

УДК 621.867

Андросенко М.В., Куликов С.С., Рябенко А.В., Савельева И.А., Тулупов О.Н., Кенарь Е.В., Козлов Р.А.

АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ И ПРОЧНОСТНОЙ РАСЧЁТ РОЛИКОВ КОНВЕЙЕРА АМСОМ ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ШЛАКА

Аннотация. В статье рассмотрена технологическая схема переработки металлургических шлаков с использованием автоматизированных систем сортировки и магнитной сепарации. Значительное внимание уделяется конструированию и расчёту ленточного конвейера, выполняющего функцию основного транспортного средства комплекса. Проведён детальный анализ рабочих элементов конвейера, в частности роликов рольганга: определялись напряжения, деформации и коэффициенты запаса прочности при различных эксплуатационных условиях, включая высокие и переменные нагрузки. Моделирование показало высокую надёжность конструкции — коэффициенты запаса прочности роликов достигали 14–15, а значения возникающих напряжений оставались значительно ниже предельных допусков. Минимальные абсолютные смещения конструктивных элементов дополнительно свидетельствуют о долговечности и безопасности оборудования в реальных производственных условиях. Расчёты были выполнены с использованием современных методов анализа и программного обеспечения, что повысило точность результатов. Представленный подход к расчёту подтверждает возможность долговечной и бесперебойной эксплуатации оборудования перерабатывающего комплекса даже в сложных производственных условиях.

Ключевые слова: металлургические шлаки, переработка, автоматизация, ленточный конвейер, магнитная сепарация, скрап, фракционирование, рольганг, промышленная безопасность, утилизация отходов, возврат металлов, ресурсосбережение, прочностной расчёт, инженерия, прочность, напряжение

В современных условиях металлургического производства проблема рационального использования металлургических шлаков становится стратегически важной задачей, так как это позволяет не только снизить негативное воздействие промышленных отходов на окружающую среду, но и способствует возврату ценных ферромагнитных и немагнитных компонентов обратно в производство.

Переработка шлаков проходит в несколько этапов с минимальным участием персонала — за счёт интеграции автоматизированных систем и дистанционного управления. Начинается процесс с поступления шлака, который самосвалами доставляют в высокопрочный бункер с износостойкой футеровкой. Затем шлак поступает на барабанный грохот, где делится по крупности: материалы крупностью свыше 350 мм отделяются для дополнительного дробления гидромолотом экскаватора, а меньшие фракции — для дальнейшей сортировки.

Дальнейшая сортировка реализуется с помощью двухъярусного грохота, разделяющего полученный материал на фракции 0–10, 10–50 и 50–350 мм. Каждая из них подвергается особой сепарации с применением барабанных и надленточных магнитных сепараторов, максимально извлекающих ферро- и слабомагнитные металлические включения. Особое внимание уделяется ручной сортировке немагнитных включений во фракции 50–350 мм: они поступают на специальную станцию ручного отбора для извлечения цветных металлов, огнеупорного лома и других ценных компонентов. Все выделенные металлические фракции аккумулируются в бункерах и направляются обратно в металлургическое производство (в виде

скрапа) или в агломерацию и доменный цех (если имеют высокий процент железа).

Не содержащий металла шлак сортируется на товарный щебень и песок, которые могут использоваться сторонними предприятиями, например, в строительстве.

Одним из ключевых элементов, обеспечивающих бесперебойную работу транспортных систем комплекса, является ленточный конвейер (рис. 1).

Ленточный конвейер служит для транспортировки различных материалов, таких как щебень, шлак и др. Основу конструкции составляет бесконечная гибкая лента, получающая движение от приводного барабана с резиновой футеровкой (толщина 10 мм), что обеспечивает надёжное сцепление и предотвращает проскальзывание. Привод осуществляется от редуктора через ременную передачу, обеспечивая плавную тягу и стабильную работу при любых нагрузках, включая тяжелые и абразивные материалы.

