

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ПЕРЕНОСНОГО СВОДООБРУШИТЕЛЯ В БУНКЕРЕ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ ТРУДНОСЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ

Кожевников В.А., Жданов А.Г., Денисов В.В., Прусов М.В.
Самарский государственный университет путей сообщения, Самара

Ключевые слова: бункер, рабочий орган, сыпучий материал, зависание, слеживание, сводообрушение, рыхление, очистка, транспортирование, исследование.

Аннотация. В статье приводятся результаты экспериментальных исследований работы переносного сводообрушителя-очистителя для разгрузки трудносыпучих грузов из бункерных устройств; анализируются причины возникновения сложностей выгрузки сводообразующих грузов, обусловленных применяемыми в промышленности производственными технологиями (хранение, транспортировка, дозирование, погрузочно-разгрузочные работы); разрабатывается технологический процесс работы мобильного устройства с целью оптимизации сферы его применения исходя из конструкции бункера для хранения (транспортировки), собственной конструкции мобильного устройства, режимов работы, физико-механических свойств рабочей среды; предлагается методика экспериментальных исследований функционирования лабораторных образцов устройства сводообрушения с поиском эффективного сочетания факторов его эксплуатации: род груза, условия хранения или транспортирования в соответствующем типе емкости, расположение технологических отверстий в стенках опытного бункерного устройства, геометрические размеры рабочих органов, режимы работы.

EXPERIMENTAL STUDY OF THE OPERATION OF A PORTABLE ARCH-BREAKER IN A BUNKER FOR STORING HARD-TO-LOOSE MATERIALS

Kozhevnikov V.A., Zhdanov A.G., Denisov V.V., Prusov M.V.
Samara State University of Railway Transport, Samara

Keywords: hopper, working body, bulk material, hanging, tracking, arch collapse, loosening, cleaning, transportation, research.

Abstract. The article presents the results of experimental studies of the work of a portable arch-breaker-cleaner for unloading hard-to-bulk cargo from bunker devices; analyzes the causes of difficulties in unloading arch-forming cargo due to industrial production technologies (storage, transportation, dosing, loading and unloading); develops the technological process of the mobile device in order to optimize the scope of its application based on hopper designs for storage (transportation), own design of the mobile device, operating modes, physical and mechanical properties of the working environment; the method of experimental studies of the functioning of laboratory samples of the arch-breaking device with the search for an effective combination of factors of its operation is proposed: the type of cargo, storage or transportation conditions in the appropriate type of container, the location of technological holes in the walls of the experimental bunker device, the geometric dimensions of the working bodies, operating modes.

Введение. Необходимость очистки стенок бункеров и кузовов транспортных средств в настоящее время стоит достаточно остро из-за большой номенклатуры материалов с высокими адгезионными свойствами при перевозке которых имеет место постепенное накопление остатков, приводящее к формированию на внутренней поверхности полости емкости трудно удаляемого налипшего слоя материала, приходящего в конце концов в негодность [1, 2].

Расширение номенклатуры хранимых и транспортируемых материалов, а также сохранение их качества, возможно двумя путями: изготовлением бункеров, силосов, вагонов-хопперов с повышенными функциональными возможностями и модернизацией эксплуатируемых емкостей. В настоящей статье рассмотрен второй путь.

К основным причинам трудностей, возникающих при выпуске трудносыпучих материалов из бункеров, следует отнести явления сводообразования и зависания. Нарушения

стабильности выпуска обусловлены рядом причин: микроклиматическими условиями производственной среды, технологией ПРТС-операций с материалом, его физико-механическими характеристиками, формой и размерами отверстия выпускной воронки емкости и т.п. После сводообразования происходит уменьшение полезного пространство полости бункера, что является причиной возрастания удельных затрат энергии на выгрузку с использованием механизмов, снижения срока службы бункера, ухудшения качество хранимого содержимого.

