российской академии наук, г. Самара, Россия
[2] Приволжский государственный университет путей сообщения, г. Самара, Россия

Статья поступила в редакцию 10.03.2026

Президентским указом от 7 мая 2024 г. № 309 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года» перед правительством России поставлена цель подготовить комплекс мероприятий, обеспечивающих выполнение следующих задач в сфере агропромышленности: повышение уровня объемов выпуска сельскохозяйственной продукции минимум на четверть относительно уровня 2021 года, рост экспортных поставок продукции АПК минимум в полтора раза по отношению к показателям 2021 года [1]. Рост производительности повлечет за собой дополнительную нагрузку на предприятия АПК и железнодорожный транспорт, в том числе на прирельсовые склады бункерного типа, предназначенные для временного хранения грузов сельскохозяйственного назначения (зерно, комбикорм, минеральные удобрения и т.д.) и загрузки ими специализированного подвижного состава. Широко востребованные сыпучие грузы активно используют в промышленном производстве и агропромышленном комплексе. Для обеспечения сохранности такого типа продукции используются прирельсовые склады с бункерными устройствами. Транспортировка сыпучих грузов осуществляется преимущественно железнодорожным транспортом в универсальных или специализированных вагонах, позволяющих перевозить их навалом, насыпью или в пакетированном виде. В данной статье рассмотрены конструктивно-технологические схемы мобильных вспомогательных запатентованных авторами сводообрушающих устройств, позволяющих ускорить и облегчить загрузку подвижного состава грузами, хранящимися в данных складах.

Ключевые слова: хранение, выгрузка, трудносыпучие грузы, сыпучие материалы, прирельсовые склады, бункерные устройства, сводообразование, сводообрушитель, инновационные конструкции, статическая нагрузка.

DOI: 10.37313/1990-5378-2026-28-4-54-62
EDN: FNBZDC

ВВЕДЕНИЕ

В текущих условиях рынка транспортных услуг оптимальным вариантом доставки и хранения сыпучих грузов является бестарный способ, предусматривающий хранение в накопительных емкостях разнообразного вида – силосах, бункерах, контейнерах. Эти решения обеспечивают бесперебойную и своевременную работу всех элементов производственного процесса. Бестарный способ хранения и последующей погрузки сыпучих материалов способствует повышению уровня механизации и автоматизации соответствующих операций, исключению ручного труда, повышению производительности труда. Это не только обеспечивает повышение безопасности рабочих процессов, но и улучшает санитарно-эпидемиологические условия на предприятии.

В работе авторами рассмотрены процессы сводообразования в бункерных устройствах различного назначения и способы осуществления дополнительных компенсационных воздействий на хранящийся в них сыпучий материал для повышения эффективности работы оборудования путем улучшения его технических характеристик, обеспечивающих стабилизацию его выходных характеристик.

Исследования проводились с использованием системного подхода. Объектом исследования выступали сыпучие материалы, хранящимся или перевозимые в емкостях разной формы, содержащие частицы сложного гранулометрического состава, характеризующиеся неоднородностью размеров и

Мишанин Александр Леонидович, кандидат технических наук, заместитель директора по научной работе. E-mail: Mishanin_al@mail.ru
Варламов Александр Васильевич, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии грузовой и коммерческой работы, станции и узлы. E-mail: varlamov65@yandex.ru
Фокеев Анатолий Борисович, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии грузовой и коммерческой работы, станции и узлы. E-mail: fokeevab@gmail.com
Мазько Наталья Николаевна, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии грузовой и коммерческой работы, станции и узлы. E-mail: n.mazko@samgups.ru
Варламова Нелли Хасановна, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии грузовой и коммерческой работы, станции и узлы. E-mail: nellifurtada@mail.ru

форм зерен, хаотично распределенных внутри емкости. Помимо прочего, сыпучие материалы обладают характеристиками как твердых тел (каждая отдельная частица является твердым телом), так и жидких сред (совокупность частиц способна перемещаться как поток жидкости). Несмотря на это, сыпучие материалы обладают уникальными свойствами, которые существенно отличаются от характеристик твердых тел и жидкостей. Одной из ключевых особенностей таких материалов является их дискретность, которая играет важную роль в формировании явления сводообразования. При проектировании бункерных устройств с дополнительным оборудованием для разрушения сводов необходимо учитывать физические, механические, химические свойства сыпучих грузов [2].

При загрузке сыпучих материалов из бункерных устройств в мобильные емкости или выгрузке их самотеком (под действием собственного веса) возникает проблема замедления истечения или его полной остановки. Как правило, это вызвано следующими причинами:

- повышенным коэффициентом трения между стенками оборудования (бункера, лотка, кузова самосвала и т.д.) и частицами хранящегося и перемещающегося материала;
- высокой адгезией частиц хранящегося и перемещающегося материала, что приводит к прилипанию материала на стенки оборудования;
- высокой абсорбцией хранящегося и перемещающегося материала, что дополнительно усиливает адгезию и приводит к налипанию, а в холодное время года - примерзанию материала к стенкам оборудования, а также слипанию частиц материала с образованием крупных кусков;
- «слеживанием» переваливаемого материала в процессе хранения с образованием сводов, которые могут полностью перекрывать поток перемещаемого материала, а также образованием в толще материала «крысиных нор», в которых только и происходит движение переваливаемого материала.