Для повышения надёжности конструкции предусмотрены перегрузочные желоба и ролики с резиновыми вставками, а также датчики вращения, датчики схода ленты, аварийные выключатели и устройства очистки ленты. Все это минимизирует риски поломок и обеспечивает высокий уровень промышленной безопасности. Техническая гибкость позволяет использовать конвейер как в горизонтальном, так и в наклонном положении; производительность устройства может достигать 200 тонн в час.

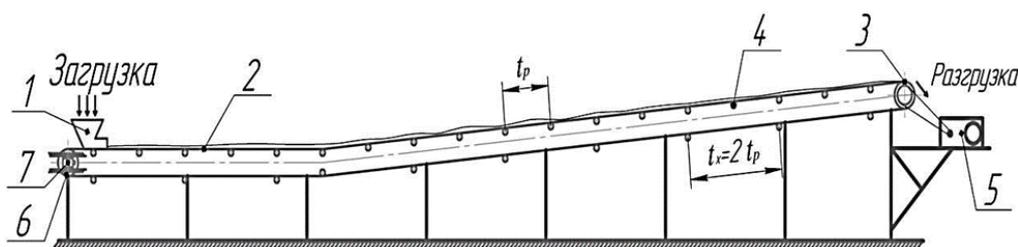


Рис. 1. Схема ленточного конвейера:

1 – загрузочное устройство; 2 – конвейерная лента; 3 – приводной барабан; 4 – опорный ролик;
5 – привод; 6 – натяжной барабан; 7 – натяжное устройство

Ключевые преимущества технологической схемы:

- высокая степень автоматизации и минимизация ручного труда;
- гибкое разделение и глубокая очистка продукта;
- максимальное извлечение ценных компонентов и минимизация отходов;
- соответствие оборудования современным требованиям по надёжности и промышленной безопасности;
- возможность оптимизации транспортировки сырья внутри производственного комплекса за счет гибких решений по эксплуатации ленточных конвейеров.

Надежность его работы во многом определяется прочностными характеристиками отдельных конструктивных элементов, в частности роликов конвейера (рис. 2). В связи с этим следующим этапом является проведение прочностного расчёта роликов ленточного конвейера, позволяющего оценить их соответствие эксплуатационным требованиям и гарантировать долговечность и безопасность функционирования системы.

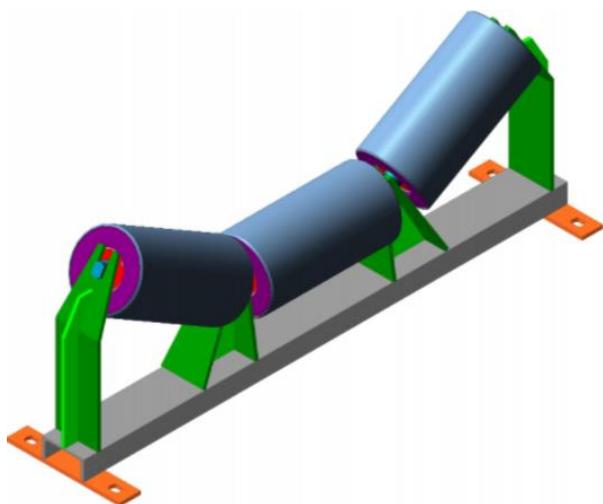


Рис. 2. Схема секции конвейера с опорными роликами

Смоделировали конструкцию секции конвейера с опорными роликами в программе КОМПАС 3D. Расчет роликов роляганга на прочность выполнен в программе Autodesk Inventor.

Моделирование и расчет роликов на прочность

Основные параметры для расчета дисков вала и ролика приведены в табл. 1, 2.

Таблица 1

Основные параметры для расчета дисков, вала

		Сталь 20 ГОСТ 1050-2013
Общие	Массовая плотность	7,799 г/см ³
	Предел текучести	244,997 МПа
	Окончательный предел прочности растяжения	900 МПа
Напряжение	Модуль Юнга	2,12 ГПа
	Коэффициент Пуассона	0,25 бр
	Модуль упругости при сдвиге	0,848 ГПа

Таблица 2

Основные параметры для расчета ролика

		Сталь 45X ГОСТ 4543-2016
Общие	Массовая плотность	7,82 г/см ³
	Предел текучести	590 МПа
	Окончательный предел прочности растяжения	1030 МПа
Напряжение	Модуль Юнга	206 ГПа
	Коэффициент Пуассона	0,3 бр
	Модуль упругости при сдвиге	79,2308 ГПа

На рис. 3 показано распределение нагрузки на центральный ролик конвейера.

