Оригинальная статья

УДК 622.1 © В.С. Великанов✉[1,2], И.А. Гришин[3], М.Д. Лукашук[4], О.А. Лукашук[4], 2025

[1] ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», 620144, г. Екатеринбург, Россия
[2] ФГБОУ ВО «Уральский государственный аграрный университет», 620000, г. Екатеринбург, Россия
[3] ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова», 455000, г. Магнитогорск, Россия
[4] ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», 620002, г. Екатеринбург, Россия
✉ e-mail: v.s.velikanov@urfu.ru

Original Paper

UDC 622.1 © V.S. Velikanov✉[1,2], I.A. Grishin[3], M.D. Lukashuk[4], O.A. Lukashuk[4], 2025

[1] Urals State Mining University, Yekaterinburg, 620144, Russian Federation
[2] Ural State Agrarian University, Yekaterinburg, 620000, Russian Federation
[3] Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, 455000, Russian Federation
[4] Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Yekaterinburg, 620002, Russian Federation
✉ e-mail: v.s.velikanov@urfu.ru

Исследование процесса перекосного нагружения угольных перегружателей с целью повышения эффективности эксплуатации*

Studies of uneven loading of gantry coal reloaders in order to improve their operating efficiency

DOI: http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2025-11-108-112

ВЕЛИКАНОВ В.С.
Доктор техн. наук, профессор кафедры Автоматики и компьютерных технологий, ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», 620144, г. Екатеринбург, Россия, профессор кафедры Математики и информационных технологий, ФГБОУ ВО «Уральский государственный аграрный университет», 620000, г. Екатеринбург, Россия, e-mail: v.s.velikanov@urfu.ru

ГРИШИН И.А.
Канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой Геологии, маркшейдерского дела и обогащения полезных ископаемых, ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова», 455000, г. Магнитогорск, Россия, e-mail: igorgri@mail.ru

Рассмотрены особенности возникновения перекоса в козловых угольных перегружателях, применяемых на различных промышленных предприятиях, в том числе металлургических, и проанализированы перемещения опорных стоек козловых кранов при воздействии сил перекоса. Изучен процесса перекосного нагружения козловых угольных перегружателей с целью повышения эффективности эксплуатации. Специфичность работы козлового угольного перегружателя предполагает, что он выполняет не только работу по подъему-опусканию материала, но и работу по его перемещению вдоль рельсов по всей длине угольного склада, причем для угольных складов характерны достаточно значительные расстояния.

Ключевые слова: *перегружатель, перекосное нагружение, уголь, реборда, рельс, моделирование.*

Для цитирования: Исследование процесса перекосного нагружения угольных перегружателей с целью повышения эффективности эксплуатации / В.С. Великанов, И.А. Гришин, М.Д. Лукашук и др. // Уголь. 2025;(11):108-112 DOI: 10.18796/0041-5790-2025-11-108-112.

Abstract

The paper discusses specific features of crabbing effects in gantry coal reloaders used at various industrial operations, including the metallurgical ones, and it analyses the movements of the gantry crane support columns under the impact of uneven loading.

** Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (проект № FRZU-2023–0008).*

The process of uneven loading of the gantry coal reloaders is studied with the aim of improving their operating efficiency. The specific nature of the gantry coal reloader's operation implies that it not only lifts and lowers material, but also moves it by rails along the entire length of the coal storage area, which is typically quite extensive.

Keywords

Reloader, uneven loading, coal, bearing rib, rail, modelling.

Acknowledgements

This work was financially supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (Project No. FRZU-2023–0008).

For citation

Velikanov V.S., Grishin I.A., Lukashuk M.D., Lukashuk O.A. Studies of uneven loading of gantry coal reloaders in order to improve their operating efficiency. *Ugol'*. 2025;(11):108-112. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2025-11-108-112.

ЛУКАШУК М.Д.