При хранении насыпных грузов в бункерных устройствах возникают проблемы, связанные с перебоем истечения сыпучего материала, что, в свою очередь, приводит к снижению доли использования полезного объема емкости. Причиной является образование сводов, появление которых зависят от конструкции емкости, гранулометрического состава материала, его влажности, а также влияние оказывают параметры бункерных устройств, длительность хранения и особенности технологических операций, проводимых с насыпным грузом [3].

Устранение проблемы задержки выпуска сыпучего материла из емкостей обеспечит необходимые условия для непрерывной работы бункерных устройств, улучшит сохранность груза и продлит срок службы самого устройства.

Использование стационарных и мобильных сводоразрушителей с отклоняющимся рабочим органом позволит устранять своды, выполнять очистку внутренней поверхности бункерных устройств, и, следовательно, осуществлять беспрепятственный выпуск сыпучего материала из емкости независимо от физико-механических характеристик груза.

Проблемой сводообразования в сыпучей среде и задержкой истечения сыпучего материала из бункерных устройств различной формы занимались и занимаются многие отечественные и зарубежные исследователи (К.В. Алферов, И.И. Блехман, В.А. Богомягких, И.В. Горюшинский, В.С. Горюшинский, Л.В. Гячев, Э.В. Дженике, Р.Л. Зенков, Р.Квапил, В.С. Кунаков, В.Ф. Семенов, В.В. Соколовский, Г.М. Третьяков, С.Ф. Яцун и др.). Ими представлены теоретические обоснования и практические советы по устранению этой проблемы. Несмотря на это, полностью искоренить ее не удается из-за большого числа воздействующих факторов [4].

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В связи с широким спектром сельскохозяйственных сыпучих грузов, различающихся своими физическими и механическими свойствами, и отсутствия в отечественном машиностроении универсальных автоматизированных, механизированных решений для устранения сводообразования, пригодных для любых типов сыпучих грузов, актуальной остается проблема разработки методов частичной механизации физического труда при устранении вручную образовавшихся сводов в бункерных устройствах с применением простейших инструментов, что требует больших затрат физической энергии.

Современный уровень требований к производительности и надежности оборудования для устранения сводов и предупреждения застревания материала внутри бункерного устройства диктует потребность в разработке новейших моделей и технологических решений. Причина заключается в том, что используемые сегодня устройства часто не соответствуют необходимым показателям производительности и безопасности, что вызывает постоянный поиск наиболее эффективных вариантов и внедрения инновационных подходов.

Анализ отечественных промышленных образцов и известных аналогичных механизмов выявил следующую закономерность: повышение эффективности их функционирования происходит при увеличении рабочей поверхности сводообрушителей, однако реализация данного подхода сопро-

вождается усложнением конструкции, направленным на соблюдение необходимых ограничений по массе и размерам эксплуатируемого оборудования [5].

В процессе разработки переносного сводообрушителя стояла задача: найти оптимальный баланс между минимальными весовыми и размерными характеристиками устройства и максимальной площадью сводообрушающего органа. Данная задача была реализована авторами в разработке, где удалось решить поставленные выше задачи (рис. 1) [6].

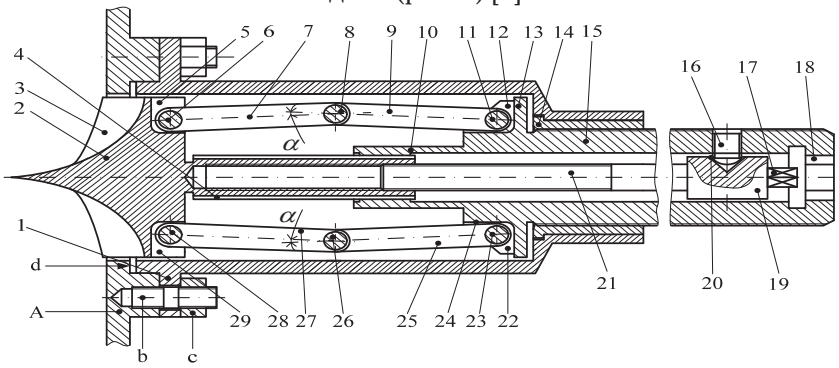

Рис. 1. Схема рычажно-«зонтикового» переносного сводообрушителя для слежавшихся сыпучих материалов (Патент России №2404866)

Сводообразующее устройство состоит из корпуса 1, который стыкуется с фланцем А бункера, требующего очистки от слежавшегося сыпучего материала, по шпилькам b гайками с.

Первичный сводообразующий орган 2 с лопастями 3 размещается внутри корпуса 1. Орган 2 имеет шлицевой хвостовик 4, который вводится в зацепление с резьбовым механическим приводом 13 через шлицевое окончание 10. Привод 13 введен в соединение с втулкой 14, запрессованной в корпус 1, через резьбовое окончание 15. Звенья вторичного сводообрушающего органа 7, 9, 25, 27 при помощи цилиндрических шарниров 6, 8, 11, 23, 26, 28 закреплены в вилочных отверстиях 5, 29 и 12, 22, выполненных в сводообрушающем органе 2 и резьбовом приводе 13.