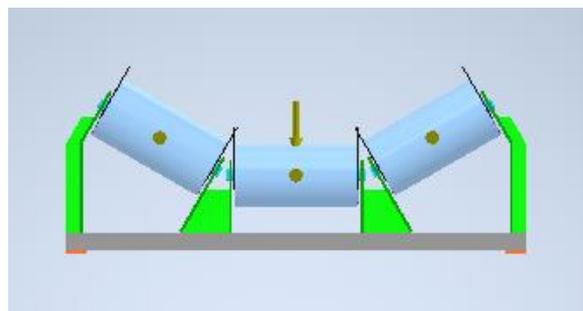


Рис. 3. Распределение нагрузки на ролике роляганга

На рис. 4 показан расчет коэффициента запаса прочности. По результатам компьютерного моделирования коэффициент запаса прочности равен 15, а напряжение по Мизесу составляет 2,99 МПа, а следовательно, имеет значительный запас прочности, для заданных условий эксплуатации конвейера. Результат расчета роликов конвейера показан в табл. 3.

Таблица 3

Результат расчета роликов конвейера на прочность

Наименование	Значение	Размерность
Масса ролика	73,8639	кг
Напряжение по Мизесу	2,99	МПа
Коэффициент запаса прочности	15	

Моделирование и расчет роликов рольгангов на кручение

Расчет роликов рольганга на прочность выполнен в программе Autodesk Inventor.

На рис. 5 показан расчет напряжения по Мизесу, которое составляет 16,76 МПа.

На рис. 6 показан расчет коэффициента запаса прочности ролика конвейера при кручении. По результатам компьютерного моделирования коэффициент запаса прочности равен 14,616. Результаты рас-

чета ролика на кручение сведены в табл. 4.

Таблица 4

Результат расчета ролика на кручение

Наименование	Значение	Размерность
Масса ролика	17,5534	кг
Напряжение по Мизесу	16,76	МПа
Коэффициент запаса прочности при кручении	14,616	

На основании результатов компьютерного моделирования значения коэффициента запаса прочности ролика ленточного конвейера при кручении, составившего 14,616, можно заключить, что рассматриваемая конструкция обладает высокой степенью надёжности и эксплуатационной долговечностью. Полученное значение указывает на значительный запас прочности относительно предполагаемых рабочих нагрузок, что обеспечивает безопасную и бесперебойную работу оборудования даже при воздействии переменных и экстремальных эксплуатационных условий. Таким образом, конструкция ролика соответствует современным стандартам промышленной безопасности, что гарантирует устойчивость функционирования всей конвейерной системы.

