

ТЕХНОЛОГИИ, МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА И ПЕРЕРАБОТКИ ДРЕВЕСИНЫ / TECHNOLOGIES, MACHINES AND EQUIPMENT FOR FORESTRY AND WOOD PROCESSING

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2024.51.5>

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПОДАЧИ КОМПОНЕНТОВ КОМБИКОРМА В ПРОИЗВОДСТВО

Научная статья

Кононов И.И.^{1,*}, Денисов В.В.², Прусов М.В.³

¹ ORCID : 0000-0002-9455-3962;

² ORCID : 0000-0002-3824-7944;

³ ORCID : 0009-0001-7313-4048;

^{1,2,3} Самарский государственный университет путей сообщения, Самара, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (ikononov[at]yandex.ru)

Аннотация

Цель исследования заключается в повышении эффективности использования ресурсов при выгрузке трудносыпучих материалов из бункеров в агропромышленном комплексе за счет внедрения устройств, способствующих ускорению истечения. В качестве объекта исследований выступает процесс истечения трудносыпучих компонентов комбикорма из бункера новой конструкции с круговым выпускным отверстием изменяемого сечения, оборудованного рыхлителем.

Методы расчетов и выбора наиболее рациональных параметров бункера и результаты исследований могут быть применены и в областях переработки других сыпучих грузов.

Разработанная конструкция бункера и его разгрузочного устройства обеспечивает наиболее эффективные режимы истечения трудносыпучих компонентов комбикорма, повышает перерабатывающую способность бункерных установок и улучшает их экономические показатели.

Ключевые слова: сыпучие грузы, компоненты комбикорма, энергоэффективность, бункер, рыхлитель, сводообразование.

INCREASING THE ENERGY EFFICIENCY OF SUPPLYING FODDER COMPONENTS INTO PRODUCTION

Research article

Kononov I.I.^{1,*}, Denisov V.V.², Prusov M.V.³

¹ ORCID : 0000-0002-9455-3962;

² ORCID : 0000-0002-3824-7944;

³ ORCID : 0009-0001-7313-4048;

^{1,2,3} Samara State University of Transport Communications, Samara, Russian Federation

* Corresponding author (ikononov[at]yandex.ru)

Abstract

The aim of the research is to increase the efficiency of resource utilization when unloading difficult bulk materials from bunkers in the agro-industrial complex through the introduction of devices that accelerate the flow. The process of expiration of difficult bulk components of mixed fodder from the bunker of a new design with a circular outlet opening of variable cross-section equipped with a ripper acts as an object of research.

The methods of calculations and selection of the most rational parameters of the bunker and the results of research can be applied to the processing of other bulk goods.

The developed design of a bunker and its unloading device provides the most effective modes of flow of difficult bulk components of mixed fodder, increases processing ability of bunker installations and improves their economic indicators.

Keywords: bulk goods, fodder components, energy efficiency, bunker, ripper, arching.

Введение

Развитие компаний, производящих продукцию, способную соперничать на рынке комбикормовой индустрии, а также обновление действующих производственных линий должны найти свое отражение в передовых технологиях и оборудовании, характеризующихся высокой степенью надежности и энергоэффективности, чтобы обеспечить высокое качество продукции и оптимизировать производственные затраты [1].

Одним из ключевых аспектов в производстве комбикормов является обеспечение безопасности и качества продукции [2]. Оптимизация процессов загрузки и выгрузки позволяет снизить энергозатраты и повысить производительность систем хранения. Например, грамотное распределение потока материала при загрузке может минимизировать образование сводов и пустот, что улучшает равномерность выгрузки и снижает риск зависания материала [3].

Использование современных композитных материалов и покрытий может значительно снизить трение между стенками сооружения и хранимым материалом, что также способствует более эффективному использованию энергии. Эти материалы обладают высокой износостойкостью и коррозионной устойчивостью, что продлевает срок службы сооружений и снижает затраты на их обслуживание [4].

