



Оригинальная статья

УДК 669.162.1:629.4.02

DOI 10.17073/0368-0797-2022-11-824-830

<https://fermet.misis.ru/jour/article/view/2437>

МОДЕРНИЗАЦИЯ ВАГОНА-ХОППЕРА ДЛЯ ПЕРЕВОЗКИ АГЛОМЕРАТА И ДРУГИХ МАТЕРИАЛОВ

А. В. Нефедов¹, Т. Г. Шкурко¹, Н. А. Чиченев²,
Н. В. Холодова³

¹ Новотроицкий филиал Национального исследовательского технологического университета «МИСиС» (Россия, 426359, Оренбургская область, Новотроицк, ул. Фрунзе, 8)

² Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» (Россия, 119049, Москва, Ленинский пр., 4)

³ Выксунский филиал Национального исследовательского технологического университета «МИСиС» (Россия, 607036, Нижегородская область, Выкса, р. п. Шиморское, ул. Калинина, 206)

Аннотация. Приведены результаты анализа работоспособности транспортирующего оборудования агломерационных цехов металлургических предприятий уральского региона. Установлено, что в процессе длительной эксплуатации вагона-хоппера для перевозки горячего агломерата на его стенках оседает пыль, образуются наросты из слежавшейся пыли, а также возникает эффект сводообразования. Вследствие процесса уплотнения и увеличения слоя пыли происходит уменьшение полезного объема вагона-хоппера, что, в свою очередь, приводит к необходимости проведения опасных работ по очистке пыли непосредственно внутри вагона-хоппера. Для его очистки для перевозки горячего агломерата применяется ручной труд. Такие работы имеют высокую опасность для человеческого здоровья вследствие высокой запыленности и высокой травмоопасности производимых работ. С целью устранения проблемы сводообразования и устранения налипания пыли на стенки вагона предложена установка двух вибрационных устройств типа «ложная стенка» совместно с виброгорбылем (вибрирующей балкой). Вибрирующим элементом устройства является плита, которую монтируют на внутренней стенке на гибких подвесах (круглозвенная цепь). Между плитой и стенкой бункера установлены резиновые амортизаторы, в качестве которых использована резинотканевая транспортная лента. К плите через опорную стойку монтируют вибратор, а передача вибраций агломерату осуществляется с помощью виброгорбыля, который приварен к плите (ложной стенке). Внедрение проектируемого устройства обеспечит сокращение внеплановых простоев состава вагонов-хопперов и отказ от опасных для человеческого здоровья работ, связанных с очисткой бункеров. Экономический расчет подтверждает целесообразность проводимых мероприятий по реинжинирингу вагонов-хопперов в условиях агломерационного производства металлургических предприятий.

Ключевые слова: агломерационное производство, вагон-хоппер, сводообразование агломерата, площадочный вибратор, ложная стенка

Для цитирования: Нефедов А.В., Шкурко Т.Г., Чиченев Н.А., Холодова Н.В. Модернизация вагона-хоппера для перевозки агломерата и других материалов // Известия вузов. Черная металлургия. 2022. Т. 65. № 11. С. 824–830. <https://doi.org/10.17073/0368-0797-2022-11-824-830>

Original article

MODERNIZATION OF HOPPER CAR FOR TRANSPORTATION OF AGGLOMERATE AND OTHER MATERIALS

A. V. Nefedov¹, T. G. Shkurko¹, N. A. Chichenev²,
N. V. Kholodova³

¹ Novotroitsk Branch of the National University of Science and Technology “MISIS” (8 Frunze Str., Novotroitsk, Orenburg Region 426359, Russian Federation)

² National University of Science and Technology “MISIS” (4 Leninskii Ave., Moscow 119049, Russian Federation)

³ Vyksa Branch of the National University of Science and Technology “MISIS” (206 Kalinina Str., Shimorskoe, Vyksa District, Nizhny Novgorod Region 607036, Russian Federation)

Abstract. The paper considers results of the analysis of operability of the transporting equipment at agglomeration shops of the Ural metallurgical enterprises. It was established that during long-term operation of the hopper car for transportation of hot agglomerate, dust settles on its walls, growths of accumulated dust are formed, and the effect of vaulting occurs. Due to compaction and increase in dust layer, useful volume of the hopper

car decreases which in turn leads to the need to carry out dangerous work to clean the dust directly inside the hopper car. Manual labor is used for this purpose. Such works are very dangerous for human health due to high dust content and high injury risk. In order to eliminate the problem of vaulting and accumulation of dust on the car walls, it is proposed to use the installation of two vibrating devices of the “False wall” type together with a vibrating neck (vibrating beam). The vibrating element of the device is a plate that is mounted on the inner wall on flexible suspensions (round link chain). Rubber shock absorbers are installed between the plate and the hopper wall, which are used as rubber-fabric conveyor belt. A vibrator is mounted to the plate through the support post, and the transmission of vibrations to the agglomerate is carried out using a vibrating hump, which is welded to the plate (false wall). Introduction of the designed device ensures reduction of unplanned downtime of the hopper cars team and rejection of hazardous to human health work related to the bunkers cleaning. The economic calculation confirms feasibility of the ongoing measures for reengineering of hopper cars in the conditions of agglomerate production at metallurgical enterprises.