Материалы и методы исследований. Стабилизация разгрузочного процесса бункера возможна путем применения серии устройств, занимающих стационарное положение и различных по принципу действия. Однако, гораздо эффективнее использовать переносные устройства, пригодные как для новых, так и для старых бункерных устройств, не создающие своими конструкциями препятствий истечению материала, исключая проникновения обслуживающего персонала внутрь емкости. Особенно полезными подобные устройства будут при разгрузке бункеров с временным характером возникновения зависания. Потребность в переносных сводообрушителях-очистителях связана с широким спектром транспортируемых материалов, разнообразием конструкций подвижного состава бункерного типа [3, 4].

Представлено несколько таких устройств (рис. 1), отличающихся рабочими органами (скребки, многозвенники, цепи и т.п.), обладающих высокой работоспособностью и универсальностью по видам выгружаемых материалов, а также возможностью одновременно с выгрузкой груза из бункера совершать удаление налипших остатков с его внутренних стенок, включая вертикальные [5, 6]. Современные достижения в области технологии конструкционных композиционных материалов позволяют изготавливать рабочие органы, обладающие легкостью, высокой прочностью и эластичностью [7]. Привод таких устройств может быть самым разнообразным, в том числе с приспособлением универсальных типов различных ручных механизированных инструментов, что значительно расширит технологические возможности применения.

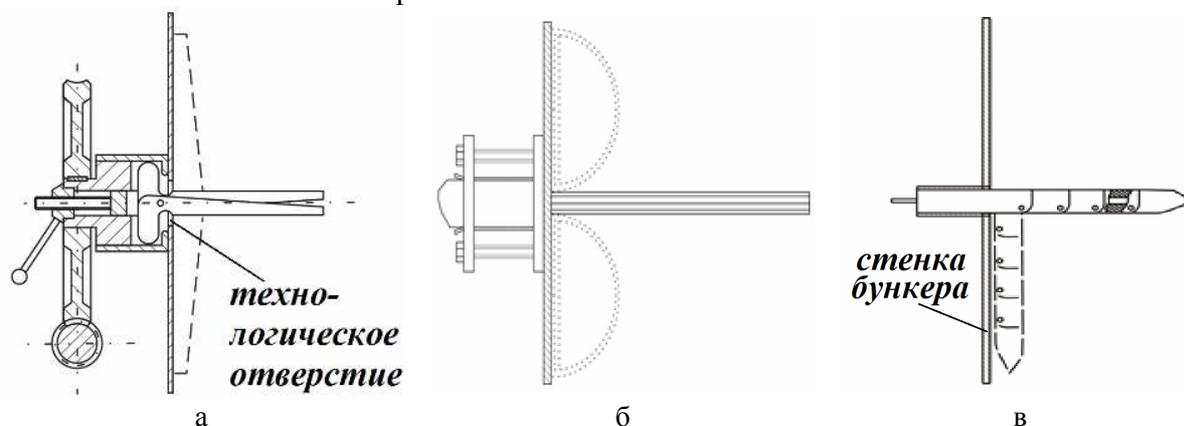


Рис. 1. Мобильные сводообрушающе-очищающие механизмы с различными рабочими органами: скребковый недеформируемый (а); пластинный деформируемый (б); шарнирный многозвенник (в)

Основные этапы работы переносного сводообрушителя (рис. 2):

1) активное рыхление при разведении рабочих органов на некоторое значение угла α в противоположные стороны от оси вращения приводного вала, в ходе которого, в области непосредственного взаимодействия с материалом наблюдается рост его напряженности, что должно неизбежным образом вызвать местное обрушение свода;

2) принудительная выгрузка материала дальнейшим воздействием рабочих органов на зону груза, не задействованную на предыдущем этапе работы (имеющую внешнее расположение);

3) заключительный этап удаления образовавшихся адгезионных отложений на внутренних поверхностях ограждающих конструкций бункера путем контактирования рабочих органов с ними [8].