В целом, комплексный подход, включающий в себя как оптимизацию конструктивных решений, так и разработку энергосберегающих технологий, позволит значительно улучшить качественные и энергетические параметры разгрузки сыпучих материалов из бункеров с управляемым боковым щелевым отверстием. Это не только повысит эффективность работы оборудования, но и снизит общие затраты на хранение и обработку материалов [5], [6].

Методы и принципы исследования

Цель исследования заключается в повышении эффективности использования ресурсов при выгрузке трудносыпучих материалов из бункеров в агропромышленном комплексе за счет внедрения устройств, способствующих ускорению истечения.

В качестве объекта исследований выступает процесс истечения трудносыпучих компонентов комбикорма из бункера с круговым выпускным отверстием изменяемого сечения, оборудованного рыхлителем [7]. Теоретические изыскания основаны на естественнонаучных принципах. Экспериментальные изыскания проводились согласно известных и предлагаемых методических приемов [8], [9].

Основные результаты

Конструктивно-технологическая схема бункера (рис. 1) включает корпус 1, закрепленный на раме 7, кольцевой затвор 2 и поворотное кольцо 4, между нижней кромкой поворотного кольца и дном 6 образуется круговое выпускное отверстие, мотор-редуктор 3 с зубчатым колесом и приводной цепью. На поворотном кольце закреплены рабочие органы 5 [10].