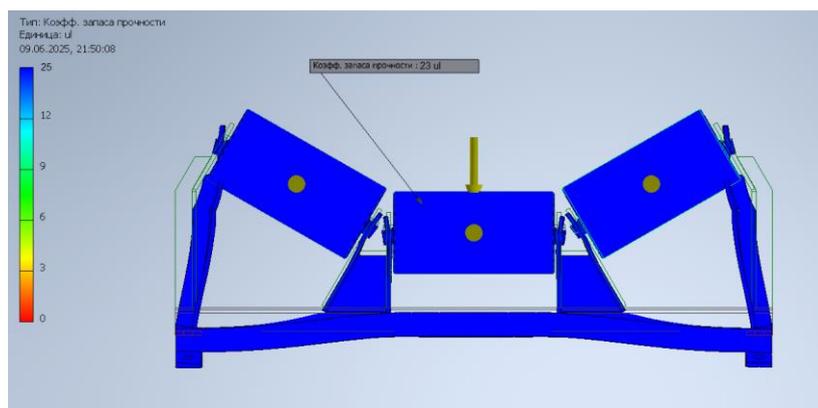


Рис. 4. Определение коэффициента запаса прочности

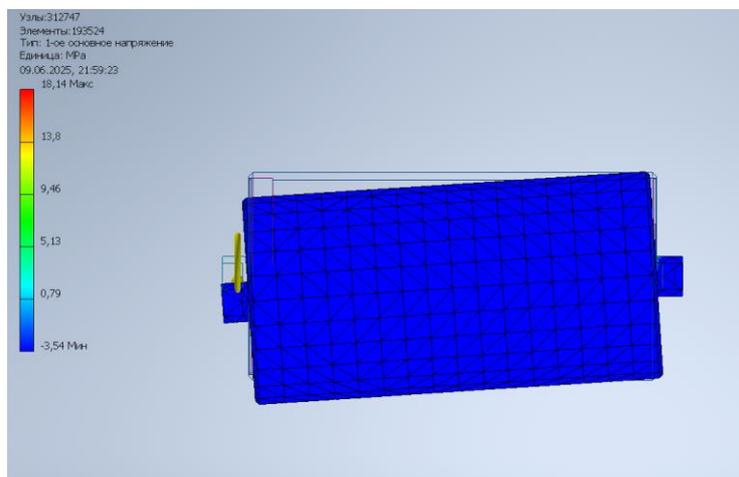


Рис. 5. Определение максимального напряжения по Мизесу при кручении

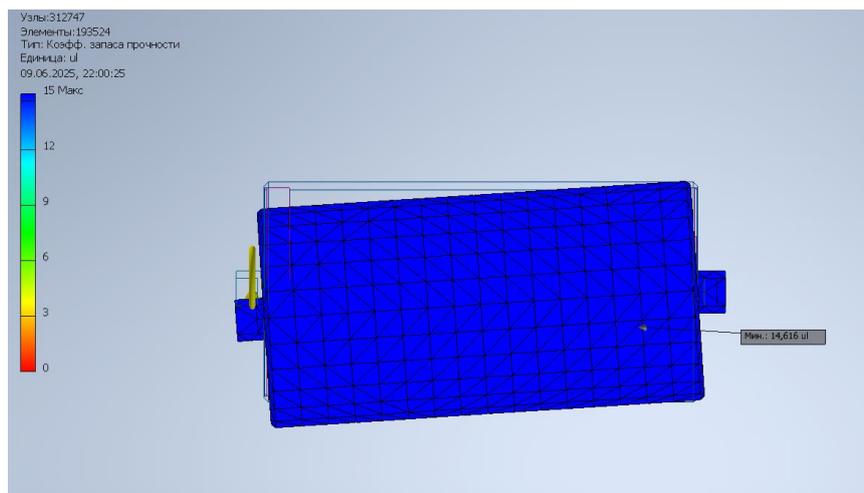


Рис. 6. Определение коэффициента запаса прочности при кручении

Как показали результаты конструктивно-прочностного анализа роликов и прочих элементов конструкции, технические параметры оборудования полностью удовлетворяют действующим эксплуатационным требованиям. Высокие значения коэффициентов запаса прочности, низкие уровни возникающих напряжений, а также минимальные абсолютные смещения элементов подтверждают надёжность, долговечность и безопасность оборудования в условиях интенсивных и переменных эксплуатационных нагрузок.

Список источников

1. Точилкин В.В., Извеков Ю.А., Ячиков И.М. Машины и агрегаты комплекса МНЛЗ для транспортирования металла: монография. Магнитогорск : Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2024. 390 с. EDN PZULNJ.
2. Точилкин В.В., Филатова О.А. Создание и проектирование технологических машин : Электронное издание. Магнитогорск : Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2021. ISBN 978-5-9967-1941-9. EDN VIUAGT.
3. Золотарёв А.Ю., Кондрашов С.А. Ленты, конвейеры и рольганги: расчет и эксплуатация. Москва: Машиностроение, 2017.
4. Бобров В.И., Юрков К.Г. Проектирование систем транспортировки и переработки сыпучих материалов. Москва: Инфра-Инженерия, 2019.
5. Оптимизация роликовой секции под кристаллизатором слябовой машины непрерывного литья заготовок для повышения срока службы подшипников и снижения числа ремонтов / М.В. Андросенко, Т.В. Усая, И.В. Решетова [и др.] // Теория и технология металлургического производства. 2025. № 1(52). С. 39-43. EDN JMZYCU.
6. Целесообразность использования методов математического моделирования при компьютерном проектировании в машиностроении / В.В. Смоленцов, М.В. Андросенко, С.С. Куликов, Д.А. Харлов // Технологии металлургии, машиностроения и материалообработки. 2024. № 23. С. 214-218. EDN FUJWZT.

