

ОБОРУДОВАНИЕ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

УДК 669.1

[https://doi.org/10.18503/2311-5378-2026-1\(56\)-51-56](https://doi.org/10.18503/2311-5378-2026-1(56)-51-56)

Анищенко А.С., Присяжный А.Г., Лаврова Е.В.

ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИЙ РАЗЪЕМНЫХ КОРПУСОВ ПРОКАТНО-СВАРНЫХ ТЕЛЕЖЕК МАШИН ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА АГЛОМЕРАТА И ОКАТЫШЕЙ

Аннотация. Показаны преимущества и недостатки тележек конвейерных машин для производства агломерата и окатышей, в которых литой корпус заменен на прокатно-сварной. Статья ставит целью разработку конструкций тележек, снижающих или устраняющих деформацию корпусных элементов. Проанализированы существующие технические решения в этом направлении. Предложены разъемные конструкции спекательных и обжиговых тележек с прокатно-сварным корпусом, обеспечивающие снижение прогиба корпусов при эксплуатации за счет многократных переворачиваний корпусов прогибом вверх по достижении ими критических деформаций. Описаны конструкции узлов тележек, обеспечивающие повышение жесткости крепления корпусов к ходовым частям тележек, а также допускающие линейное расширение корпусов при нагреве без потери устойчивости и прогиба в направлении вакуум-камер.

Ключевые слова: тележка, корпус, прогиб, балка, полка, пружина, разъем, расширение

Введение

Производство агломерата и окатышей сопряжено с тяжелыми условиями эксплуатации тележек конвейерных машин. Корпуса тележек в процессе работы подвержены знакопеременным температурно-силовым воздействиям [1], что приводит к их пластической деформации на начальной стадии эксплуатации, а затем высокотемпературной ползучести. Возникает прогиб корпусов, который может достигнуть критической величины, определяемой параметрами вакуум-камер, и привести к аварийным ситуациям на конвейере. В работах [2, 3] показано, что прогиб также является вынужденной потерей устойчивости конструкции корпуса вследствие его термического расширения и невозможности увеличить ширину из-за наличия роликов, опирающихся ребрами в головки рельсов конвейера.

Критический прогиб корпусов тележек является одной и наиболее серьезных аварийных ситуаций на фабриках по обогащению железных руд. В связи с этим линии с обжиговыми и агломерационными тележками оборудуются приборами для превентивного предотвращения больших прогибов корпусов, несмотря на то, что при этом увеличивается стоимость линий и затраты на их обслуживание. К примеру, конвейерные линии «Metso» структурного подразделения фирмы «Outotec» (Финляндия) оснащены специальными системами «Metso Pallet Car Control Condition Monitoring System», использующими для мониторинга повреждений тележек бесконтактные датчики и видеокамеры [4]. Существуют также иные разработки на базе алгоритмов компьютерного зрения, искусственных нейронных сетей для анализа повреждений по их изображению [5-7].

Известно достаточно много конструкторских решений по снижению прогиба корпусов, но практика показывает, что они лишь частично устраняют проблему, в связи с чем существует потребность в дальнейших разработках в этом направлении.

Цель работы – создание новых конструкций прокатно-сварных корпусов тележек агломерационных и обжиговых машин, обеспечивающих снижение прогиба корпусов в процессе их эксплуатации.

Результаты исследования и их обсуждение

Спекательные тележки первых агломерационных машин изготавливали сваркой отдельных частей из проката. Низкое качество сварных швов вынудило потребителей отказаться от сварных конструкций, и долгое время в конструкциях тележек применяли литые стали или чугуны. В 90-х годах прошлого столетия предприятие «Азовмашпром» (г. Мариуполь) возобновило выпуск прокатно-сварных спекательных тележек из сталей для судостроения 09Г2С, St.52-3, обеспечив качественную сварку конструкций. Прокатно-сварные тележки (патенты на полезную модель, далее сокращенно – ППМ, UA №605, 2252, 3354, 3422, RU №39389) при меньшей массе показали более высокую стойкость к прогарам и прогибу. Выбор более прочных сталей позволил либо увеличить срок службы корпусов, либо уменьшить поперечные сечения их несущих элементов, то есть изготовить корпус еще более легкими.