Keywords: agglomeration production, hopper car, agglomerate formation, platform vibrator, false wall

For citation: Nefedov A.V., Shkurko T.G., Chichenev N.A., Kholodova N.V. Modernization of hopper car for transportation of agglomerate and other materials. *Izvestiya. Ferrous Metallurgy*. 2022, vol. 65, no. 11, pp. 824–830. (In Russ.). <https://doi.org/10.17073/0368-0797-2022-11-824-830>

ВВЕДЕНИЕ

В последнее время надежность технических систем приобретает все более важное значение, и для металлургических машин и оборудования становится одной из основных научно-технических задач [1 – 5]. Недостаточная надежность технологических машин и входящих в них элементов и устройств приводит к значительному повышению расходов на их техническое обслуживание и существенному снижению производительности металлургического производства [6 – 9]. Повышение требований к качеству технологических машин и оборудования в целях снижения материальных, трудовых и финансовых затрат на техническое обслуживание и ремонт приводит к необходимости модернизации и реконструкции оборудования [10 – 13]. При этом большое внимание уделяется реинжинирингу оборудования горно-металлургического производства [14 – 17].

В работе рассмотрены вопросы модернизации вагонов-хопперов для перевозки горячего агломерата металлургических предприятий уральского региона.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Назначение агловоза (вагона-хоппера) заключается в том, чтобы транспортировать готовый агломерат из агломерационного цеха в доменный. При помощи вагонов-хопперов для перевозки горячего агломерата в доменный цех транспортируется около 60 % всего объема произведенного агломерата. Остальные 40 % транспортируются на конвейерах.

Вагон-хоппер – тип железнодорожного грузового вагона, который используется для транспортировки сыпучих материалов (агломерат, уголь, железная руда) и имеет возможность саморазгрузки. Его кузов представляет емкость в виде металлического бункера, в нижней части корпуса располагаются разгрузочные люки. При необходимости разгрузки эти люки открываются и сыпучий материал самотеком покидает полость вагона.

Агловозы, используемые в металлургическом производстве, являются вагонами-хопперами открытого типа. Загрузка готового агломерата в такие вагоны про-

изводится сверху. Обшивка кузова хоппера выполнена таким образом, что, в отличие от других типов хопперов, не имеет жесткой связи с несущим каркасом стенок. Это минимизирует явление коробления кузова от воздействия высоких температур и способствует легкому ремонту поврежденных элементов.

Вагоны-хопперы не являются самоходным железнодорожным транспортом, их приводит в движение локомотив. Агловозы используются исключительно на территории предприятий и не покидают его границ. Вагоны-хопперы для горячего агломерата перемещаются в доменный цех составами, состоящими из не более семи вагонов.

Выгрузка сырья происходит на обе стороны от железнодорожного полотна. Обеспечивается также полная механизация разгрузки без применения ручной очистки от остатков груза. По типу ссыпания вагоны-хопперы агломерационных цехов являются вагонами с боковой выгрузкой – внутренние воронки разведены в противоположные стороны и имеет угол наклона стенок от 41 до 60°. Такая конструкция обеспечивает выгрузку сырья силами тяготения. Разгрузка производится по обе стороны от железнодорожных путей. Наибольшее распространение получили вагоны-хопперы модели 20-9749 для перевозки горячего агломерата и окатышей, которые вмещают агломерат объемом около 31 м³ общей массой до 62 т^{1,2}.

В процессе длительной эксплуатации вагона-хоппера для перевозки горячего агломерата на его стенках оседает пыль, образуются наросты из слежавшейся пыли, а также возникает эффект сводообразования (рис. 1). Вследствие многочисленных перевозок агломерата слой пыли на наклонных торцевых стенках увеличивается и уплотняется. В особенности этот процесс усиливается в зимнее время из-за осадков.

За счет процесса уплотнения и увеличения слоя пыли происходит уменьшение полезного объема вагона-хоппера, что, в свою очередь, приводит к необходимости проведения опасных работ по очистке пыли

¹ Альбом-справочник «Грузовые вагоны железных дорог колеи 1520 мм». URL: <https://myrailway.ru/wagon/> (дата обращения 01.11.2022).

² Хоппер для горячих окатышей и агломерата модель 20-9749. URL: <https://wagon.by/model/20-9749/> (дата обращения 01.11.2022).