Аспирант кафедры «Подъемно-транспортных машин и роботов» ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина», 620002, г. Екатеринбург, Россия

ЛУКАШУК О.А.

Канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой «Подъемно-транспортных машин и роботов»ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина», 620002, г. Екатеринбург, Россия, e-mail: o.a.lukashuk@urfu.ru

ВВЕДЕНИЕ

В Российской Федерации с 2020 г. действует Программа развития угольной отрасли на период до 2035 г. В результате успешной реализации данной программы ожидается, что объемы добычи угля при благоприятном варианте развития экономики достигнут 668 млн т в 2035 г. Планируется на момент окончания программы осуществлять добычу открытым способом на уровне 80-83% или 390-554 млн т, при среднегодовой мощности разреза 4 млн т [1]. Причем необходимо отметить, что объемы добываемого угля устойчиво росли в период 2014-2019 гг. В 2020 г. они снизились относительно показателя предыдущего года на 9,6% – до 361,8 млн т., валовая добыча (общее количество добытого угля, включая пустую породу) составила 402,1 млн т [2, 3]. По данным центрального диспетчерского управления ЦДУ «ТЭК», по состоянию на 01.01.2024 добычу угля в РФ осуществляли 179 угольных предприятий, в том числе 52 шахты и 127 разрезов [1], вместе с тем половина коксующегося угля (42,3 млн т в 2020 г.) добывается подземным способом, часто в сложных горно-геологических условиях *(рис. 1)* [4, 5].

Технология работ на некоторых промышленных предприятиях предполагает использование большегрузных грузоподъемных машин, перемещающихся по специальному железнодорожному пути, к таким машинам относятся козловые краны *(рис. 2)* [6]. Согласно анализу экспертной организации MRFR, объем рынка козловых кранов на рельсовом ходу оценивается в 29,20 млрд дол. США в 2024 г. Ожидается, что рынок козловых кранов вырастет с 30,63 млрд дол. США в 2025 г. до 47,20 млрд дол. США к 2034 г., при этом среднегодовой темп роста (CAGR)

Рис. 1. Объемы добычи углей, млн т

Fig. 1. Coal production volumes, Mt

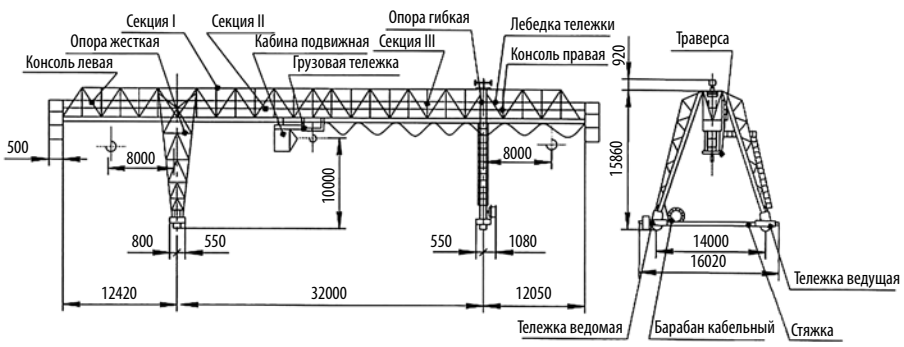

Рис. 2. Козловой кран [6]

Fig. 2. Gantry crane [6]

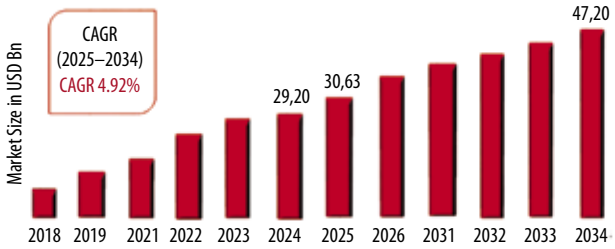

Рис. 3. Анализ рынка козловых кранов [7]

Fig. 3. Analysis of the gantry crane market [7]

составит около 4,92% в прогнозируемый период (2025-2034 годы) *(рис. 3)* [7].