Профильный упор 24 обеспечивает гарантированный угол а между осями звеньев 7, 9 и 25, 27 вторичного сводообрушающего органа, что позволяет исключить их «зависание».

Сводообрушающий орган 2 через резьбу соединен со штырем 21, который имеет цилиндрическую шейку 19 с конусным отверстием 20. В данное отверстие вводится резьбовой фиксатор 16, не позволяющий штырю 21 при его вращении осуществлять осевое перемещение. Вращение резьбового штыря 21 осуществляется через хвостовик 17. Для принудительного вращения окончания 15 в нем предусмотрено место 18 под специальный ключ.

Мобильное сводообрушающее устройство работает следующим образом.

При возникновении сводов сыпучих материалов в полости бункера и прекращения истечения сводообразующее устройство (рис. 1) закрепляется к бункеру по фланцу А.

Далее осуществляется вращение привода 13 (вручную или с помощью привода). Первичный сводообрушающий орган 2, перемещаясь влево в полость бункера, своими лопастями 3 действует на слежавшийся сыпучий материал, побуждая его к истечению. Движение органа 2 в полость бункера ограничено упором торца привода 13 в торец бункера d.

Если истечение сыпучего материала из бункера не будет восстановлено, то будут задействованы звенья 7, 9 и 25, 27 вторичного сводообрушающего органа, которые при вращении хвостовика 17 резьбового штыря 21 раздвинутся на максимальный угол, увеличивая тем самым площадь воздействия на сыпучий материал.

Если указанные выше мероприятия не обеспечили восстановление нормального истечения, то мобильное сводообрущающее устройство (рис. 1) отстыковывается от фланца А бункерного устройства и переставляется в другой фланец.

После восстановления истечения сыпучего материала сводообрушитель переводят в исходное положение и отстыковывают от фланца бункерного устройства. На фланец бункера устанавливается технологическая заглушка.

Дальнейшее совершенствование технического уровня переносных сводообрушителей может быть достигнуто увеличением площади несущих поверхностей сводообразующих элементов.

В рамках этой задачи была разработана оригинальная конструкция переносного сводообрушителя рычажно-«елочного» типа с раздвигающимися «ветвями», – сводообрушающими элементами (рис. 2,3) [7].

Сводообрушитель состоит из корпуса 1, прикрепляемого при помощи шпилек b и гаек k к фланцу В бункерного устройства. В корпусе сводообрушителя 1 выполнены трапециидальная резьба 2 и

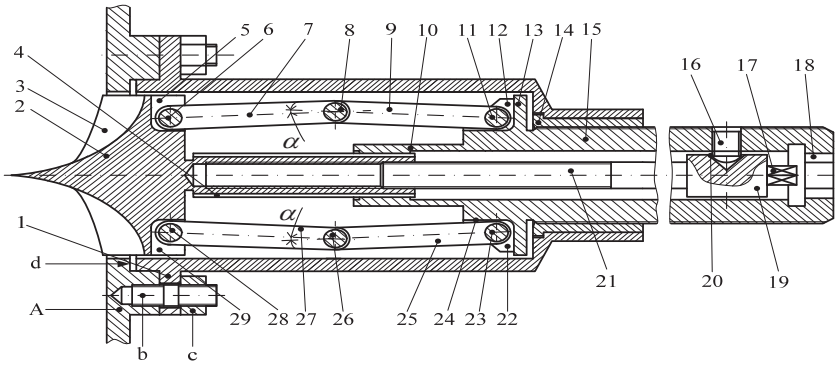

Рис. 2. Схема рычажно-«елочного» сводообрушителя сыпучих материалов (Патент России №2420363)

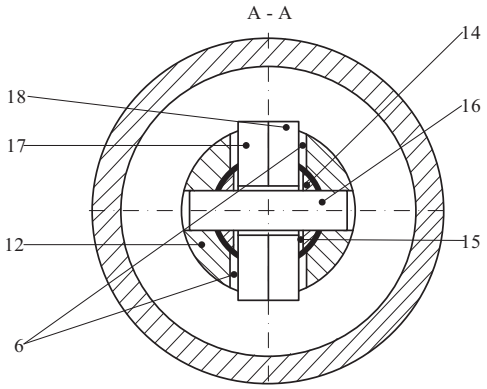

Рис. 3. Разрез А-А конструкции сводообрушителя на рис. 2

торцевой упор 3. Приводной механизм 4 имеет сквозные пазы 6, упорные поверхности 7 и 8, а также место 9 под ключ для осуществления его вращения. За счет участка поверхности с трапециидальной резьбой 5 механизм 4 введен в зацепление с резьбой 2. Двусторонние лопасти 10 (первичный сводообрушающий элемент) являются левым окончанием привода 4. В осевых пазах 6 имеется профильный участок 11 (упорная поверхность).

Шлицевой шток 12 с резьбой 13 размещается внутри привода 4. За счет внутренней резьбы 13 шток 12 соединяется с регулирующим штоком 14. Шток 14 имеет квадратоподобную головку 15 под ключ и ось вращения (шарнир 16).