Тележки «Азовмашпрома» стали успешно конкурировать со своими литыми аналогами, поскольку литой металл в сравнении с деформированным имел большую склонность к прогарам, а механические свойства обуславливали необходимость в увеличении массы элементов корпуса. Более тяжелые тележки снижали энергетические показатели работы конвейерных машин.

Однако несмотря на определенные преимущества прокатно-сварных конструкций тележек, проблема прогиба корпусов заменой литого металла на деформированный не устранилась.

Наиболее распространенные способы снижения прогиба корпусов тележек предполагают уменьшение влияния температурного разогрева на элементы корпуса и увеличение их несущей способности. Нестандартное решение проблемы было предложено германской фирмой «Lurgi Metallurgie» (с 2007 года входит в состав финской фирмы «Outotec»), применившей принцип научного творчества «обратить вред в пользу». Она спроектировала тележки в виде отдельной литой рамы, крепящейся с разъёмным соединением к вертикальным ригелям с установленными в них роликами, осями, уплотнениями и боковыми стенками [8] (патент ФРГ №209479). В процессе эксплуатации тележек по достижении критического прогиба рамный корпус отсоединяли от остальных узлов тележки, переворачивали и прогибом вверх вновь присоединяли к ригелям. При дальнейшей работе полки несущих балок корпуса вначале приобретали нулевую кривизну, а затем прогибались в противоположную сторону, то есть срок службы корпуса до последующего переворачивания увеличивался почти вдвое. Таким образом, негативное механическое и тепловое воздействие на тележку было частично обращено для получения положительного результата.

Нами на предприятии «Азовмашпром» разработана подобная конструкция корпуса тележки (рис. 1) применительно к прокатно-сварному варианту изготовления [ППИМ UA № 2253].

Тележка содержит корпус, включающий две крайние и три средние несущие балки, которые состоят из одинаковых вертикальных стенок 1 и двух горизонтальных полок (поз. 2 – для крайних, поз. 3 – для средних балок). В прорезах между несущими балками перпендикулярно к ним расположены ребра жесткости 4.

Торцы несущих балок соединены сваркой с перпендикулярно расположенными к ним ригелями 5, которые, в свою очередь, соединены болтами со смежными боковинами 6. Для этого в ригелях 5 и боковинах 6 выполнены друг против друга отверстия 7 (рис. 1, в, г).

Если несущей способности болтов будет недостаточно, в смежных поверхностях боковин 6 и ригелей 5 выполняются горизонтальные пазы 8 (рис. 1, г), в которые вставляют, к примеру, шпонки.

На базе корпуса происходит сборка спекательной тележки. Для этого в отверстия 9 боковин 6 устанавливают роликовые узлы, сверху к боковинам прикрепляют съемные борты 10, поверх несущих балок устанавливают колосники, а снизу несущие балки и ригели 5 соединяют с узлом уплотнения.

Корпус эксплуатируют как составную часть спекательной тележки. После загрузки шихты на колосники тележка от привода агломашины перемещается по рельсам к зоне спекания, где горящая шихта превращается в агломерат при непрерывном отсасывании воздуха от слоя шихты вакуум-камерами. Далее тележка опрокидывается и возвращается в исходное положение.