Козловые краны используются для выполнения погрузочно-разгрузочных работ. Краны этого типа в полной мере отвечают требованиям, предъявляемым к современным грузоподъемным машинам, среди которых высокая грузоподъемность, большие значения высоты подъема груза и обслуживаемой зоны, высокая производительность, возможность точного позиционирования груза, высокие показатели надежности, особенно с точки зрения грузовой и собственной устойчивости. Тип и размеры козлового крана и подкранового пути соответствуют габаритам и массе обрабатываемых грузов и конечной продукции. Козловые краны и подкрановые пути, как правило, работают на открытом воздухе в любых погодных условиях при и агрессивных воздействиях окружающей среды. Тип и размеры элементов, вставляемых в путь,

Рис. 4. Козловой перегружатель [8]

Fig. 4. Gantry reloader [8]

зависят от грузоподъемности, рабочего времени и производительности козлового крана. Рельсы и крепления, используемые в пути крана, являются стандартизированными элементами, используемыми в качестве готового изделия с фиксированными геометрическими и прочностными характеристиками.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Одним из вариантов компоновочных и технических решений козловых кранов выступают козловые перегружатели, которые широко и активно применяются в угольной и металлургической промышленности, в частности на дворах доменных цехов и в шихтовых отделениях, и на шлаковых дворах мартеновских цехов, а также на предприятиях по переработке лома черных и цветных металлов. Козловые рудные (угольные) перегружатели оборудованы грейфером и используются для перегрузки сыпучих и навалочных грузов, в том числе агломерата железной руды, кокса, железорудных окатышей и угля. В отличие от козлового грейферного крана рудные перегружатели характеризуются повышенной грузоподъемностью, большей высотой подъема (в отдельных случаях достигающей 50 метров), увеличенной скоростью движения тележки и длиной пролета до 120 метров. В зависимости от специфики грузоподъемных операций козловой перегружатель может оснащаться канатным ковшовым грейфером, съемным электромеханическим или электрогидравлическим грейфером (*рис. 4*) [8].

Принято считать, что параметры угольного склада определяются размерами штабелей, расстоянием между штабелями, высотой штабелей и расстоянием между трубками для отбора проб. Существующие подходы к использованию средств механизации угольных складов предполагают: первое – использование бульдозеров и скреперов, второе – козловых перегружателей. С точки зрения экономической составляющей, строительство склада, оборудованного перегружателями, в два раза дороже в силу значительных финансовых издержек, определяемых большим объемом строительных работ по сооружению железобетонного фундамента под его подкрановые пути

В силу того, что принципы и порядок проектирования механизмов козловых кранов, способы определения нагрузок, проектные и проверочные расчеты сборочных единиц механизмов, а также вопросы компоновки и конструирования механизмов подъема и передвижения подробно изучены и исследованы, в работе решается проблема, характерная для данного вида грузоподъемных машин, а именно исследование процесса перекосного нагружения кранов-перегружателей. Исследования И.И. Абрамовича и А.В. Голенищева [9] являются отправной точкой в понимании процессов влияния перекосных нагрузок козловых кранов общепромышленного применения (то есть кранов, наиболее близких к рассматриваемому оборудованию в настоящей работе). Направленность этих исследований послужила основой для изучения процесса перекосного нагружения козловых угольных перегружателей с целью повышения эффективности эксплуатации. Причем специфичность работы козлового угольного перегружателя предполагает, что он выполняет не только работу по