Вторичный сводообрушающий элемент представляет собой рычажные звенья 19, 20 с лезвиеподобными поверхностями 21, закрепленные при помощи цилиндрического шарнира 18 в осевом пазе 17 левого окончания штока 12.

Мобильный рычажно-«елочный» сводообрушитель работает следующим образом.

В случае прекращения истечения сыпучего материала из бункерного устройства к фланцу по шпилькам b пристыковывается корпус 1 устройства.

Вращением привода 4 по трапециидальной резьбовой паре 2, 5 осуществляется движение привода 4 в полость бункера на рабочий ход. При перемещении привода 4 лопасти 10 с наружным диаметром первичного сводообрушающего элемента вращаются, осуществляя тем самым разрушение возникающих сводов сыпучего материала и возобновляя его истечение. Прохождение первичного сводообрушающего элемента с крайнего левого до крайнего правого положения производят несколько раз. Если истечение сыпучего материала не восстанавливается, приводится в действие вторичный сводообрушающий элемент, состоящий из рычажных звеньев 19, 20. Выполняется это в следующей последовательности: вращая привод 4, производится его рабочий ход до упора. Затем в корпус 1 вворачивается резьбовой фиксатор 22 на величину L, обеспечивающую недохождение концов звеньев 19, 20 до внутренней стенки бункера в крайнем правом положении. Поворачивая квадратоподобную головку 15, заставляем вращаться регулирующий шток 14, обеспечивающий в виду наличия оси вращения 16 осевое перемещение вправо шлицевого штока 12 за счет резьбового соединения 13.

Шток 12 имеет рабочий ход H, при увеличении которого до максимального значения рычажные звенья 19, 20 способны развернуться до 90 от исходного положения, при котором вторичный сво-

дообрушающий элемент имеет минимальный диаметр ($D_{\text{ВСЭ}}^{\min}$) до его максимума ($D_{\text{ВСЭ}}^{\max}$). Данные положения вторичного свдообрушающего элемента представлены на рис. 4.

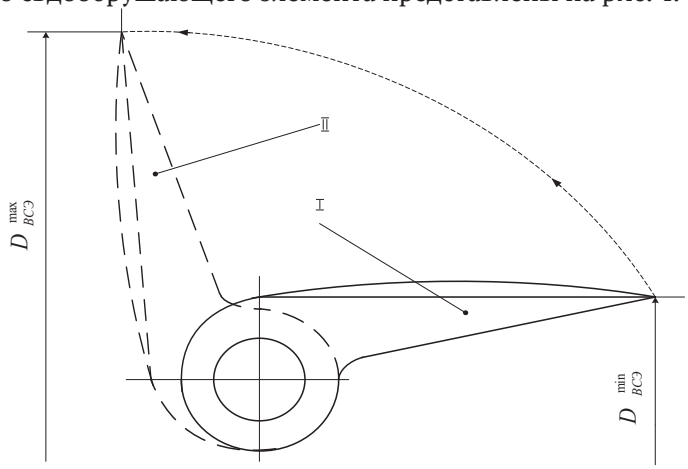

Рис. 4. К оценке технического уровня сводообрушающего устройства:
I – исходное положение сводообрушителя – $D_{\text{ВСЭ}}^{\min}$; II – рабочее положение сводообрушителя – $D_{\text{ВСЭ}}^{\max}$.

Увеличение площади сводообрушающих элементов производится постепенно с одновременным перемещением их внутри полости бункера до восстановления истечения сыпучего материала.

После восстановления работоспособности бункерного устройства мобильное сводообрующее устройство возвращают в исходное положение, выполнив описанные выше операции в обратной последовательности.

Эффективность работы сводообрушающих устройств с первичными и вторичными сводообрушающими элементами определяется их конструктивным совершенством, а также энергозатратами приводных механизмов.

Чтобы правильно оценить технический уровень сводообрушающих устройств и осуществить правильный выбор конструкции для конкретных типов бункерных устройств и сыпучих материалов, необходимо иметь соответствующую методику, которой до настоящего времени, к сожалению, не разработано.

В связи с этим, авторами предлагается ввести в практику коэффициент для оценки технического уровня сводообрущающих устройств с первичными и вторичными сводообрушающими элементами (рис. 4):

$$K_{\text{ВМ}} = 1 - \frac{D_{\text{ПСЭ}} \cdot \zeta_{\text{ПСЭ}}}{D_{\text{ВСЭ}}^{\max} \cdot \zeta_{\text{ВСЭ}}}, \tag{1}$$

где $D_{\text{ПСЭ}}, \zeta_{\text{ПСЭ}}$ – соответственно, наружный диаметр и коэффициент подобия линейно-объемных параметров первичного сводообрушающего элемента;

$D_{\text{ВСЭ}}^{\max}, \zeta_{\text{ВСЭ}}$ – соответственно, наружный максимальный диаметр и коэффициент подобия линейно-объемных параметров вторичного сводообрушающего элемента.

Согласно (1), если $D_{\text{ПСЭ}} \cdot \zeta_{\text{ПСЭ}} > D_{\text{ВСЭ}}^{\max} \cdot \zeta_{\text{ВСЭ}}$ (в частности, для случая $\zeta_{\text{ПСЭ}} >> \zeta_{\text{ВСЭ}}$), и коэффициент $K_{\text{ВМ}}$ устремляется в область отрицательных значений, то применение вторичного сводообрушающего элемента запрещается.