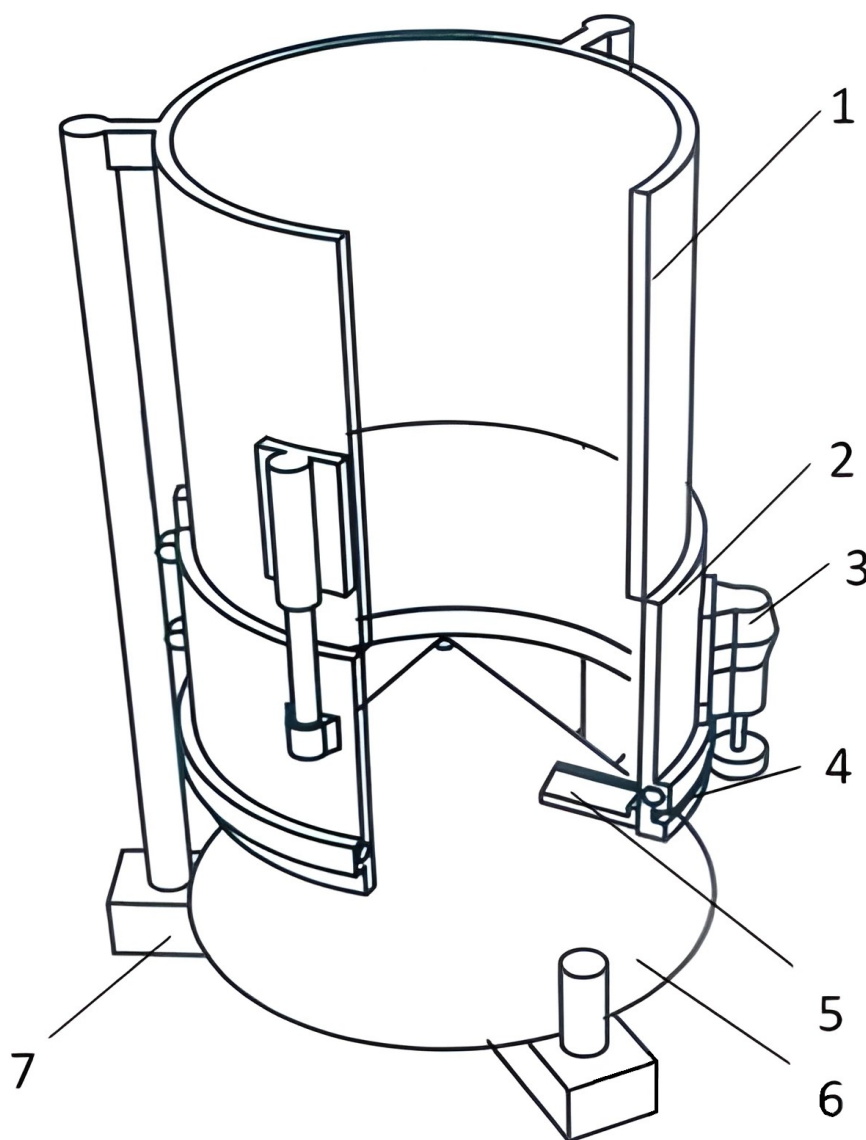


Рисунок 1 - Схема бункера с рыхлителем на кольцевом затворе
DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2024.51.5.1>

Примечание: 1 – корпус бункера; 2 – рыхлитель; 3 – кольцевой затвор; 4 – выпускной патрубок; 5 – привод рыхлителя; 6 – опорная рама; 7 – управляющий элемент

Разгрузка бункера реализуется следующими способами:

1. Истечение содержимого бункера из кругового выпускного отверстия без рыхления
2. Рыхление содержимого бункера рабочими органами для стимуляции выгрузки.
3. Кольцевой затвор поднимается с вращением рыхлителя.

Однако при организации процесса выгрузки сыпучего груза из бункера рациональной схемой можно принять единое движение кольцевого затвора, совмещенного с поворотом или перемещение по спирали. В данном случае сечение рабочего органа рыхлителя при перемещении по спирали не противоречит миделевому сечению рабочего органа.

Энергоэффективность работы кольцевого затвора будет достигаться при размещении рабочего органа под углом $\beta < \alpha$, при таком условии происходит снижение силы трения относительно его верхней кромки (рис. 2).

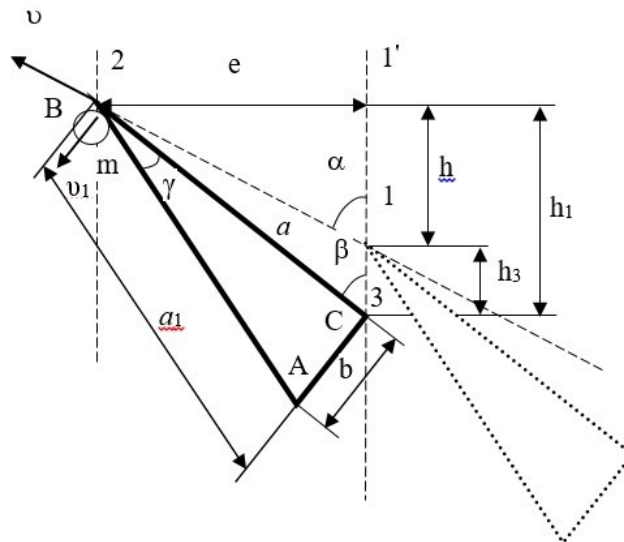


Рисунок 2 - К определению оптимального угла закрепления рабочего органа рыхлителя

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2024.51.5.2>

Точка 1, соответствующая передней кромке клина, переместится в точку 2 по спиральной траектории за время t , определяемое из выражения:

$$h_1 \geq \frac{ae\pi}{r\omega^2} + h, \quad (1)$$

где h – шаг спиральной линии или перемещение кольцевого затвора.

Задавись ω , из (1) можно найти h_1 и угол β :

$$h_1 \geq \frac{ae\pi}{r\omega^2} + h, \quad (2)$$

$$\beta = \text{arcctg} \frac{h_1}{2r\pi}. \quad (3)$$

Работа при повороте кольцевого затвора на угол 2π составляет:

$$dW_1 = 2\pi \frac{\omega^2 \rho a_1 c \sin \gamma}{\cos^2 \gamma} \sqrt{1 + f^2} \sin(\varphi + \gamma) r^2 dr \sqrt{r^2 + b^2} = Ar^2 \sqrt{r^2 + b^2} dr. \quad (4)$$