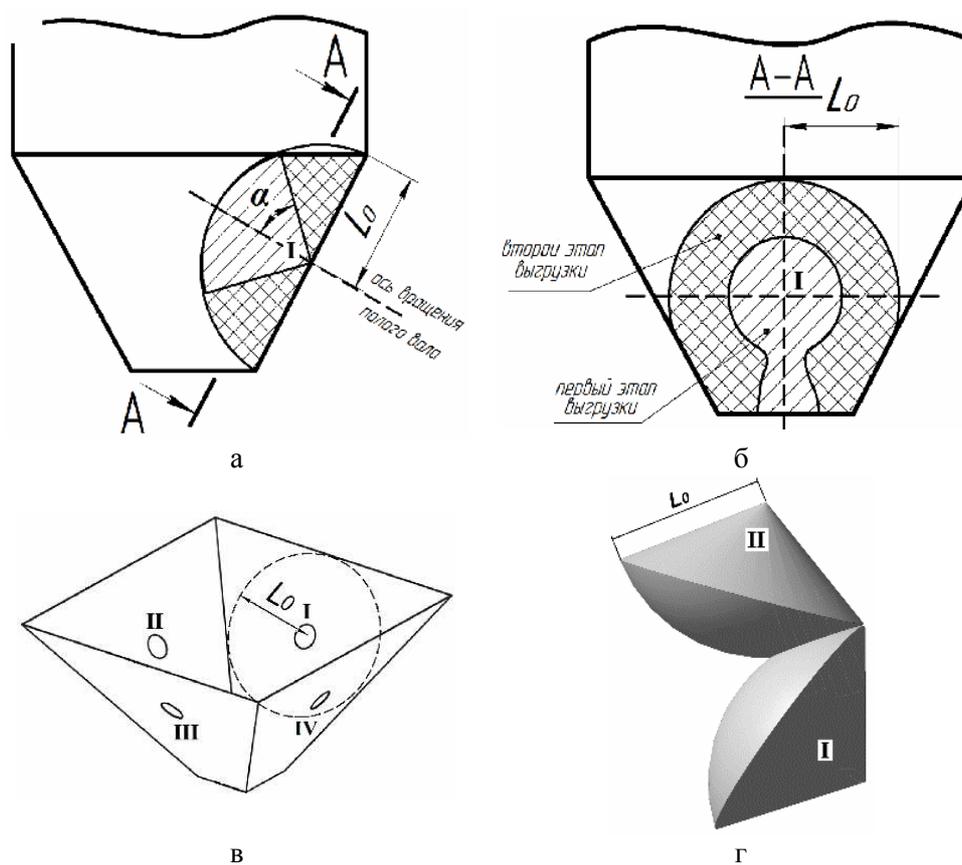


Рис. 2. Техпроцесс сводообрушения с применением экспериментального образца переносного устройства при задействовании только одного отверстия №1 бункерной лабораторной установки: схема процесса выгрузки (а, б); схема расположения отверстий (в); зона воздействия рабочих органов на груз без полного их раскрытия при одновременном использовании двух отверстий в смежных стенках (г)

Обеспечение высоких характеристик разрабатываемых переносных устройств по сводообрушению вынуждает помимо теоретических изысканий провести полноценные эксперименты, в результате которых станет возможным согласование различных конструктивно-режимными характеристик устройств с физико-механическими свойствами хранимого материала и конструктивными особенностями самого бункерного хранилища [9].

Процесс разгрузки трудносыпучих материалов из бункера в процессе эксперимента сопровождался измерением и фиксированием исследуемых параметров.

Результатом ранних исследований было выяснено, что для изучения физического процесса сводообрушения бункер должен быть заполнен грузом на высоту 1 м при площади 1 м^2 его горизонтального поперечного сечения, что также достаточно для экспериментов подобного рода на материалах склонных к сводообразованию, но обладающих небольшой удельной массой [10].

Пропускная способность лабораторного образца бункера определялась путем измерения времени выпуска и веса выгруженного материала.

Разгрузка бункера через выпускные отверстия, как известно, может сопровождаться одновременно текущими явлениями сводообрушения и сводообразования (так называемые динамические своды). Стабильный выпуск груза будет иметь место только в случае преобладания первого процесса над вторым. При обратном же соотношении, образующиеся своды будут носить статический характер, неизбежно ведущий к полной остановке истечения.

Оптимизация конструктивно-режимных параметров переносного сводообрушителя-очистителя возможна только с установкой зависимости времени выгрузки материала от места расположения и длины рабочих органов. Основным же конструктивным параметром

переносного сводообрушителя является длина его рабочего органа. Наличие остатков материала в бункере по завершении процесса выгрузки является еще одним из качественных критериев функционирования бункера.