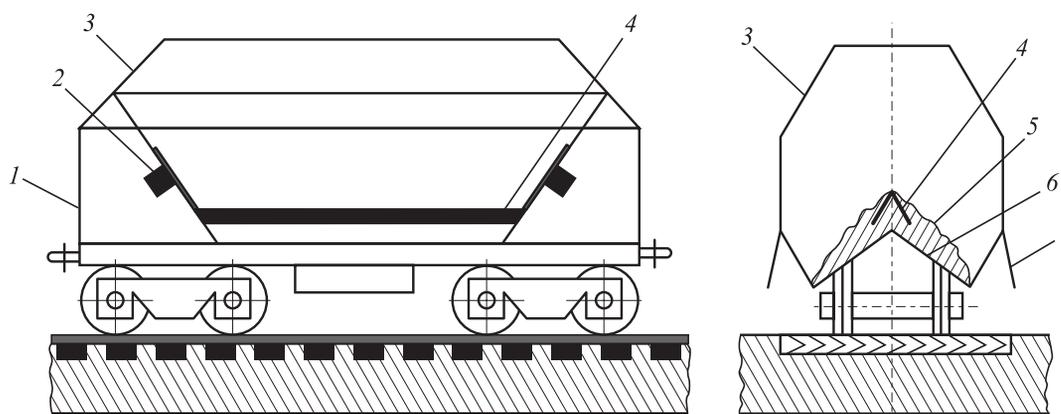


Рис. 1. Схема вагона-хoppers после модернизации:
1 – корпус; 2 – вибратор; 3 – бункер; 4 – вибрирующая балка (виброгорбыль); 5 – сводообразование агломерата;
6 – хребтовая балка; 7 – разгрузочный люк

Fig. 1. Scheme of hopper car after modernization:
1 – body; 2 – vibrator; 3 – bunker; 4 – vibrating beam (vibrohumpback); 5 – vaulting of agglomerate;
6 – ridge beam; 7 – unloading hatch

непосредственно внутри вагона-хoppers. Такие работы имеют высокую опасность для человеческого здоровья вследствие высокой запыленности и высокой травматичности производимых работ.

При перевозке агломерата в холодный период года происходит сильное налипание мокрых кусков на стенки вагона и хребтовую балку. Этот фактор приводит к их залипанию внутри вагона-хoppers, что может вызвать полное прекращения истечения из него материала.

Для очистки вагона-хoppers для перевозки горячего агломерата применяется ручной труд. Работы такого характера являются опасными для здоровья человека, потому что внутри емкости вагона-хoppers не предусмотрено никаких площадок, позволяющих безопасно проводить работы по очистке. При каждой разгрузке вагона-хoppers с загруженным в него агломератом необходимо прибегать к отбиванию намерзших и слежавшихся материалов при помощи кувалды. Такие работы выполняют один – два человека, временные затраты составляют от 5 до 20 мин. Также при производстве агломерата образуется пыль, которая содержит связанную и свободную двуокись кремния, окись железа, известь, кокс. 80 – 85 % пылевых частиц имеют размер менее 2 мкм. Производственная пыль является одним из неблагоприятных факторов, влияющих на здоровье человека. Агломерационная пыль может вызывать осложнения и заболевания легких (антракоз, пневмокониоз, силикоз, астма, рак легких).

С целью устранения сводообразования и налипания пыли на стенки вагона, проведен анализ различных методов решения данных проблем, в результате которого предложено применить вибрационный способ воздействия на агломерат. Метод показал свою эффективность в различных производственных процессах [18 – 22]. В данном случае принято решение, заключающееся

в установке площадочного вибратора на стенку вагона-хoppers.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Площадочный вибратор можно непосредственно закрепить на стенке вагона-хoppers с помощью сварки. Такая установка предотвращает зависание материала в бункере, но при этом, из-за значительной массы бункера, амплитуда колебания стенки будет недостаточна для эффективной работы устройства. Однако, если применять вибраторы большей мощности, это приведет к существенному удорожанию конструкции и нецелесообразности метода модернизации.

С целью обрушения слеживающейся пыли в вагонах-хoppers предложена установка двух вибрационных устройств типа «ложная стенка» совместно с виброгорбылем (вибрирующей балкой) (см. рис. 1). Вибрирующим элементом устройства «ложная стенка» является плита 2 (рис. 2), которую монтируют на внутренней стенке на гибких подвесах 4 (круглозвенная цепь). Между плитой и стенкой бункера установлены резиновые амортизаторы, в качестве которых использована резиноканевая транспортерная лента толщиной не менее 20 мм. Над плитой расположен защитный козырек для защиты от попадания материала под вибрационную плиту. К плите через опорную стойку 6 монтируют вибратор 7. Передача вибраций агломерату осуществляется с помощью виброгорбыля (вибрирующей балки) 1, который приварен к плите (ложной стенке) 2.