Вся работа равна:

$$W = A \int_{r_1}^{r_2} r^2 \sqrt{r^2 + b^2} dr. \quad (5)$$

Введем обозначения относительных величин:

$$\frac{r}{r_0} = R; \quad r = r_0 R; \quad \frac{h}{2\pi r_0} = B, \quad \frac{W}{r_0^4} = W_{\text{отн}}; \quad W = W_{\text{отн}} r_0^4; \quad R_1 = \frac{r_1}{r_0}; \quad R_2 = \frac{r_2}{r_0} = \frac{r_0}{r_0} = 1.$$

Крутящий момент $M_{\text{кр}}$ на кольцевом затворе составит:

$$M_{\text{кр}} = A_1 \int_{r_1}^{r_2} r_3 dr = A_1 \left[\frac{r^4}{4} \right]_{r_1}^{r_2} = \frac{A_1}{4} (r_2^4 - r_1^4). \quad (6)$$

Энергоэффективность процесса выгрузки сыпучего груза с рыхлением:

$$N_{\text{ур}} = \frac{N_{\text{затр}}}{G_6} = \frac{\frac{A_1}{4} (r_2^4 - r_1^4) \omega}{\eta G_6}, \quad (7)$$

где G_6 – вместимость бункера, т;

η – КПД привода кольцевого затвора.

Экспериментальные исследования были проведены в ОАО «Волгауралтранс» на местах необщего пользования станции Самарка. Экспериментальная технологическая линия состоит из предлагаемого бункера с мотор-редуктором, мобильного приемного лотка с винтовым питателем [11], штабелера, мягкого контейнера типа МКР-1.0 С-1.3 ППР (рис. 3).

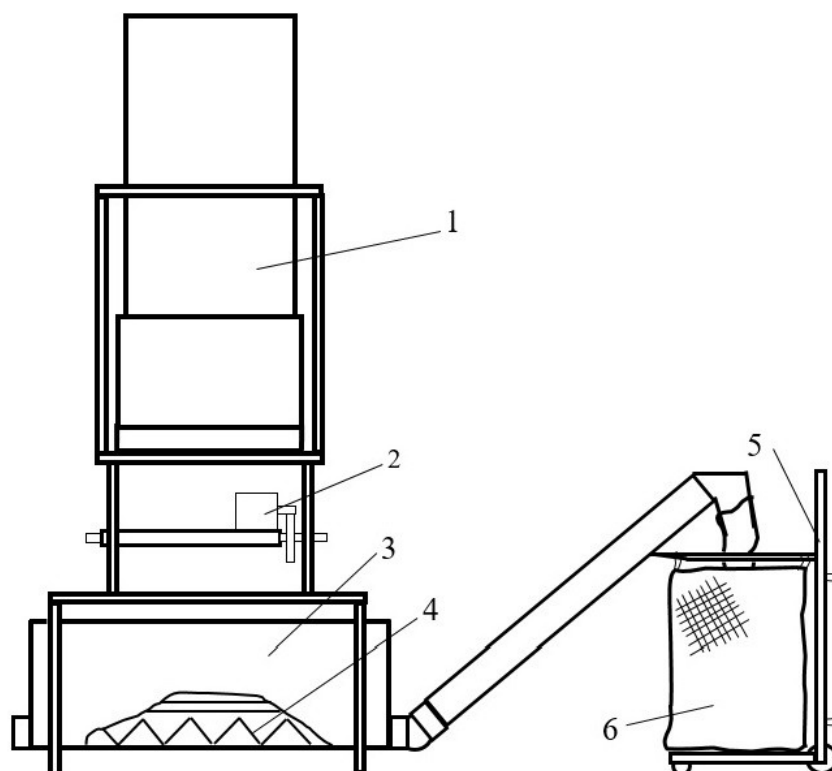


Рисунок 3 - Схема экспериментальной технологической линии затаривания мягких контейнеров
DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2024.51.5.3>

Примечание: 1 – бункер; 2 – затвор; 3 – рыхлитель; 4 – привод; 5 – система выгрузки или заполнения; 6 – мягкий контейнер

Компонент комбикорма (отруби пшеничные и мясокостная мука с показателями основных физико-механических свойств, соответствующих ГОСТ), истекающий из выпускного отверстия бункера, поступает в приемный лоток и винтовым питателем перемещается в полость мягкого контейнера. При помощи штабелера контейнер мускульной силой доставляется в нужную точку погрузочной площадки.