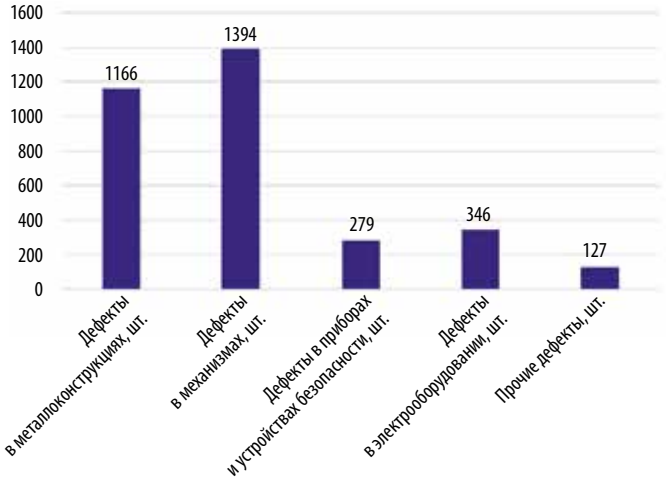

Рис. 5. Выборка данных по дефектам кранов и перегружателей за 2003-2024 гг.

Fig. 5. Sample data on crane and reloader defects for 2003-2024

подъему-опусканию материала, но и работу по его перемещению вдоль рельсов по всей длине угольного склада (причем для угольных складов характерны достаточно значительные расстояния, до 500 м). Перекос крана возникает в том случае, когда одна из его опор (сторон) «забегает», смещается по направлению движения крана относительно другой. Причинами перекоса являются: различия в сопротивлениях передвижения опор крана, неточности изготовления и монтажа ходовых колес, неодновременное срабатывание тормозов, неровности подкранового пути, проскальзывание приводных колес. Возможны два вида перекоса, а именно свободный – кран просто поворачивается в пределах зазоров между ребордами колес и рельсом (увеличенный зазор появляется в основном из-за повышенного износа их реборд; фиксировались случаи, когда крановые колеса служили 3-4 месяца при регламентированном сроке 5-12 лет, а срок службы подкрановых рельсов снижается до 40-50% регламентированного), и упругий – забег одной из опор вызван деформациями металлоконструкций, возникает из-за различий тяговых и тормозных усилий на разных опорах. Принято считать, что свободные перекосы намного меньше упругих (то есть относительный забег опор пропорционален упругому перекосу). Критичность и опасность перекосных нагрузок состоят в том, что, несмотря на относительно невысокие значения усилий перекоса по сравнению с остальными нагрузками, они способны приводить к возникновению существенных напряжений в металлоконструкциях крана и влияют на процесс накопления усталостных повреждений *(рис. 5),* поскольку действуют в горизонтальном направлении, в котором сечение балок пролетных строений имеет меньший момент сопротивления.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Технологические достижения в различных отраслях промышленного производства стимулируют инновации в разработке и производстве козловых кранов на рельсовом ходу. Производители кранового оборудования инвестируют в исследования и разработки для улучшения технологических возможностей, при этом внедряются такие передовые технологии, как дистанционное управление, системы контроля нагрузки и системы предотвращения столкновений, это способствует повышению безопасности, производительности и снижению эксплуатационных расходов.

Перегружатели, как правило, входят в состав оборудования, обеспечивающего непрерывный технологический