В случае идеально разработанной конструкции сводообрушителя согласно (1) $K_{\text{ВМ}} = 1$. Данное утверждение возможно при выполнении следующих условий:

$$\left.\begin{array}{l} D_{\text{ВСЭ}}^{\max} >> D_{\text{ПСЭ}} \\ \zeta_{\text{ПСЭ}} = \zeta_{\text{ВСЭ}} = 1 \end{array}\right\}, \tag{2}$$

Значения коэффициентов $\zeta_{\text{ПСЭ}}$ и $\zeta_{\text{ВСЭ}}$ определяются параметрами сводообрушающих элементов, которые принимаются к зависимости от типа бункерного устройства и физико-химических свойств сыпучего материала.

Ориентировочный расчет величины коэффициентов подобия линейно-объемных параметров первичного и вторичного сводообрушающих элементов на стадии эскизного проектирования представлен ниже (рис. 5).

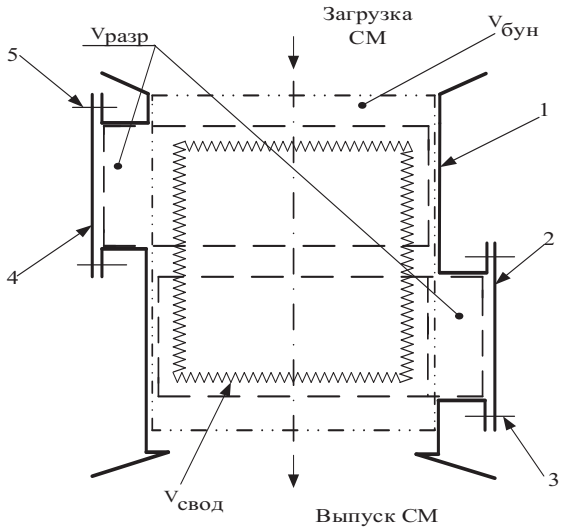

Рис. **5**. Структурная схема зон распределения сыпучего материала в бункерном устройстве:
1 – корпус бункера; 2,4 – фланцы бункера для установки сводообрушителя; 3,5 – крепежно-герметизирующий элемент: $V_{бун}$ – полезный объем бункера; $V_{свод}$ – ориентировочный объем слежавшегося сыпучего материала; $V_{разр}$ – объем сыпучего материала в возникшем сводообразовании, разрушаемый сводообрушителем.

С учетом представленных на указанном рисунке зон распределения сыпучего материала в бункерном устройстве для сводообрушителя на рис. 2 в первом приближении значения коэффициентов $\zeta_{ПСЭ}$ и $\zeta_{ВСЭ}$ могут быть определены по эмпирическим зависимостям:

$$\left.\begin{aligned} \zeta_{ПСЭ} &= \frac{V_{разр(ПСЭ)} \cdot N}{V_{свод}} \\ \zeta_{ВСЭ} &= \frac{V_{разр(ВСЭ)} \cdot N}{V_{свод}} \end{aligned}\right\}, \tag{3}$$

где N – число фланцев в бункере для ввода сводообрушителя;

$V_{разр(ПСЭ)}$, $V_{раз(ВСЭ)}$ – соответственно, объемы сыпучего материала в сводообразовании, разрушаемые первичным и вторичным элементами сводообрушителя;

$V_{свод}$ – объем возникшего в бункере сводообразования сыпучего материала.

Очевидно, что:

$$\left.\begin{aligned} V_{разр(ПСЭ)} &= \frac{\pi \cdot D_{ПСЭ}^2 \cdot L_{выл(ПСЭ)}}{4} \\ V_{разр(ВСЭ)} &= \frac{\pi \cdot \left(D_{ВСЭ}^{max}\right)^2 \cdot L_{выл(ПСЭ)}}{4} \end{aligned}\right\}, \tag{4}$$

где $L_{выл(ПСЭ)}$, $L_{выл(ВСЭ)}$ – соответственно, длины рабочих участков первичного и вторичного элементов сводообрушителя, вводимых в бункерное устройство.

При крайне неблагоприятном сочетании внешних и внутренних факторов возникает равенство $V_{свод} = V_{БУ}$ (где $V_{БУ}$ – объем сыпучего материала в полностью загруженном бункере). Однако, согласно (1):

$$V_{свод} \le 0{,}1 \cdot V_{БУ}\,. \tag{5}$$

С учетом (5) выражение (3) примет следующий вид:

$$\left.\begin{aligned} \zeta_{ПСЭ} &\ge \frac{V_{разр(ПСЭ)} \cdot N}{0{,}1 \cdot V_{БУ}} \\ \zeta_{ВСЭ} &= \frac{V_{разр(ВСЭ)} \cdot N}{0{,}1 \cdot V_{БУ}} \end{aligned}\right\}. \tag{6}$$