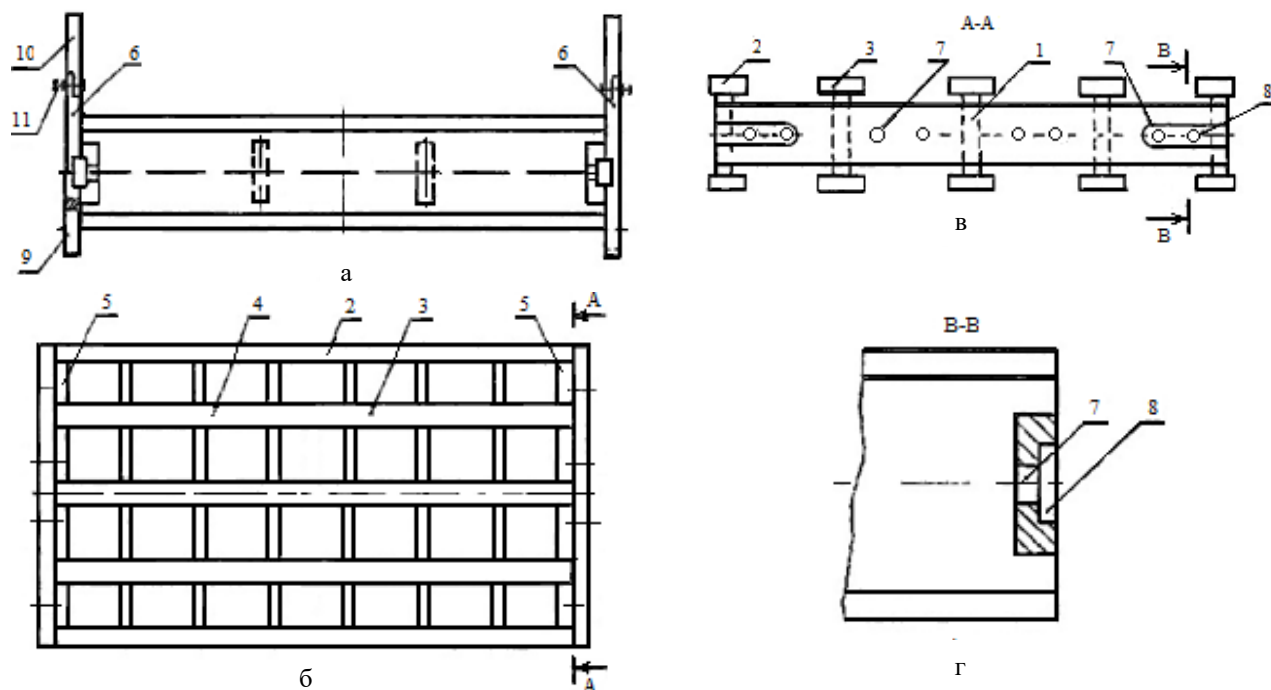


Рис. 1. Прокатно-сварная спекательная тележка с переворачиваемым корпусом

По достижении максимально допустимой величины прогиба тележку снимают с конвейера и демонтируют. Освобожденный от других деталей и узлов корпус переворачивают на 180° относительно горизонтальной оси и вновь соединяют с этими деталями и узлами.

После установки тележки на конвейер агломашины расстояние между нижней кромкой несущих балок и уровнем вакуум-камер становится больше номинального, так как корпус в этот момент имеет прогиб вверх, то есть в противоположную от вакуум-камер сторону.

Повторный цикл эксплуатации корпуса вновь сопровождается деформацией его несущих балок в направлении к вакуум-камерам. При этом вначале остаточный прогиб, образованный на предыдущем цикле эксплуатации уменьшается до нуля. Далее корпус продолжает прогибаться в направлении к вакуум-камерам. По достижении критических размеров остаточного прогиба тележку вновь снимают с конвейера, корпус переворачивают на 180° , обеспечивая работоспособность тележки на еще одном цикле эксплуатации.

Таким образом, вне зависимости от того, является ли корпус литым или прокатно-сварным, срок его эксплуатации зависит от числа переворачиваний на 180° . Если же корпус будет выполнен из проката, общий срок его эксплуатации еще более увеличится за счет большего времени работы в промежутках между переворачиваниями корпуса. Это обусловлено более высоким пределом циклической ползучести для катаного металла в сравнении с литым, то есть меньшей деформацией прокатно-сварного корпуса в единицу времени.