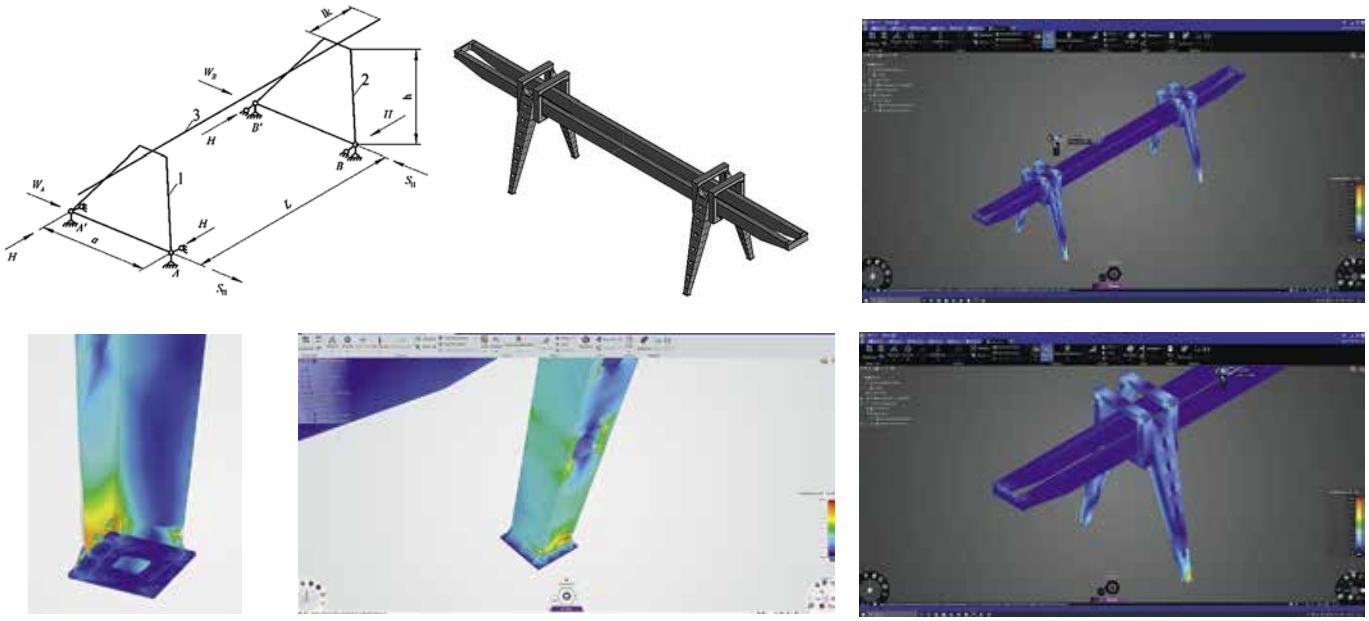

Рис. 6. Схема нагрузок и результаты моделирования НДС угольного перегружателя

Fig. 6. Load diagram and results of modelling the stress-and-strain state for the coal reloader

процесс погрузочно-разгрузочных операций, поэтому к ним предъявляются высокие требования с точки зрения прочности и надежности. Механизмы перегружателей рассчитывают с учетом режима работы механизмов. Расчет металлоконструкций производят с учетом режима работы перегружателей в целом [10]. Использование цифровых технологий на этапе проектирования и создания грузоподъемных машин позволяет более точно моделировать и рассчитывать конструкцию оборудования, подкрановых путей, а также контролировать влияние отдельных элементов на напряженное состояние конструкции в целом. Для оценки влияния перекосных нагрузок на напряжения в металлоконструкциях перегружателя в программе трехмерного проектирования КОМПАС-3D 21.0.1.1172 (64-разрядная версия) компанией ООО «АСКОН-Системы проектирования» создана по геометрическим размерам 3D-модель угольного перегружателя. Параметры нагружения моделировались для следующих условий: перекосная нагрузка, действующая на металлоконструкцию, была принята равной 5-20 кг на тонну веса перегружателя в зависимости от конструктивной схемы, пролета, высоты, жесткости опор, качества укладки подкрановых путей и состояния узлов механизмов передвижения (балансиров, ходовых колес и т.п. Воздействие перекосных нагрузок принято учитывать при смещении одной опоры относительно другой. Перекосная деформация в рабочем состоянии принимается равной 0,5-0,8% величины пролета. Металлоконструкции рассчитывают при максимальной перекосной деформации (при пролете 80 м она составляет 607 мм).

Моделирование угольного перегружателя позволило определить точное напряженно-деформированное состояние, максимально приближенное к реальному, и в дальнейшем реализовать на этапе проектирования рекомендации по наиболее рациональному методу усиления металлоконструкций перегружателя.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, результаты настоящего исследования могут быть использованы для обоснования и разработки рекомендаций по совершенствованию узлов металлоконструкций угольных перегружателей, технологии их восстановления и ремонта, а также систематизации правил и требований к эксплуатации в тяжелых условиях работы.