Выражение (6) с учетом (4) примет следующий вид:

$$\left.\begin{aligned}\zeta_{\text{ПСЭ}} &\geq \frac{\pi D_{\text{ПСЭ}}^2 \cdot L_{\text{выл(ПСЭ)}} \cdot N}{0{,}4 \cdot V_{\text{БУ}}} \\ \zeta_{\text{ВСЭ}} &= \frac{\pi \cdot \left(D_{\text{ВСЭ}}^{\max}\right)^2 \cdot L_{\text{выл(ВСЭ)}} \cdot N}{0{,}4 \cdot V_{\text{БУ}}}\end{aligned}\right\}. \tag{7}$$

С учетом (7) выражение (1) примет следующий вид:

$$K_{\text{ВМ}} = 1 - \frac{D_{\text{ПСЭ}}^{3} \cdot \left[\frac{\pi}{0{,}4} \cdot \left(\frac{L_{\text{выл(ПСЭ)}} \cdot N}{V_{\text{БУ}}}\right)\right]}{\left(D_{\text{ПСЭ}}^{\max}\right)^3 \cdot \left[\frac{\pi}{0{,}4} \cdot \left(\frac{L_{\text{выл(ВСЭ)}} \cdot N}{V_{\text{БУ}}}\right)\right]},$$

или

$$K_{\text{ВМ}} = 1 - \frac{D_{\text{ПСЭ}}^3 \cdot L_{\text{выл(ПСЭ)}}}{\left(D_{\text{ПСЭ}}^{\max}\right)^3 \cdot L_{\text{выл(ВСЭ)}}}. \tag{8}$$

Необходимо отметить, что удовлетворительный уровень сводообрушителей с первичными и вторичными сводообрушающими элементами следует признавать при условии $K_{\text{ВМ}} > 0{,}97$, а для того, чтобы достичь уровень $K_{\text{ВМ}} > 0{,}99$, необходимо увеличить его объемно-линейные параметры в несколько раз, что значительно увеличит его размеры, вес и стоимость.

С целью минимизации мест установки съемных технологических заглушек на фланцах бункеров (особенно крупногабаритных и высотных), по местам установки которых осуществляется ввод мобильных сводообрушающих устройств для интенсификации истечения сыпучих материалов, в статье предлагается видоизменение стандартного фланца на фланец с прямоугольным пазом размерами $L \times l$. Авторами разработано мобильное сводообрушающее устройство с параллельно переставляемой осью вращения сводообрушающего органа под фланец с указанной выше геометрией (рис. 6).

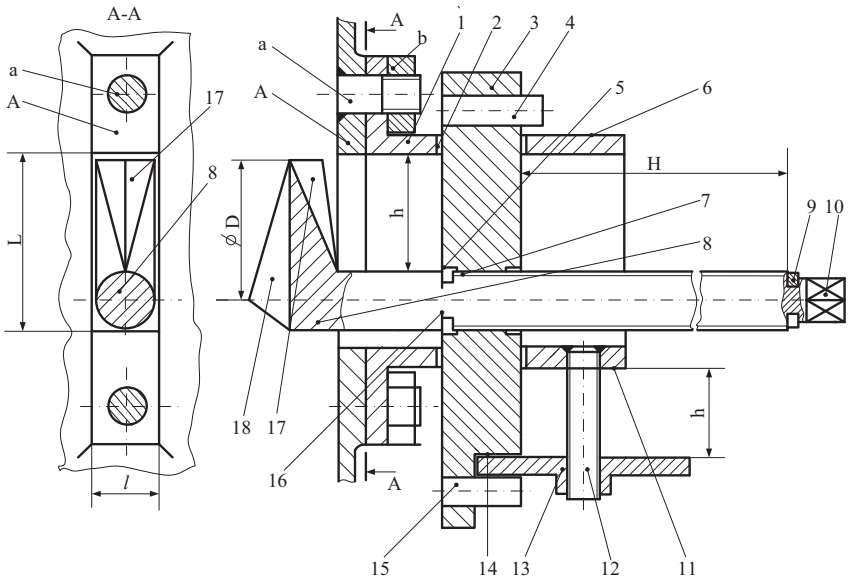

Рис. 6. Схема мобильного сводообрушающего устройства с параллельно переставляемой осью вращения рабочего органа

Сводообрушающее устройство состоит из корпуса 1, который стыкуется по шпилькам a гайками b с прямоугольным фланцем A бункера.

В корпусе 1 перпендикулярно его геометрической оси выполнено отверстие 2 для размещения в нем ползуна 3, снабженного опорными штифтами 4 и 15. Ползун 3 выполнен с внутренней трапециидальной резьбой 5, которая имеет резьбовое зацепление с резьбой 7 сводообрушающего элемента 8.

Поверхность 6 корпуса 1 выполняет роль ограничителя предельного хода ползуна 3 при его движении вниз в момент контакта со штифтом 4. Резьбовая часть сводообрушающего элемента 8 выполнена со съемным стопорным кольцом 9, которое исключает его выход из резьбового соединения

7-8 при максимальном движении сводообрушающего элемента 8 влево. Элемент 8 имеет квадратоподобный хвостовик 10, придающий ему поступательно-вращательное движение.

На шпильку 12, жестко закрепленную на корпус 1 относительно опорной поверхности 11, навинчен подстроечный орган 13. Его торцевые поверхности находятся между опорным штифтом 15 и торцевой опорной поверхностью 14.