Корпуса данной конструкции эксплуатировались на ГОКах Кривого Рога. В результате были выявлены следующие недостатки корпуса и тележки в целом:

- ригели 5 и боковины 6 соединяются между собой с помощью болтов, установленных в соосные отверстия, расположенные в один ряд и только в центральной части ригелей 5; в связи с этим ригели 5 при прогибе корпуса существенно отклоняются в своей верхней части от боковин 6, возникает промежуток, в который высыпается шихта и нарушает герметичность пространства под корпусом; в результате имеют место потери шихты, а также неэффективная работа вакуум-камер;

- ригели 5 и боковины 6 не имеют центрирующих посадочных поверхностей для обеспечения соосности отверстий для соединительных болтов, это ухудшает условия ремонтных работ и увеличивает срок переналадки тележек; кроме того, из-за отсутствия этих поверхностей изгибающий момент от прогиба корпуса принимают на себя только болты, что дополнительно ухудшает жесткость соединения ригелей 5 с боковинами 6;

- крепление ригелей 5 к боковинам 6 даже при частичном изнашивании болтов или отверстий обуслов-

ливает подсос холодного воздуха с противоположной относительно ригелей 5 стороны боковин 6 в полость между корпусом и вакуум-камерами, что уменьшает производительность конвейерной машины и ухудшает качество окатышей или агломерата.

Для устранения выявленных недостатков нами спроектированы усовершенствованные конструкции тележек конвейерных машин с разъемными переворачиваемыми корпусами.

Тележка с повышенной жесткостью соединения корпуса с ходовой частью показана на рис. 2, а-г. Она имеет рамный корпус 1, присоединенный с обеих сторон к двум боковинам 2. Поверх боковин 2 установлены съемные борты 3. Боковины 2 консольно установлены на ролики 4 с помощью осей 5. В нижней части корпуса 1 с обеих сторон установлены уплотнения 6. Корпус 1 имеет ребра жесткости 7, расположенные между балками, состоящими из горизонтальных полок 8 и вертикальных стенок 9. Балки своими торцами приварены к ригелям 11. Ригели 11 соединены с боковинами 2 с помощью болтов 12 (рис. 2, г). Болты 12 установлены в соосных отверстиях 10 ригелей 11 и стоек 13, являющихся частью боковин 2. Отверстия 10 выполнены в два ряда по высоте ригелей 11 на одинаковом расстоянии от середины высоты ригелей 11. Оси каждого из рядов отверстий 10 находятся в одной горизонтальной плоскости.

В стойках 13 боковин 2 на смежных с ригелями 11 поверхностях совместно с отверстиями 10 изготовлены пазы 15. В пазы 15 посажены выступы 14, выполненные на поверхностях ригелей 11, то есть оси выступов 14 совпадают с осями отверстий 10 и пазов 15.

В связи с тем, что расположенные в два ряда болты 12 крепят ригели 11 к боковинам 2 (стенкам 13) на меньшем в сравнении с ППМ UA №2253 расстоянии от верхнего торца ригелей 11, прогиб корпуса 1 при таких же значениях термических напряжений и усилий от собственного веса, колосников и шихты обуславливает возникновение меньших изгибающих моментов, действующих на болты 12.

Расположение выступов 14 на ригелях 11 в пазах 15 боковин 2 обеспечивает создание дополнительных несущих поверхностей, воспринимающих поперечные усилия и изгибающие моменты от прогиба корпуса 1. Такими поверхностями являются боковые поверхности пазов 15 и выступов 14.

Уменьшение изгибающих моментов, действующих на болты 12, а также увеличение несущих поверхностей соединения корпуса 1 с боковинами 2 увеличивает жесткость конструкции тележки.

Прогиб корпуса 1 не сопровождается возникновением промежутка между боковинами 2 (стенками 13) и ригелями 11 в их верхней части. Отсутствие промежутка обеспечивает стабильную работу вакуум-камер, снижает просыпание шихты в полости вакуум-камер, увеличивает срок эксплуатации тележек, в частности ригелей 11 и боковин 2 [9].