Достоинством этого варианта является то, что колебания передаются непосредственно материалу, а не стенкам вагона-хoppers (в случае крепления вибратора на стенку). В результате обеспечивается высокая эффективность обрушения слеживающейся пыли при сравнительно небольшой мощности вибратора.

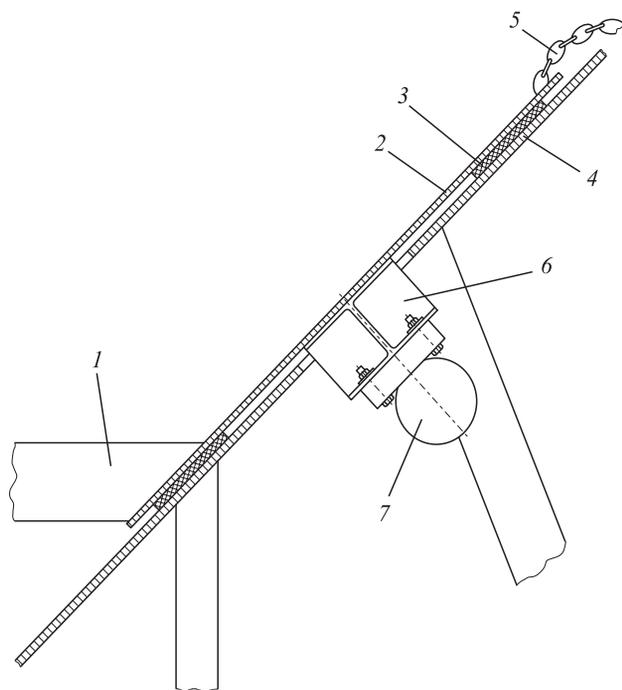


Рис. 2. Вибрационное устройство «ложная стенка»: 1 – вибрирующая балка (виброгорбыль); 2 – плита (ложная стенка); 3 – амортизатор (транспортная лента); 4 – стенка бункера; 5 – цепь; 6 – опора вибратора; 7 – вибратор

Fig. 2. Vibrating device “false wall”: 1 – vibrating beam (vibrohumpback); 2 – plate (false wall); 3 – shock absorber (conveyor belt); 4 – bunker wall; 5 – chain; 6 – vibrator support; 7 – vibrator

При включении вибраторов в электрическую сеть они приводят в движение ложные листы и спрессованная пыль на торцевых стенках обрушается. Совместно с этим виброгорбыль передает вибрацию агломерату у хребтовой балки, что способствует более интенсивному истечению материала из бункера. Использование такой установки позволяет отказаться от опасных для здоровья человека работ, а также позволяет использовать весь полезный объем вагона.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Вибратор – это дебалансный центробежный механизм, вынуждающая сила которого вызывается вращательным движением инерционного элемента. Вибратор представляет собой электродвигатель с установленными на концах вала ротора дебалансами, которые при вращении создают центробежную (вынуждающую) силу. Регулирование величины вынуждающей силы вибратора осуществляется путем изменения взаимного расположения дебалансов на обоих концах вала. Круговые колебания вибратора передаются конструкции, на которой он установлен.

Выбор подходящего вибратора происходит по величине требуемой вынуждающей силы. Для разгрузки бункеров рекомендуется использовать вибраторы

с частотой 3000 мин^{-1} (ИБ-01-50, ИБ-05-50, ИБ-11-50, ИБ-20-50, ИБ-40-50, ИБ-60-50; ИБ-98Б 42 В). При этом вынуждающая сила $F_{\text{вс}}$ должна составлять около $1/5$ массы материала в поперечном сечении бункера^{3, 4}. В случае использования двух вибрационных устройств – с двух сторон бункера (см. рис. 1), для одного вибратора вынуждающая сила будет равна

$$F_{\text{вс}} = \frac{m_{\text{агл}}}{5 \cdot 2} = \frac{62}{5 \cdot 2} = 6,2 \text{ кН},$$

где $m_{\text{агл}} = 62 \text{ т}$ – максимальная масса агломерата в вагоне-хоппере.

По расчетному значению вынуждающей силы $F_{\text{вс}} = 6,2 \text{ кН}$ выбираем из каталога площадной вибратор общего назначения высокого ресурса типа ИБ-98Б-442, имеющего следующие технические характеристики^{5, 6}:

Частота колебаний синхронная, мин^{-1}	3000
Максимальная вынуждающая сила при синхронной частоте колебаний, кН	11,3
Мощность номинальная потребляемая, кВт (не более)	0,9
Номинальное напряжение, В	380
Частота тока, Гц	50
Масса вибратора, кг	20
Средняя наработка до отказа, ч (не менее)	700

В вибраторе использован дебалансный регулируемый тип вибрационного механизма и асинхронный трехфазный электродвигатель с короткозамкнутым ротором.