Экспериментальные исследования эффективности работы переносного сводообрушителя проводились с применением нескольких видов сыпучих материалов, на модели стационарного бункера.

Для оптимизации места применения рабочих органов переносного сводообрушителя в стенках выпускной воронки лабораторного образца бункера (рис. 3,а,б) было изготовлено несколько технологических отверстий, имеющих одинаковые координаты расположения ($0\text{ м}; 0,47\text{ м}$). Такое расположение технологических отверстий для стенок выпускной воронки бункера призвано добиться полного разведения рабочих органов от первоначальной параллельности, а, следовательно, и наибольшего объема слежавшегося груза подверженного стимулирующему воздействию. Все это необходимо исходя из геометрических особенностей исследуемых бункеров. Установленное для эксперимента значение вертикальной координаты y_0 призвано достичь наибольшего объема материала вступающего во взаимодействие с рабочими органами механизма.

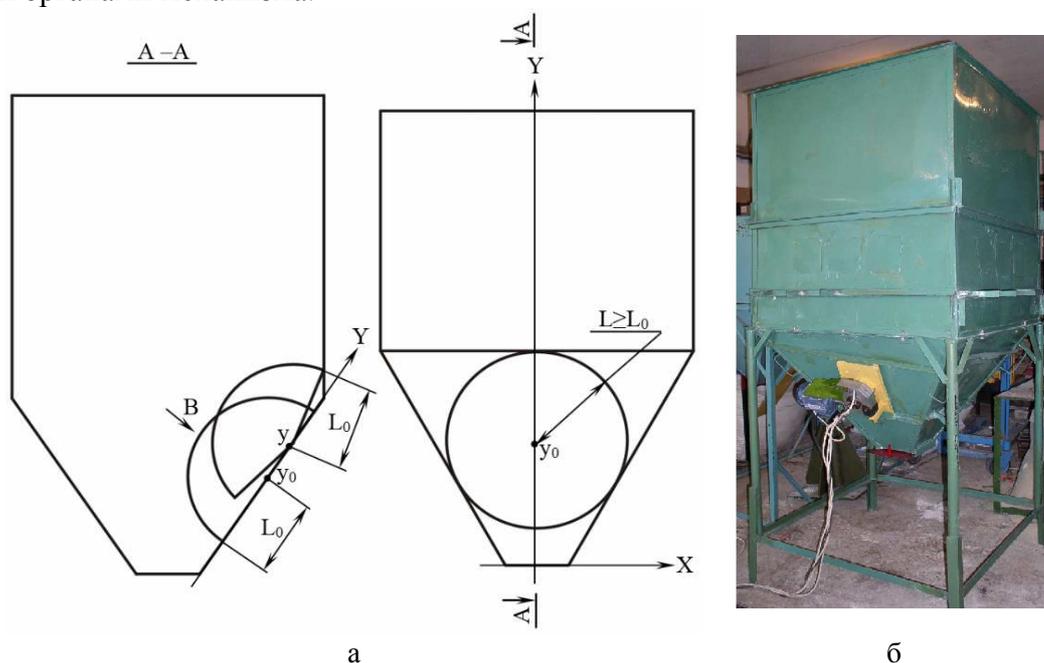


Рис. 3. Экспериментальная установка для исследования истечения груза из бункера: расположение технологических отверстий в стенках выпускной воронки и рабочих органов (а); лабораторный образец бункера (б)

Как видно на разрезе А–А выделенная полукругом, имеющим радиусом L_0 , проекция зоны действия рабочих органов при установке технологического отверстия с координатой y_0 превосходит по площади зону полученную при использовании координаты y , которая в свою очередь имеет всего лишь форму сектора окружности с таким же по величине радиусом L_0 . Изменение зоны действия рабочих органов в сторону уменьшения при использовании другой координаты отверстия y объясняется возникновением препятствия со стороны смежно расположенной вертикальной стенки бункера, которая блокирует собою расхождение рабочих органов до максимума.