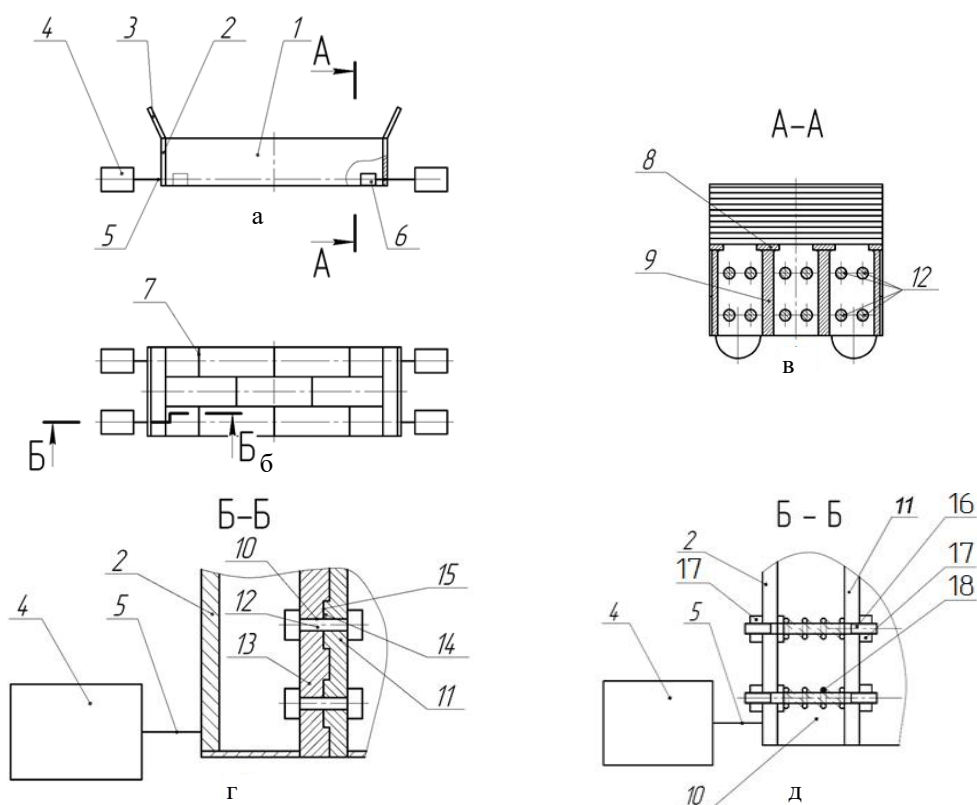


Рис. 2. Усовершенствованные спекательные тележки с переворачиваемым корпусом

Наличие выступов 14 и пазов 15 упрощает операции крепления корпусов 1 к боковинам 2, поскольку проще сначала вставить выступы 14 в пазы 15, а уже затем крепить болтами 12 боковины 2 к ригелям 11.

Тележка, в конструкции которой предусмотрена компенсация теплового расширения корпуса, представлена на рис. 2, а-в, д. В отличие от узла крепления корпуса 1 к ходовой части тележки, показанного на рис. 2, г, ригели 11 соединены с боковинами 2 разъемными соединениями, допускающими перемещение ригелей 11 относительно боковин 2 вдоль осей 5 роликов 4 (рис. 2, д). Для этого в боковинах 2 и ригелях 11 выполнены соосные отверстия, в которые установлены шпильки 16. На торцах шпилек 16 накручены гайки 17, а между боковиной 2 и ригелем 11 на шпильки 12 установлены пружины 18.

В процессе эксплуатации под влиянием высоких температур спекания или отжига корпус 1 тележки нагревается и расширяется. Если этому мешают реборды роликов 4, то балки корпуса 1 частично деформируются в направлении вакуум-камер, следствием чего является быстрый остаточный прогиб корпуса 1, обуславливающий уменьшение зазоров между колосниками, то есть снижение газопроницаемости слоя шихты [10]. Наличие пружин 18 обеспечивает расширение балок корпуса 1 в направлении боковин 2 за счет сжатия этих пружин 18 без прогиба балок в направлении вакуум-камер. Таким образом, макси-

мально допустимая величина прогиба балок достигается за большой срок эксплуатации.

Выводы

1. Показаны преимущества и недостатки тележек конвейерных машин для производства агломерата и окатышей, в которых литой корпус заменен на прокатно-сварной.