Сводообразующий элемент 8 выполнен с режущими кромками 17 и 18 для рыхления сыпучего материала в полости бункера при движении сводообрушающего органа 8, соответственно, влево и вправо.

При исходном положении сводообрушающего устройства подстроечный орган 13 вывернут на полный ход h.

Сводообрушающее устройство работает следующим образом.

При вращении хвостовика 10 сводообрушающий элемент 8 движется влево по резьбовой паре 5-7, при этом режущая кромка 18 совершает вращательное движение, разрыхляя сыпучий материал по окружности диаметром D. При завершении поступательно-вращательного движения влево, хвостовик 10 начинают вращать в противоположную сторону.

Если в результате этих действий истечение сыпучего материала на восстановится, то ползун 3 вращением резьбового элемента 13 перемещается вверх на часть хода h, т.е. ось вращения сводообрушающего элемента 8 также переместится вверх на эту же величину. Затем в последовательности, описанной выше, производятся операции по устранению сводообразования. Перемещение ползуна 3 вверх и вниз ограничивается величиной h, параметры которой подбираются к конкретному бункеру и физико-механическим свойствам сыпучего материала, хранящегося в нем [8].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье представлены инновационные конструкции вспомогательного оборудования, предназначенные для использования в прирельсовых складах бункерного типа. Эти устройства выполняют функции сводообрушителей, дозаторов и загрузочно-распределительных механизмов, что обеспечивает эффективное хранение, выгрузку любых сыпучих грузов.

Применение данных конструкций позволит достичь следующих преимуществ:

- повышение статической нагрузки вагонов, что увеличивает эффективность использования подвижного состава;
- сокращение простоя вагонов под погрузочно-выгрузочными операциями, что повышает производительность и снижает эксплуатационные затраты;
- снижение энергопотребления при загрузке вагонов, что способствует экономии ресурсов;
- повышение безопасности погрузочно-выгрузочных работ, что уменьшает риск травматизма и улучшает условия труда работников;
- улучшение санитарной и эпидемиологической обстановки, что соответствует современным требованиям охраны труда.

Таким образом, внедрение представленных в статье конструкций сводообрушителей является эффективным решением для оптимизации процессов хранения и транспортировки сыпучих грузов, обеспечивая при этом экономичность, безопасность и экологичность, а представленный коэффициент для оценки технического уровня сводообрушающих устройств с первичными и вторичными сводообрушающими элементами позволит правильно выбрать то или иное устройство для конкретных задач и условий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Указ Президента Российской Федерации от 7 мая 2024 г. № 309 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года».
2. Economic evaluation of bulk cargo processing technology in bunker-type railway warehouses / A. B. Fokeev, A. V. Varlamov, N. Kh. Varlamov, N. N. Maz›ko //, 07–08 ноября 2019 года, 2019. – P. 1371-1376.
3. *Varlamov, A.* Providing mechanisation of loading and unloading operations in hopper rail stores / A. Varlamov, N. Varlamova, N. Mazko // E3S Web of Conferences: International Scientific Siberian Transport Forum - TransSiberia 2023, Novosibirsk, Russia, 16–19 мая 2023 года. Vol. 402. – Novosibirsk, Russia: EDP Sciences, 2023. – P. 01001.
4. *Варламов, А. В.* Комплексное решение проблемы загрузки вагонов-хопперов трудносыпучими грузами / А. В. Варламов, А. Б. Фокеев, Н. Х. Варламова, Н. Н. Мазько // Наука и образование транспорту. – 2015. – № 1. – С. 42-45.
5. *Варламов, А. В.* Совершенствование технологии погрузочно-разгрузочных работ с сыпучими грузами на железнодорожном транспорте / А. В. Варламов, Н. Х. Варламова, Н. Н. Мазько // Вестник транспорта Поволжья. – 2017. – № 5(65). – С. 35-41.
6. Патент № 2404866 C1 Российская Федерация, МПК B08B 9/08, B65D 88/68. переносной сводоразрушитель-очиститель: № 2009130812/21: заявл. 12.08.2009: опубл. 27.11.2010 / А. В. Варламов, О. П. Мулюкин, Н. Н. Мазько; заявитель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Самарский государственный университет путей сообщения» (СамГУПС).

7. Патент № 2420363 C1 Российская Федерация, МПК B08B 9/08, B65D 88/68. переносной сводоразрушитель-очиститель: № 2009141400/05: заявл. 09.11.2009: опубл. 10.06.2011 / А. В. Варламов, О. П. Мулюкин, Н. Н. Мазько, Н. Х. Варламова; заявитель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Самарский государственный университет путей сообщения» (СамГУПС).
8. *Варгунин, В. И.* Теория и практика применения щелевых бункеров на железнодорожном транспорте и в агропромышленном комплексе: монография / [В. И. Варгунин и др.]; М-во трансп. Российской Федерации, Федеральное агентство ж.-д. трансп., Самарский науч. центр Российской акад. наук, Самарский гос. ун-т путей сообщ. – Самара: Изд-во СНЦ РАН, 2007. – 107 с.