Таким образом, на виде В показано (рис. 3,а), что горизонтальной проекцией области воздействия рабочих органов на стенку выпускной воронки является окружность, вписанная в трапецию формы стенки, и имеющая максимальную площадь только в случае использования установленных для эксперимента значений координат ($0\text{ м}; 0,47\text{ м}$).

Результаты исследований. Основной задачей экспериментов стало определение зависимости массы выгруженного груза, от количества необходимых технологических

отверстий, последовательности их использования в работе и от длины рабочего органа L_0 , которая варьировалась от 0,065 м до 0,26 м.

Расположение технологических отверстий посередине каждой из стенок выпускной воронки бункера, позволит рабочему органу длиной L_0 полностью соприкоснуться со стенкой и производить ее очистку (рис. 2, в).

Наличие всего одного отверстия в каждой стенке объясняется симметрией возникающих в полости бункера сводообразований. Другими словами, использование нескольких отверстий только в одной из стенок приведет к частичному сводообрушению, не позволив бункеру полностью разгрузиться.

Последовательность задействования в работу четырех имеющихся технологических отверстий может производиться только по двум схемам:

1) при схеме I – II – III, когда два первых используемых технологических отверстия расположены смежно, полноты выгрузки груза достигнуть не удалось (рис. 4);

2) при схеме I – III – II, когда два первых используемых отверстия расположены противоположно, наблюдается полное опорожнение бункера (рис. 5).

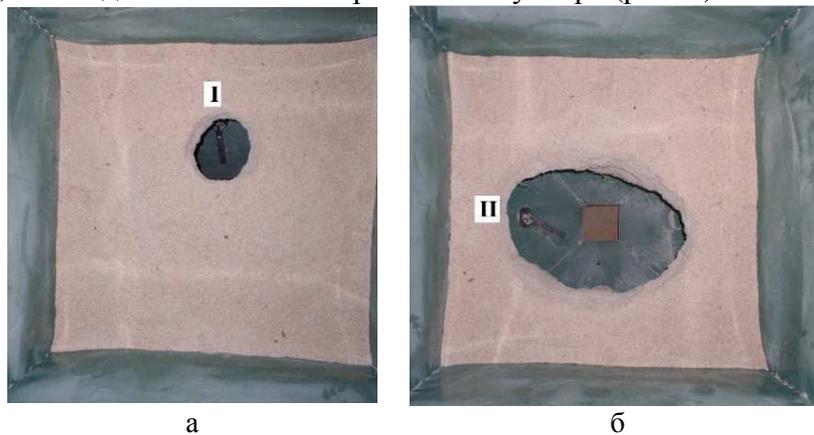


Рис. 4. Результаты разгрузки бункера по схеме I – II – III: результат использования первого по очереди отверстия №I (а); результат использования второго по очереди отверстия №II (б)

Видны явные различия в результатах выгрузки на втором по очереди отверстия (рис. 4,б и 5,а). В первом случае технологическое отверстие (второе по очереди использования) располагалось смежно с первым, поэтому количество выгруженного груза было минимально.

Получены и представлены количественные показатели разгрузки бункера по схеме I – III – II (рис. 6). В данном случае наблюдается рост объема выгруженного материала на всем протяжении роста длины рабочих органов. Максимального количества выгруженного груза удается достичь при максимальной длине рабочего органа $L_0=0,26$ м.

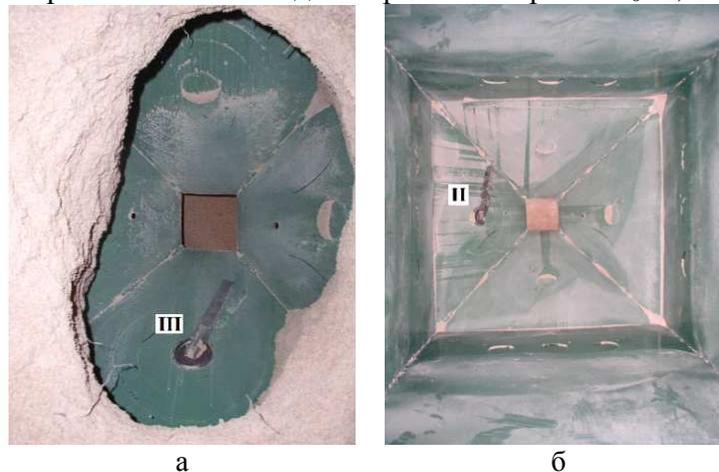


Рис. 5. Результаты разгрузки бункера по схеме I – III – II: результат использования второго по очереди отверстия №III – неполное опорожнение бункера (а); результат использования третьего отверстия №II – полное опорожнение (б)