Технические характеристики:

1. Бункер: высота – 3000 мм; диаметр – 900 мм; полезный объем – 1,9 м³; угол наклона дна – 35°; сечение выпускного отверстия – 0...0,5 м².

2. Рыхлитель: число рабочих органов – 2; угол установки – 20°; длина – 210 мм; ширина – 25 мм.

3. Привод: мощность электродвигателя – 0,12 кВт; частота вращения – 20 мин⁻¹; напряжение питания – 220/380 В, 50 Гц; скорость подъема затвора – 0,029 м/с.

Исследования экспериментальной технологической линии затаривания мягких контейнеров выявили следующее:

1. Производительность при выгрузке: мясокостная мука – 1...20 т/ч; отруби – 0,3...15 т/ч.

2. Остаток после выгрузки: не имеется.

3. Энергозатраты: перемещение кольцевого затвора – 0,5 кВт; рыхление – 0,9 кВт; подъем кольцевого затвора с поворотом рабочих органов – 0,11 кВт.

4. Неравномерность выгрузки: мясокостная мука – 7%; отруби – 5 %.

5. Расслоение компонентов комбикорма: отсутствует.

6. Энергоэффективный режим выгрузки компонентов комбикорма – спиральный подъем кольцевого затвора без вращения поворотного кольца с рабочими органами. При сводообразовании в полости бункера – подъем кольцевого затвора при вращении рабочих органов.

Способы затаривания мягких контейнеров обеспечивают увеличение их грузоподъемности на 10...30 % в зависимости от объемной плотности.

В приведенной экспериментальной технологической линии затаривания мягких контейнеров можно предусмотреть размещение устройства для загрузки мягких контейнеров авторской конструкции [12]. При этом реализуется способ затаривания различных сыпучих материалов в мягкие контейнеры различных типоразмеров, и может быть использовано в химической, пищевой, цементной и других отраслях промышленности.

В данном случае обеспечивается энергоэффективный способ загрузки мягких контейнеров сыпучим материалом, не требующий дополнительных средств механизации.

Устройство для заполнения мягких контейнеров сыпучим материалом дополнительно оснащено устройством для уплотнения сыпучего материала. Оно состоит из цилиндрического корпуса, подвижных элементов на внешней стороне корпуса с возможностью вертикального перемещения при помощи гидроцилиндров.

Заключение

Экспериментальная технологическая линия затаривания мягких контейнеров имеет следующие недостатки:

1. С целью применения бункера с разуплотнением слежавшихся компонентов комбикорма следует упрочнить рабочие органы и поворотное кольцо.
2. В процессе эксплуатации экспериментальной технологической линии выявлено пылеобразование, которое, впрочем, может быть минимизировано универсальными способами пылеборьбы.
3. Между нижней кромкой выпускного отверстия и приемным лотком имеется излишнее расстояние.

В тоже время, не вызывает сомнений ее эффективность при складировании, выгрузке компонентов комбикорма, в том числе сопряженной со свооразрушением рабочими органами бункера, и затаривании мягких контейнеров, конструктивная схема которая может быть реализована на предприятиях комбикормового производства. Применение результатов исследований позволит повысить перерабатывающую способность и эффективность поточно-транспортных систем, в которых применяются бункерные установки.