2. Предложены разъемные конструкции спекательных и обжиговых тележек с прокатно-сварным корпусом, обеспечивающие снижение прогиба корпусов при эксплуатации за счет многократных переворачиваний корпусов прогибом вверх по достижении ими критических деформаций.

3. Описаны конструкции узлов тележек, обеспечивающие повышение жесткости крепления корпусов к ходовым частям тележек, а также позволяющие линейное расширение корпусов при нагреве без потери устойчивости и прогиба в направлении вакуум-камер.

Список источников

1. Прибыкин Д.Л. Механическое оборудование заводов цветной металлургии. В 3-х ч. Ч. 1. Механическое оборудование для подготовки шихтовых материалов. М.: Металлургия, 1988. 391с.
2. Anishchenko A., Kukhar V., Oginskiy I. Design and Durability of Roller Assemblies in Sintering // Machines

- Proceedings of the 7th International Conference on Industrial Engineering (ICIE 2021). Pp. 342-353.
3. Анищенко А.С., Тахтамыш И.В., Тарасюк Л.И. Усовершенствование конструкций роликовых узлов спекательных и обжиговых тележек // Вестник ПГТУ. Серия «Технические науки». 2020. Вып. 40. С. 104-113.
 4. Metso outotec. Digital solution for iron ore pelletizing plants // Metso corporation. 2023. 8 p. www.metso.com.
 5. Dubsy Jan. Optical analysis of pellet car damages. Prague, IPSS. 2019. 43 p.
 6. Puramini Ahmad. An online System for Detecting Bending in a Pallet Car // Int. Journ. of Computer Applications. 2016. October. Vol. 152. No. 10. Pp. 1-5.
 7. Нечаев А.А., Поляков Р.Н. Обзор методов обработки изображений для детектирования объектов с помощью искусственных нейронных сетей. Ч. 1 // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2025. №5. С.39-59.
 8. Арист Л.М., Тылкин М.А. Модернизация и долговечность агломерационного и доменного оборудования. М.: Metallurgia, 1973. 448 с.
 9. Metallurgical investigation into the failure of an iron ore sintering car pallet / P.P. Sarkar, S.K. Dhua, S. Dhara, S.K. De // Engineering Failure Analysis. 2016. May. Vol. 63. Pp. 31-42.
 10. Рудь Ю.С., Кучер В.Г., Белоножко В.Ю. Анализ конструкций и повышение технического уровня колосниковых решеток агломерационных и обжиговых машин // Вестник Криворожского национального университета. 2019. Вып. 48. С. 94-99.

Сведения об авторах

Анищенко Александр Сергеевич – кандидат технических наук, заведующий кафедрой прикладной математики и общеобразовательных дисциплин, Приазовский государственный технический университет - филиал НИУ «Московский государственный строительный университет», Мариуполь, Донецкая Народная Республика, Россия. E-mail: anichsh@yandex.ru

Присяжный Андрей Григорьевич – кандидат технических наук, заместитель директора, Приазовский государственный технический университет - филиал НИУ «Московский государственный строительный университет», Мариуполь, Донецкая Народная Республика, Россия. E-mail: andrejprisyazhnyi@yandex.ru

Лаврова Елена Владимировна – доктор технических наук, директор Учебно-научного института информационных технологий, Приазовский государственный технический университет - филиал НИУ «Московский государственный строительный университет», Мариуполь, Донецкая Народная Республика, Россия. E-mail: UNIT-PSTU@yandex.ru

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

OPTIMIZATION OF DESIGN OF SPLIT HOUSINGS OF ROLLING-WELDED CARTS OF MACHINES FOR PRODUCING AGGLOMERATE AND PELLETS

Anishchenko Alexander S. – Candidate of Technical Sciences, senior scientific, Associate Professor, Head of the Department, Pryazovsky State Technical University – branch of the Moscow State University of Civil Engineering Research University, Mariupol, Donetsk People's Republic, Russia. E-mail: anichsh@yandex.ru.

Prisyazhnyi Andrey G. – Candidate of Technical Sciences, Deputy Director of the branch, Pryazovsky State Technical University – branch of the Moscow State University of Civil Engineering Research University, Mariupol, Donetsk People's Republic, Russia. E-mail: andrejprisyazhnyj@yandex.ru.