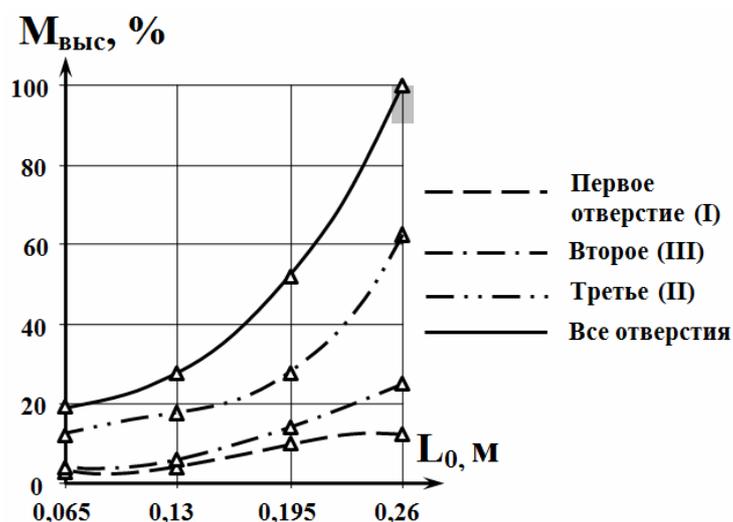


Рис. 6. График зависимости степени разгрузки отрубей M , % от размера рабочих органов L_0 , м на каждом этапе последовательного использования отверстий (каждого в отдельности и всех вместе)

Выводы. Использование переносного сводообрушающего устройства гарантированно достигается полная выгрузка емкости и одновременная очистка стенок от налипших, отложений, завесаний и прочих агломерированных остатков сыпучего груза. Наиболее рациональная (универсальная по физико-механическим свойствам грузов) конструктивная схема устройства предполагает использование жестких рабочих органов скребкового типа. Полученные экспериментальные зависимости позволяют оптимизировать количество технологических отверстий, места их изготовления в бункере, а также подобрать материал для изготовления и конструктивные размеры рабочих органов (длину, форму и размеры их поперечного сечения), что позволит выполнить все последующие конструкторско-технологические работы.

Список литературы

1. Варламов А.В., Варламова Н.Х., Мазько Н.Н. Совершенствование технологии погрузочно-разгрузочных работ с сыпучими грузами на железнодорожном транспорте // Вестник транспорта Поволжья. – 2017. – №5(65). – С. 35-41.
2. Горюшинский И.В., Мазько Н.Н. Повышение эффективности процесса хранения зерновой продукции в бункерах // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2009. – №3. – С. 14-16.
3. Минько Р.Н. Ресурсосберегающие технологии при транспортировке насыпных грузов // Новые материалы и технологии в машиностроении. – 2010. – №12. – С. 159-161.
4. Кононов И.И. Совершенствование процесса функционирования бункерных хранилищ транспортно-складских комплексов для сыпучих грузов: Дисс. ... канд. техн. наук. – Саратов: Саратовский ГАУ, 2002. – 158 с.
5. Патент №2201813 РФ. Переносной сводообрушитель-очиститель / Г.М. Третьяков, В.С. Горюшинский, И.В. Горюшинский. – Заявка №2001102165/12 от 23.01.2001; опубл. 10.04.2003, Бюл. №10.
6. Кожевников В.А., Астраханский А.Ю., Киреев В.П. Рекомендации по оптимизации конструктивно-режимных параметров переносных сводообрушителей-очистителей при их проектировании // Современные проблемы теории машин. – 2017. – №5. – С. 37-41.
7. Zolkin A.L., Galanskiy S.A., Kuzmin A.M. Perspectives for use of composite and polymer materials in aircraft construction // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2021, vol. 1047, p. 12023. DOI: 10.1088/1757-899X/1047/1/012023.
8. Третьяков Г.М., Денисов В.В., Кононов И.И. Повышение эффективности перевозки зерновых грузов железнодорожным транспортом // Наука и образование транспорту. – 2013. – № 1. – С. 80-83.
9. Варламов А.В., Фокеев А.Б., Варламова Н.Х., Мазько Н.Н. Совершенствование методов расчета технико-экономических показателей механизмов перемещения и сводообрушения в бункерных устройствах // Вестник транспорта Поволжья. – 2022. – № 2(92). – С. 48-53.
10. Варламов А.В. Повышение эффективности процесса выпуска компонентов комбикорма бункерным устройством с донным щелевым отверстием и механическим сводообрушителем: Дисс. ... канд. техн. наук. – Саратов: Саратовский ГАУ, 1999. – 113 с.