PROBLEMS OF STORAGE AND UNLOADING OF DIFFICULT-FALLING AGRICULTURAL GOODS FROM RAILWAY-BASED BUNKER-TYPE WAREHOUSES

© 2026 A.L Mishanin[1], A.V. Varlamov[2], A.B. Fokeev[2], N.N. Mazko[2], N.Kh. Varlamova[2]

[1] Samara Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Samara, Russia
[2] Volga State University of Railway Engineering, Samara

Presidential Decree No. 309 dated May 7, 2024, "On the National Development Goals of the Russian Federation for the Period up to 2030 and for the Period up to 2036," sets the goal for the Russian government to prepare a set of measures to ensure the following objectives in the agricultural sector: increasing the volume of agricultural production by at least a quarter compared to 2021, and increasing the export of agricultural products by at least one and a half times compared to 2021 [1]. Increased productivity will place additional demands on agricultural enterprises and rail transport, including railside bunker-type warehouses designed for the temporary storage of agricultural goods (grain, animal feed, mineral fertilizers, etc.) and their loading onto specialized rolling stock. Bulk cargoes, which are in high demand, are actively used in industrial production and the agro-industrial complex. To ensure the safety of this type of product, railside warehouses with bunker devices are used. Bulk cargo is primarily transported by rail in general-purpose or specialized wagons, allowing for the transportation of bulk, loose, or packaged goods. This article discusses the design and technological layout of mobile auxiliary arch-breaking devices, patented by the authors, which allow for the acceleration and facilitation of loading rolling stock with goods stored in these warehouses.
Keywords: storage, unloading, non-bulk cargo, bulk materials, railside warehouses, hopper devices, vaulting, bridge-breaker, innovative designs, static load.

DOI: 10.37313/1990-5378-2026-28-4-54-62
EDN: FNBZDC

REFERENCES

1. Decree of the President of the Russian Federation of May 7, 2024 No. 309 "On the National Development Goals of the Russian Federation for the Period up to 2030 and for the Future up to 2036."
2. Economic evaluation of bulk cargo processing technology in bunker-type railway warehouses / A. B. Fokeev, A. V. Varlamov, N. Kh. Varlamov, N. N. Maz'ko // , November 7–8, 2019, 2019. – P. 1371-1376.
3. *Varlamov, A.* Providing mechanisation of loading and unloading operations in hopper rail stores / A. Varlamov, N. Varlamova, N. Mazko // E3S Web of Conferences : International Scientific Siberian Transport Forum - TransSiberia 2023, Novosibirsk, Russia, May 16–19, 2023. Vol. 402. – Novosibirsk, Russia: EDP Sciences, 2023. – P. 01001.
4. *Varlamov, A. V.* A comprehensive solution to the problem of loading hopper cars with hard-to-bulk cargo / A. V. Varlamov, A. B. Fokeev, N. Kh. Varlamova, N. N. Mazko // Science and education in transport. – 2015. – No. 1. – P. 42-45.
5. *Varlamov, A. V.* Improving the technology of loading and unloading operations with bulk cargo on rail transport / A. V. Varlamov, N. Kh. Varlamova, N. N. Mazko // Bulletin of Transport of the Volga Region. - 2017. - No. 5 (65). - P. 35-41.
6. Patent No. 2404866 C1 Russian Federation, IPC B08B 9/08, B65D 88/68. portable bridge destroyer-cleaner: No. 2009130812/21: declared. 12.08.2009: published. 27.11.2010 / A. V. Varlamov, O. P. Mulyukin, N. N. Mazko; Applicant State Educational Institution of Higher Professional Education "Samara State Transport University" (SamGUPS).
7. Patent No. 2420363 C1 Russian Federation, IPC B08B 9/08, B65D 88/68. Portable bridge destroyer-cleaner: No. 2009141400/05: declared 09.11.2009: published 10.06.2011 / A. V. Varlamov, O. P. Mulyukin, N. N. Mazko, N. Kh. Varlamova; Applicant State Educational Institution of Higher Professional Education "Samara State Transport University" (SamGUPS).
8. *Vargunin, V. I.* Theory and practice of using slot bins in rail transport and in the agro-industrial complex: monograph / [V. I. Vargunin et al.]; Ministry of Transport of the Russian Federation, Federal Agency for Railway Transport, Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Samara State University of Railway Engineering. – Samara: Publishing House of the Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, 2007. – 107 p.

Alexander Mishanin, PhD in Engineering, Deputy Director for Research, Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. Email: Mishanin_al@mail.ru.
Aleksandr Varlamov, PhD in Engineering, Associate Professor, Department of Freight and Commercial Operations Technology, Stations and Junctions. E-mail: varlamov65@yandex.ru
Anatoly Fokeev, PhD in Engineering, Associate Professor, Department of Freight and Commercial Operations Technology, Stations and Junctions. E-mail: fokeevab@gmail.com
Natalya Mazko, PhD in Engineering, Associate Professor, Department of Freight and Commercial Operations Technology, Stations and Junctions. E-mail: n.mazko@samgups.ru
Nelli Varlamova, PhD in Engineering, Associate Professor, Department of Freight and Commercial Operations Technology, Stations and Junctions. E-mail: nellifurtada@mail.ru