В качестве результатов применения устройства для загрузки мягких контейнеров в экспериментальной технологической линии затаривания мягких контейнеров можно отметить повышение их грузоподъемности за счет уплотнения сыпучего материала без деаэрации, повышение степени герметичности при их заполнении, что исключает потери качества сыпучих материалов, обеспечивает безопасную санитарно-эпидемиологическую обстановку в рабочей зоне.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Дорохов А.С. Состояние и перспективы развития комбикормовой промышленности в Российской Федерации / А.С. Дорохов, Н.О. Чилингарян // Аграрный вестник Урала. — 2020. — 7(198). — С. 75–84. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44216944> (дата обращения: 22.08.2024).
2. Денисов В.В. Обеспечение транспортно-технологических систем новым эффективным ресурсосберегающим оборудованием / В.В. Денисов, И.И. Кононов, М.В. Прусов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. — 2023. — 7. — С. 471–475. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=54489641> (дата обращения: 22.08.2024).
3. Ionut O.T. Coatings Innovations on the Inner Shell of Metal Grain Silos / O.T. Ionut, V. Ciocan, A. Boboc [et al.] // Advanced Engineering Forum. — 2017. — 21. — P. 207–212. — URL: <https://www.scientific.net/AEF.21.207> (accessed: 22.08.2024).
4. Lakhoua M.N. Application of system analysis in order to monitor grain silos / M.N. Lakhoua // Journal of Engineering Studies and Research. — 2019. — 25(4). — P. 37–42. — URL: <https://doi.org/10.29081/jesr.v25i4.22> (accessed: 22.08.2024).
5. Fokeev A.B. Fuzzy logic methods in assessing the transport and warehouse complexes functioning quality / A.B. Fokeev, I.I. Kononov, V.V. Denisov // Nexo Revista Científica. — 2021. — 34(6). — P. 1876–1884. DOI: 10.5377/nexo.v34i06.13191
6. Lashin M.M.A. Optimization warehouse management utilizing fuzzy logic control system International / M.M.A. Lashin, F. Alrowais // Journal of Advanced Science and Technology. — 2020. — 29(5). — P. 4587–4602. — URL: <https://sersc.org/journals/index.php/IJAST/article/view/13788> (accessed: 26.08.2024).
7. Кононов И.И. Совершенствование процесса функционирования бункерных хранилищ транспортно-складских комплексов для сыпучих грузов (на примере компонентов комбикорма) : дис. ...канд. : 05.20.01, 05.22.01 : защищена 2002-01-22 : утв. 2002-06-07 / И.И. Кононов. — Саратов : 2002. — 158 с.
8. Мазуркин П.М. Основы научных исследований : учебное пособие / П.М. Мазуркин. — Йошкар-Ола : Федеральное агентство по образованию, Марийский государственный университет, 2006. — 410 с.
9. Байбородова Л.В. Методология и методы научного исследования: Учебное пособие / Л.В. Байбородова, А.П. Чернявская. — Москва : Издательство Юрайт, 2024. — 1 с.
10. Пат. 15987 Российская Федерация, МПК200010923020/88/54 МПК В65D. Бункер для сыпучих материалов / Третьяков Г.М. — № 200010923020/88/54; заявл. 2000-04-18; опубл. 2000-11-27. — 1 с.
11. Денисов В.В. Совершенствование технического оснащения грузовых фронтов при выгрузке сыпучих грузов / В.В. Денисов, И.И. Кононов, М.В. Прусов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. — 2023. — 7. — С. 482–486. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=54489643> (дата обращения: 22.08.2024).

12. Пат. 2512011 Российская Федерация, МПК201211279713/1/24 1/100 МПК В65В. Способ заполнения мягких контейнеров сыпучим материалом и устройство для его осуществления / Третъяков Г.М. — № 201211279713/1/24 1/100; заявл. 2012-04-02; опубл. 2014-04-10. — 1 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Rossijskoj Federatsii [The state and prospects of the development of the feed industry in the Russian Federation] / A.S. Dorohov, N.O. Chilingarjan // Agrarian Bulletin of the Urals. — 2020. — 7(198). — P. 75–84. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44216944> (accessed: 22.08.2024). [in Russian]