Список литературы • References

1. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 13 июня 2020 г. № 1582-р «Об утверждении программы развития угольной промышленности России на период до 2035 года».
2. Государственный доклад «О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2020 году», подготовлен ФГБУ «ВИМС». Составление и общая редакция: А.П. Данилов, Л.А. Дорожкина, О.Н. Ефанова и др., при участии А.А. Фатеевой. М., 2021. 572 с.
3. Великанов В.С., Овчинникова В.А., Гришин И.А. Роботизированные самоходные гусеничные машины в добыче полезных ископаемых открыто-подземным способом // Горная промышленность. 2023. № 2. С. 76-82. DOI: 10.30686/1609–9192-2023-2-76-82.
   Velikanov V.S., Ovchinnikova V.A., Grishin I.A. Robotic self-propelled tracked vehicles in combined mining systems. *Gornaya promyshlennost'.* 2023;(2):76-82. (In Russ.). DOI: 10.30686/1609-9192-2023-2-76-82.
4. Электронный ресурс: https://minenergo.gov.ru/ industries/coal/about.
5. Крицкий Д.Ю., Федоров А.В., Андреева Л.И. Комплексная оценка факторов, оказывающих существенное влияние на техническое состояние драглайнов // Горное оборудование и электромеханика. 2025. № 3(179). С. 41-47. DOI: 10.26730/1816–4528-2025-3-41-47.
   Kritsky D.Y., Fedorov A.V., Andreeva L.I. Comprehensive assessment of factors that have a significant impact on the technical condition of draglines. *Gornoe oborudovanie i elektromekhanika.* 2025;(3):41-47. (In Russ.). DOI: 10.26730/1816-4528-2025-3-41-47.
6. https://www.marketresearchfuture.com/reports/rail-mounted-gantry-crane-market-23544.
7. https://promputsnab.ru/company/articles/kranovye_puti/903/.
8. https://tehnoros.ru/products/gruzopodemnoe-oborudovanie/gantry-crane/rud/.
9. Голенищев А.В. Исследование процесса перекосного нагружения работающих в лесной промышленности козловых кранов с целью повышения их надежности: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.05.05 / Голенищев Александр Владимирович. Екатеринбург, 1991. 24 с.
10. Луцко Т.В., Гуляев А.С., Прудников С.С. Влияние перекосных нагрузок на перемещение опор козловых кранов / Инновационные перспективы Донбасса: Материалы 6-й Международной научно-практической конференции, Донецк, 26-28 мая 2020 года. Том 3. Донецк: Донецкий национальный технический университет, 2020. С. 130-134.

Authors Information

Velikanov V.S. – Doctor of Engineering Sciences, Professor, Department of Automation and Computer Technologies (ACT), Urals State Mining University, Yekaterinburg, 620144, Russian Federation, Professor, Department of Mathematics and Information Technologies, Ural State Agrarian University, Yekaterinburg, 620000, Russian Federation, e-mail: v.s.velikanov@urfu.ru

Grishin I.A. – PhD (Engineering), Associate Professor, Head of the Department of Geology, Mine Surveying and Mineral Processing, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, 455000, Russian Federation, e-mail: igorgri@mail.ru

Lukashuk M.D. – Post-graduate Student, Department of Hoisting and Hauling Machines and Robots, Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Yekaterinburg, 620002, Russian Federation

Lukashuk O.A. – PhD (Engineering), Associate Professor, Head of the Department of Hoisting and Hauling Machines and Robots, Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Yekaterinburg, 620002, Russian Federation, e-mail: o.a.lukashuk@urfu.ru

Информация о статье

Поступила в редакцию: 6.07.2025
Поступила после рецензирования: 18.10.2025
Принята к публикации: 30.10.2025

Paper info

Received July 6, 2025
Reviewed October 18, 2025
Accepted October 30, 2025