References

1. Varlamov A.V., Varlamova N.H., Mazko N.N. Improving the technology of loading and unloading operations with bulk cargoes on railway transport // Bulletin of Transport of the Volga region. 2017, no. 5(65), pp. 35-41.
2. Goryushinsky I.V., Mazko N.N. Improving the efficiency of the process of storing grain products in bunkers // Storage and processing of agricultural raw materials. 2009, no. 3, pp. 14-16.
3. Minko R.N. Resource-saving technologies in the transportation of bulk cargo // New materials and technologies in mechanical engineering. 2010, no. 12, pp. 159-161.
4. Kononov I.I. Improving the functioning of bunker storage facilities of transport and warehouse complexes for bulk cargo: Diss. ... cand. of tech. sc. – Saratov: SSAU, 2002. – 158 p.
5. Patent No. 2201813 RU. Portable arch-breaker-cleaner / G.M. Tretyakov, V.S. Goryushinsky, I.V. Goryushinsky. – Appl. No. 2001102165/12 from 23.01.2001; publ. 10.04.2003, Bul. No. 10.
6. Kozhevnikov V.A., Astrakhansky A.Yu., Kireev V.P. Recommendations on optimization of design-mode parameters of portable arch-breakers-cleaners during their design // Modern problems of machine theory. 2017, no. 5, pp. 37-41.
7. Zolkin A.L., Galanskiy S.A., Kuzmin A.M. Perspectives for use of composite and polymer materials in aircraft construction // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2021, vol. 1047, p. 12023. DOI: 10.1088/1757-899X/1047/1/012023.
8. Tretyakov G.M., Denisov V.V., Kononov I.I. Improving the efficiency of grain cargo transportation by rail // Science and education for transport. 2013, no. 1, pp. 80-83.
9. Varlamov A.V., Fokeev A.B., Varlamova N.H., Mazko N.N. Improvement of methods for calculating technical and economic indicators of mechanisms of displacement and arch collapse in bunker devices // Bulletin of Transport of the Volga region. 2022, no. 2(92), pp. 48-53.
10. Varlamov A.V. Improving the efficiency of the process of releasing feed components by a hopper device with a bottom slit hole and a mechanical arch breaker: Diss. ... cand. of tech. sc. – Saratov: SSAU, 1999. – 113 p.

Сведения об авторах:

Information about authors:

Кожевников Вадим Александрович – кандидат технических наук, доцент	Kozhevnikov Vadim Aleksandrovich – candidate of technical sciences, associate professor
Жданов Андрей Геннадьевич – кандидат технических наук, доцент	Zhdanov Andrey Gennadievich – candidate of technical sciences, associate professor
Денисов Владимир Васильевич – кандидат технических наук, доцент	Denisov Vladimir Vasilyevich – candidate of technical sciences, associate professor
Прусов Максим Владимирович – кандидат технических наук, старший преподаватель	Maxim Vladimirovich Prusov – candidate of technical sciences, senior lecturer
v_a_kozhevnikov@bk.ru	

Получена 02.02.2023