Вынуждающая сила при синхронной частоте вращения $11,3 \text{ кН}$ соответствует режиму работы S3 40 % по ГОСТ Р 52776-2007, т. е. повторно-кратковременному режиму работы с продолжительностью включения 4 мин и отдыхом 6 мин. Однако в некоторых случаях вибратор может работать при продолжительном режиме работе S1, которому соответствует вынуждающая сила $7,6 \text{ кН}$.

Преимущество ложной стенки заключается в непосредственной передаче вибраций и колебаний оседающей пыли на стенках вагона-хоппера, что приводит к снижению необходимой вынуждающей мощности вибратора. Используя ложную стенку, можно в значительной мере сэкономить на расходе потребляемой электрической энергии и денежных затратах

³ Как подобрать вибратор, создающий достаточную вибрацию в зависимости от области его применения. Разгрузка бункеров. URL: <https://www.antikorpokraska.com.ua/articles/26> (дата обращения 01.11.2022).

⁴ Применение вибраторов. URL: https://promvibrator.ru/ploshadochny_vibrator.html (дата обращения 01.11.2022).

⁵ Вибратор ИБ-98Б 42 В. URL: <https://yarvibro.ru/catalog/item/iv-98b-1185/> (дата обращения 01.11.2022).

⁶ Вибратор ИБ-98Б 42 В. URL: <https://rusvibro.ru/vibratory/poverkhnostnye/obshchego-naznacheniya/iv-98b/> (дата обращения 01.11.2022).

на приобретение вибратора. Ложная стенка размером 1000×2000 мм и толщиной не менее 10 мм изготовлена из горячекатаного листа стали Ст3пс [23].

Для крепления вибратора к ложной стенке необходимо применять опорный элемент, в качестве которого можно использовать сварную конструкцию из металлопрокатных элементов или цельнолитую опору. Поскольку сварные швы склонны к разрушению и образованию трещин при динамических нагрузках, что характерно при вибрационных нагрузках, выбираем цельнолитую опору из стали 20Х13Л, которая рекомендована для использования в промышленности, в частности для изготовления деталей, подвергаемых ударным нагрузкам [24, 25].

Ложная стенка подвешивается сварными цепями, закрепленными на стенку вагона с внутренней стороны. Цепь использована круглозвенная типа 13×36, которая широко применяется в качестве тягового органа или подвесов [26].

Виброгорбыль представляет собой металлический профиль, расположенный параллельно контуру хребтовой балки. Вибрация этого элемента будет способствовать интенсификации истечения агломерата из вагона-хоппера. Кроме того, виброгорбыль препятствует сводообразованию пыли над хребтовой балкой. Изготовлен виброгорбыль из горячекатаного равнополочного прокатного уголка 200×200×12 мм [27]. Демпфирование уголка не требуется в связи с отсутствием контакта с хребтовой балкой. Виброгорбыль будет совершать колебательные движения за счет жесткой связи

с ложными листами, которая осуществляется с помощью электродуговой сварки.

Дополнительные капитальные затраты, необходимые для реинжиниринга вагона-хоппера, включают приобретение вибраторов, изготовление и монтаж ложных стенок, цельнолитых опор и виброгорбыля. Суммарные капитальные затраты на покупку оборудования, запасные части, логистику и стоимость монтажа нового оборудования для восьми вагонов-хопперов не превышают 350 тыс. рублей.

Выводы

Рассмотрена возможность реинжиниринга вагона-хоппера для перевозки агломерата и других сыпучих материалов с проектированием вибрационного устройства для обрушения налипших материалов на торцевых стенках и хребтовой балке. Определены технические решения для проектирования и внедрения в процесс производства агломерата вибрационных устройств, произведен выбор и проектирование соответствующих узлов и механизмов, дана оценка экономической эффективности и окупаемости предлагаемого инвестиционного проекта. Внедрение проектируемого устройства обеспечивает сокращение внеплановых простоев состава вагонов-хопперов и отказ от опасных для человеческого здоровья работ, связанных с очисткой бункеров. Экономический расчет подтверждает целесообразность проводимых мероприятий по реинжинирингу вагонов-хопперов в условиях современного металлургического производства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