2. Denisov V.V. Obespechenie transportno-tehnologicheskikh sistem novym effektivnym resursoberegajuschim oborudovaniem [Providing transport and technological systems with new efficient resource-saving equipment] / V.V. Denisov, I.I. Kononov, M.V. Prusov // Bulletin of Tula State University. Technical sciences. — 2023. — 7. — P. 471–475. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=54489641> (accessed: 22.08.2024). [in Russian]

3. Ionut O.T. Coatings Innovations on the Inner Shell of Metal Grain Silos / O.T. Ionut, V. Ciocan, A. Boboc [et al.] // Advanced Engineering Forum. — 2017. — 21. — P. 207–212. — URL: <https://www.scientific.net/AEF.21.207> (accessed: 22.08.2024).

4. Lakhoua M.N. Application of system analysis in order to monitor grain silos / M.N. Lakhoua // Journal of Engineering Studies and Research. — 2019. — 25(4). — P. 37–42. — URL: <https://doi.org/10.29081/jesr.v25i4.22> (accessed: 22.08.2024).

5. Fokeev A.B. Fuzzy logic methods in assessing the transport and warehouse complexes functioning quality / A.B. Fokeev, I.I. Kononov, V.V. Denisov // Nexo Revista Cientifica. — 2021. — 34(6). — P. 1876–1884. DOI: 10.5377/nexo.v34i06.13191

6. Lashin M.M.A. Optimization warehouse management utilizing fuzzy logic control system International / M.M.A. Lashin, F. Alrowais // Journal of Advanced Science and Technology. — 2020. — 29(5). — P. 4587–4602. — URL: <https://sercsc.org/journals/index.php/IJAST/article/view/13788> (accessed: 26.08.2024).

7. Kononov I.I. Sovershenstvovanie protsessa funkcionirovanija bunkernyh hranilisch transportno-skladskih kompleksov dlja sypuchih gruzov (na primere komponentov kombikorma) [Improving the functioning of bunker storage facilities of transport and warehouse complexes for bulk cargo (using feed components as an example)] : dis...of PhD in Agriculture : 05.20.01, 05.22.01 : defense of the thesis 2002-01-22 : approved 2002-06-07 / I.I. Kononov. — Saratov : 2002. — 158 p. [in Russian]

8. Mazurkin P.M. Osnovy nauchnyh issledovanij [Fundamentals of scientific research] : a textbook / P.M. Mazurkin. — Joshkar-Ola : Federal'noe agentstvo po obrazovaniju, Marijskij gosudarstvennyj universitet, 2006. — 410 p. [in Russian]

9. Bajborodova L.V. Metodologija i metody nauchnogo issledovanija: Uchebnoe posobie [Methodology and methods of scientific research: A textbook] / L.V. Bajborodova, A.P. Chernjavskaja. — Moscow : Izdatel'stvo Jurajt, 2024. — 1 p. [in Russian]

10. Pat. 15987 Russian Federation, МПК200010923020/88/54 МПК В65D. Bunker dlja sypuchih materialov [Bulk material bunker] / Tret'jakov G.M. — № 200010923020/88/54; appl. 2000-04-18; publ. 2000-11-27. — 1 p. [in Russian]

11. Denisov V.V. Sovershenstvovanie tehničeskogo osnasčenija gruzovyh frontov pri vygruzke sypuchih gruzov [Improving the technical equipment of cargo fronts during unloading of bulk cargo] / V.V. Denisov, I.I. Kononov, M.V. Prusov // Bulletin of Tula State University. Technical sciences. — 2023. — 7. — P. 482–486. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=54489643> (accessed: 22.08.2024). [in Russian]

12. Pat. 2512011 Russian Federation, МПК201211279713/1/24 1/100 МПК В65В. Sposob zapolnenija mjagkih kontejnerov sypuchim materialom i ustrojstvo dlja ego osuschestvlenija [Method for filling soft containers with bulk material and device for implementing it] / Tret'jakov G.M. — № 201211279713/1/24 1/100; appl. 2012-04-02; publ. 2014-04-10. — 1 p. [in Russian]