Lavrova Elena V. – Doctor of Technical Sciences, Professor, Director of the Educational and Scientific Institute of Information Technology, Pryazovsky State Technical University – branch of the Moscow State University of Civil Engineering Research University, Mariupol, Donetsk People's Republic, Russia. E-mail: lavrova.e.e.@yandex.ru,

Abstract. Detachable designs of sintering and firing carts with a rolled-welded body have been proposed, ensuring a reduction in the deflection of the bodies during operation due to repeated inversions of the bodies with the deflection upward when they reach critical deformations. The designs of car assemblies are described that provide increased rigidity of fastening the housings to the running parts of the cars, as well as allowing linear expansion of the housings when heated without loss of stability and deflection in the direction of the vacuum chambers..

Keywords: car, body, deflection, beam, shelf, spring, connector, expansion

References

1. Pribykin D.L. Mechanical equipment of non-ferrous metal-lurgy plants in 3 parts. Part 1. Mechanical equipment for the preparation of charge materials. M.: Metallurgy, 1988. 391 p.
2. Anishchenko A., Kukhar V., Oginskiy I. Design and Durability of Roller Assemblies in Sintering. Machines Proceedings of the 7th International Conference on Industrial Engineering (ICIE 2021). P.342-353.
3. Anishchenko A.S., Takhtamych I.V., Tarasiuk L.I. Improvement of the designs of roller units of sintering and firing carts // Vestnik Pryazovskogo Gosudarstvennogo tehnikeskogo universiteta, serya Tekhnicheskie nauki [Vestnik of Pryazovsky State Technical University, Technical Sciences series]. 2020, issue 40, pp. 104-113.
4. Metso outotec. Digital solution for iron ore pelletizing plants. Metso corporation. 2023. 8 p. www.metso.com.
5. Dubsky Jan. Optical analysis of pellet car damages. Prague, IPSS. 2019. 43 p.
6. Puramini Ahmad. An online System for Detecting Bending in a Pallet Car. Int. Journ. of Computer Applications. 2016. October, vol. 152, no. 10, pp. 1-5.
7. Nechaev A.A., Polyakov R.N. A Review of Image Processing Methods for Object Detection Using Artificial Neural Networks. Part 1 // Fundamental and Applied Problems of Engineering and Technology [Fundamentalnye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii]. 2025, no. 5, pp. 39-59.
8. Arist L.M., Tylkin M.A. Modernization and durability of sintering and blast furnace equipment. M.: Metallurgy, 1973. 448 p.
9. Metallurgical investigation into the failure of an iron ore sintering car pallet / P.P. Sarkar, S.K. Dhua, S. Dhara, S.K. De // Engineering Failure Analysis. 2016. May, vol. 63, pp. 31-42.
10. Rud Yu.S., Kucher V.G., Belonozhko V.Yu. Analysis of designs and improvement of the technical level of grate bars of sintering and roasting machines // Vestnik Kryvorozhskogo natsionalnogo universiteta [Vestnik of Kryvyi Rih National University]. 2019, issue 48, pp. 94-99.

Ссылка на статью:

Анищенко А.С., Присяжный А.Г., Лаврова Е.В. Оптимизация конструкций разъемных корпусов прокатно-сварных тележек машин для производства агломерата и окатышей // Теория и технология металлургического производства. 2026. №1(56). С. 51-56. [https://doi.org/10.18503/2311-5378-2026-1\(56\)-51-56](https://doi.org/10.18503/2311-5378-2026-1(56)-51-56)

Anishchenko A.S., Prisyazhnyi A.G., Lavrova E.V. Optimization of design of split housings of rolling-welded carts of machines for producing agglomerate and pellets. *Teoria i tehnologia metallurgiceskogo proizvodstva*. [The theory and process engineering of metallurgical production]. 2026, vol. 56, no. 1, pp. 51-56. [https://doi.org/10.18503/2311-5378-2026-1\(56\)-51-56](https://doi.org/10.18503/2311-5378-2026-1(56)-51-56)