REFERENCES

- Ефремов Д.Б., Степанов В.М., Чиченева О.Н. Модернизация механизма быстрого отжима валков прокатной клети ДУО стана 2800 АО «Уральская Сталь» // Сталь. 2020. № 8. С. 44–47.
- Нефедов А.В., Свичкар В.В., Чиченева О.Н. Реинжиниринг скипового подъемника для загрузки печи литейного отделения ЗАО «РИФАР» // Сталь. 2020. № 7. С. 50–53.
- Нефедов А.В., Китанов А.А., Чиченев Н.А. Реинжиниринг роликовой закалочной машины листопркатного цеха АО «Уральская Сталь» // Черные металлы. 2022. № 3. С. 22–26. <https://doi.org/10.17580/chm.2022.05.04>
- Нефедов А.В., Танчук А.В., Чиченев Н.А. Модернизация привода опрокидывателя рудных вагонеток Донского ГОК АО «ТНК Казхром» // Горный журнал. 2022. № 8. С. 52–56. <https://doi.org/10.17580/gzh.2022.08.07>
- Chichenev N.A., Chicheneva O.N., Karfidov A.O., Pashkov A.N. Selection of laser processing parameters for hot stamping tools based on mathematical planning of the experiment // CIS Iron and Steel Review. 2021. Vol. 22. P. 37–40. <https://doi.org/10.17580/cisisr.2021.02.07>
- Майрхофер А., Фартьль Ф., Рорхофер А., Штоль К. Мониторинг состояния оборудования при производстве стали // Черные металлы. 2018. № 9. С. 28–33.
- Bardovskiy A.D., Gorbatyuk S.M., Keropyan A.M., Bibikov P.Ya. Assessing parameters of the accelerator disk of a centrifugal mill taking into account features of particle motion on the disk surface // Journal of Friction and Wear. 2018. Vol. 39. No. 4. P. 326–329. <https://doi.org/10.3103/S1068366618040037>
- Efremov D.B., Stepanov V.M., Chicheneva O.N. Modernization of rapid pressing of DUO rolling stand rolls in mill 2800 of JSC Ural Steel. *Stal'*. 2020, no. 8, pp. 44–47. (In Russ.).
- Nefedov A.V., Svichkar' V.V., Chicheneva O.N. Reengineering of skip lift for loading the furnace in foundry shop of JSC RIFAR. *Stal'*. 2020, no. 7, pp. 50–53. (In Russ.).
- Nefedov A.V., Kitanov A.A., Chichenev N.A. Reengineering of the roller hardening machine of the sheet-rolling shop of JSC Ural Steel. *Chernye metally*. 2022, no. 3, pp. 22–26. (In Russ.). <https://doi.org/10.17580/chm.2022.05.04>
- Nefedov A.V., Tanchuk A.V., Chichenev N.A. Modification of car tippler drive at Donskoy Ore Mining and Processing Plant. *Gornyi zhurnal*. 2022, no. 8, pp. 52–56. (In Russ.). <https://doi.org/10.17580/gzh.2022.08.07>
- Chichenev N.A., Chicheneva O.N., Karfidov A.O., Pashkov A.N. Selection of laser processing parameters for hot stamping tools based on mathematical planning of the experiment. *CIS Iron and Steel Review*. 2021, vol. 22, pp. 37–40. <https://doi.org/10.17580/cisisr.2021.02.07>
- Mairkhofer A., Fartl' F., Rorkhofer A., Shtol' K. Condition monitoring of equipment in steel production. *Chernye metally*. 2018, no. 9, pp. 28–33. (In Russ.).
- Bardovskiy A.D., Gorbatyuk S.M., Keropyan A.M., Bibikov P.Ya. Assessing parameters of the accelerator disk of a centrifugal mill taking into account features of particle motion on the disk surface. *Journal of Friction and Wear*. 2018, vol. 39, no. 4, pp. 326–329. <https://doi.org/10.3103/S1068366618040037>

8. Nefedov A.V., Svichkar V.V., Chicheneva O.N. Re-engineering of equipment to feed the melting furnace with aluminum charge // *Lecture Notes in Mechanical Engineering*. 2021. P. 1198–1204. http://doi.org/10.1007/978-3-030-54817-9_139
9. Чиченев Н.А. Реинжиниринг устройства для центрирования сляба в клетке обжимного стана // *Металлург*. 2018. № 7. С. 76–80. <https://10.1007/s11015-018-0711-1>
10. Горбатюк С.М., Зарапин А.Ю., Чиченев Н.А. Модернизация вибрационного грохота горнорудного общества «Катока» (Ангола) // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2018. № 1. С. 143–149.
11. Горбатюк С.М., Морозова И.Г., Наумова М.Г. Разработка рабочей модели процесса реиндустриализации производства термической обработки штамповых сталей // *Известия вузов. Черная металлургия*. 2017. Т. 60. № 5. С. 410–415. <https://doi.org/10.17073/0368-0797-2017-5-410-415>
12. Самусев С.В., Фадеев В.А., Сидорова Т.Ю. Разработка эффективных калибровок формовки листовой заготовки для производства прямошовных электросварных труб малого и среднего диаметров // *Металлург*. 2020. № 7. С. 55–57.
13. Секретов М.В., Губанов С.Г. Экспериментальное исследование нагрузок в приводе вертикальной пильной рамы штрипсового станка // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2019. № 1. С. 154–161.
14. Еронько С.П., Горбатюк С.М., Ошовская Е.В., Стародубцев Б.И. Разработка автоматической системы газодинамической отсечки конечного шлака для конвертера с вращающимся корпусом // *Известия вузов. Черная металлургия*. 2017. № 11. С. 863–869. <https://doi.org/10.17073/0368-0797-2017-11-863-869>
15. Gorbatyuk S.M., Pashkov A.N., Morozova I.G., Chicheneva O.N. Technologies for applying Ni-Au coatings to heat sinks of SiC-Al metal matrix composite material // *Materials Today: Proceedings*. 2021. Vol. 38. Part 4. P. 1889–1893. <http://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.08.581>
16. Busygin A.M., Stelmakhov A.A. Mathematical model for determining kinematic parameters of a bulldozer ripper mechanism // *Lecture Notes in Mechanical Engineering*. 2022. P. 131–141. https://doi.org/10.1007/978-3-031-14125-6_14
17. Rumyantsev M.I. Some approaches to improve the resource efficiency of production of flat rolled steel // *CIS Iron and Steel Review*. 2016. No. 2. P. 32–36. <https://doi.org/10.17580/cisisr.2016.02.07>
18. Bridgwater J. Mixing of powders and granular materials by mechanical means – A perspective // *Particuology*. 2012. Vol. 10. No. 4. P. 397–427. <https://doi.org/10.1016/j.partic.2012.06.002>
19. Weinekötter R., Gericke H. *Mixing of Solids*. Kluwer Academic Publishers, 2000. 156 p.
20. Dubey A. Powder flow and blending // *Predictive Modeling of Pharmaceutical Unit Operations*. 2017. P. 39–69.
21. Rogers A., Lerapetritou M.G. Discrete element reduced-order modeling of dynamic particulate systems // *American Institute of Chemical Engineers Journal*. 2014. Vol. 60. No. 9. P. 3184–3194. <https://doi.org/10.1002/aic.14505>
22. Bradley R.K. Education in plastics manufacturing: Aluminum mold making and injection molding // *International Journal of Mechanical Engineering Education*. 2022. Vol. 50. No. 3. P. 726–738. <http://doi.org/10.1177/03064190211051105>
23. ГОСТ 19903-74. Прокат листовой горячекатаный. Сортамент. Москва: Стандартинформ, 2005. 18 с.
24. ГОСТ 977-88. Отливки стальные. Общие технические условия. Москва: Стандартинформ, 2004. 36 с.
25. ГОСТ 5632–2014. Легированные нержавеющие деформируемые стали и сплавы коррозионностойкие, жаростойкие и жаропрочные. Марки. Москва: Стандартинформ, 2005. 54 с.
26. ГОСТ 2319-81. Цепи круглозвенные и тяговые нормальной прочности. Общие технические условия. Москва: Стандартинформ, 2004. 14 с.
27. ГОСТ 8509-93. Уголки стальные горячекатаные равнополочные. Сортамент. Москва: Стандартинформ, 2005. 12 с.
8. Nefedov A.V., Svichkar V.V., Chicheneva O.N. Re-engineering of equipment to feed the melting furnace with aluminum charge. *Lecture Notes in Mechanical Engineering*. 2021, pp. 1198–1204. http://doi.org/10.1007/978-3-030-54817-9_139
9. Chichenev N.A. Reengineering of the slab-centering unit of a roughing mill stand. *Metallurgist*. 2018, vol. 62, no. 7–8, pp. 701–706. <https://10.1007/s11015-018-0711-1>
10. Gorbatyuk S.M., Zharapin A.Yu., Chichenev N.A. Modernization of vibration rumble of “Katoka” Mining Society (Angola). *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2018, no. 1, pp. 143–149. (In Russ.).
11. Gorbatyuk S.M., Morozova I.G., Naumova M.G. Development of the working model of production reindustrialization of die steel heat treatment. *Izvestiya. Ferrous Metallurgy*. 2017, vol. 60, no. 5, pp. 410–415. (In Russ.). <https://doi.org/10.17073/0368-0797-2017-5-410-415>
12. Samusev S.V., Fadeev V.A., Sidorova T.Yu. Development of effective roll-pass designs for production of longitudinally welded pipes of small and medium diameters. *Metallurgist*. 2020, vol. 64, no. 7–8, pp. 658–664. <https://doi.org/10.1007/s11015-020-01042-4>
13. Sekretov M.V., Gubanov S.G. Experimental research of vertical feed drive loads in saw frame of strip sawing machine. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2019, vol. 2019, no. 1, pp. 154–161. (In Russ.).
14. Eron'ko S.P., Gorbatyuk S.M., Oshovskaya E.V., Starodubtsev B.I. Development of automatic system of gas-dynamic cut-off of slag for converter with rotating vessel shell. *Izvestiya. Ferrous Metallurgy*. 2017, vol. 60, no. 11, pp. 863–869. (In Russ.). <https://doi.org/10.17073/0368-0797-2017-11-863-869>
15. Gorbatyuk S.M., Pashkov A.N., Morozova I.G., Chicheneva O.N. Technologies for applying Ni-Au coatings to heat sinks of SiC-Al metal matrix composite material. *Materials Today: Proceedings*. 2021, vol. 38, part 4, pp. 1889–1893. <http://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.08.581>
16. Busygin A.M., Stelmakhov A.A. Mathematical model for determining kinematic parameters of a bulldozer ripper mechanism. *Lecture Notes in Mechanical Engineering*. 2022, pp. 131–141. https://doi.org/10.1007/978-3-031-14125-6_14
17. Rumyantsev M.I. Some approaches to improve the resource efficiency of production of flat rolled steel. *CIS Iron and Steel Review*. 2016, no. 2, pp. 32–36. <https://doi.org/10.17580/cisisr.2016.02.07>
18. Bridgwater J. Mixing of powders and granular materials by mechanical means – A perspective. *Particuology*. 2012, vol. 10, no. 4, pp. 397–427. <https://doi.org/10.1016/j.partic.2012.06.002>
19. Weinekötter R., Gericke H. *Mixing of Solids*. Kluwer Academic Publishers, 2000, 156 p.
20. Dubey A. Powder flow and blending. In: *Predictive Modeling of Pharmaceutical Unit Operations*. 2017, pp. 39–69.
21. Rogers A., Lerapetritou M.G. Discrete element reduced-order modeling of dynamic particulate systems. *American Institute of Chemical Engineers Journal*. 2014, vol. 60, no. 9, pp. 3184–3194. <https://doi.org/10.1002/aic.14505>
22. Bradley R.K. Education in plastics manufacturing: Aluminum mold making and injection molding. *International Journal of Mechanical Engineering Education*. 2022, vol. 50, no. 3, pp. 726–738. <http://doi.org/10.1177/03064190211051105>
23. GOST 19903-74. Hot-rolled flat products. Assortment. Moscow: Standartinform, 2005, 18 p. (In Russ.).
24. GOST 977-88. Steel castings. General specifications. Moscow: Standartinform, 2004, 36 p. (In Russ.).
25. GOST 5632–2014. Alloy stainless deformable steels and alloys – corrosion-resistant, heat-resistant and heat-resistant. Grades. Moscow: Standartinform, 2005, 54 p. (In Russ.).
26. GOST 2319-81. Round link and traction chains of normal strength. General specifications. Moscow: Standartinform, 2004, 14 p. (In Russ.).
27. GOST 8509-93. Steel hot-rolled equilateral corners. Assortment. Moscow: Standartinform, 2005, 12 p. (In Russ.).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Андрей Викторович Нефедов, к.пед.н., доцент, заместитель директора, Новотроицкий филиал НИТУ «МИСиС»
E-mail: cosnovotr@rambler.ru

Andrei V. Nefedov, Cand. Sci. (Pedagogical), Assist. Prof., Deputy Director, Novotroitsk Branch of the National University of Science and Technology “MISIS”
E-mail: cosnovotr@rambler.ru

Татьяна Глебовна Шкурко, студент, Новотроицкий филиал НИТУ «МИСиС»
E-mail: nfmisis@yandex.ru

Tat'yana G. Shkurko, Student, Novotroitsk Branch of the National University of Science and Technology “MISIS”
E-mail: nfmisis@yandex.ru

Николай Алексеевич Чиченев, д.т.н., профессор кафедры инжиниринга технологического оборудования, Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»
ORCID: 0000-0002-9019-4675
E-mail: chich38@mail.ru

Nikolai A. Chichenev, Dr. Sci. (Eng.), Prof. of the Chair “Engineering of Technological Equipment”, National University of Science and Technology “MISIS”
ORCID: 0000-0002-9019-4675
E-mail: chich38@mail.ru

Наталья Валерьевна Холодова, руководитель производственной практики учебного отдела, Выксунский филиал НИТУ «МИСиС»
E-mail: nv.kholodova@misis.ru

Natalia V. Kholodova, Head of Industrial Practice of the Educational Department, Vyksa Branch of the National University of Science and Technology “MISIS”
E-mail: nv.kholodova@misis.ru

Вклад авторов

CONTRIBUTION OF THE AUTHORS

А. В. Нефедов – идея работы, научное руководство.
Т. Г. Шкурко – анализ результатов исследований, формирование выводов, окончательное редактирование текста.
Н. А. Чиченев – поиск и анализ публикаций, входящих в наукометрические базы.
Н. В. Холодова – окончательное редактирование текста и формирование библиографического списка.

A. V. Nefedov – formation of the main idea of the work, scientific guidance.
T. G. Shkurko – analysis of the research results, formation of the conclusions, final editing of the text.
N. A. Chichenev – search and analysis of publications in scientometric databases.
N. V. Kholodova – final editing of the text, formation of references.

Поступила в редакцию 17.10.2022
 После доработки 20.10.2022
 Принята к публикации 22.10.2022

Received 17.10.2022
 Revised 20.10.2022
 Accepted 22.10.2022