Сведения об авторах

Андросенко Мария Владимировна – кандидат технических наук, доцент кафедры проектирования и эксплуатации металлургических машин и оборудования, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия. E-mail: m.androsenko@magtu.ru

Куликов Семен Сергеевич – студент, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия.

Рябенко Анна Вадимовна – студент, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия.

Савельева Ирина Александровна – кандидат педагогических наук, доцент кафедры проектирования и эксплуатации металлургических машин и оборудования, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия. E-mail: i.saveleva@magtu.ru

Кенарь Екатерина Владимировна – кандидат технических наук, доцент кафедры механики, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия.

Тулупов Олег Николаевич – доктор технических наук, профессор кафедры обработки металлов давлением им. М.И. Бояршинова, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия. E-mail: o.tulupov@mail.ru

Козлов Роман Алексеевич – кандидат педагогических наук, доцент, декан факультета физической культуры и спортивного мастерства, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия. E-mail:fkism@magtu.ru

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

ANALYSIS OF THE TECHNICAL CONDITION AND STRENGTH CALCULATION OF THE AMCOM CONVEYOR ROLLERS FOR METALLURGICAL SLAG PROCESSING

Androsenko Maria V. – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor at the Department of Design and Operation of Metallurgical Machines and Equipment, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: m.androsenko@magtu.ru.

Kulikov Semyon S. – Student, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia.

Ryabenko Anna V. – Student, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia.

Saveleva Irina A. – Ph.D. in Pedagogical Sciences, Associate Professor at the Department of Design and Operation of Metallurgical Machines and Equipment, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: i.saveleva@magtu.ru.

Kenar Ekaterina V. – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor at the Department of mechanics, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia.

Tulupov Oleg N. – Dr. Sci. (Tech.), Professor of the Department of Metal Forming named after M.I. Boyarshinov, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: o.tulupov@mail.ru.

Kozlov Roman A. – Ph.D. in Pedagogical Sciences, Associate Professor, Dean of the Faculty of Physical Education and Sports Excellence, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail:fkism@magtu.ru

Abstract. The article examines a technological scheme for the recycling of metallurgical slags using automated sorting systems and magnetic separation. Significant attention is given to the design and calculation of the belt conveyor, which serves as the main transport system of the complex. A detailed analysis of the working elements of the conveyor, particularly the roller elements, is carried out: stresses, deformations, and safety factors are determined under various operating conditions, including high and variable loads. Modeling demonstrated high reliability of the construction—the safety factors for the rollers reached 14–15, and the values of the induced stresses remained well below allowable limits. Minimal absolute displacements of structural elements additionally confirm the durability and safety of the equipment in real industrial conditions. Calculations were performed using modern analytical methods and specialized software, which increased the accuracy of the results. The presented calculation approach confirms the possibility of long-term and trouble-free operation of the processing complex equipment, even under challenging production conditions.

Keywords: metallurgical slag, processing, automation, belt conveyor, magnetic separation, scrap, fractionation, roller conveyor, industrial safety, waste utilization, metal recovery, resource saving, strength calculation, engineering, strength, stress

Ссылка на статью:

Анализ технического состояния и прочностной расчёт роликов конвейера AMCOM для переработки металлургического шлака / Андросенко М.В., Куликов С.С., Рябенко А.В., Савельева И.А., Тулупов О.Н., Кенарь Е.В., Козлов Р.А. // Теория и технология металлургического производства. 2025. №4(55). С. 36-40.

Androsenko M.V., Kulikov S.S., Ryabenko A.V., Saveleva I.A., Kenar E.V., Tulupov O.N., Kozlov R.A. Analysis of the technical condition and strength calculation of the AMCOM conveyor rollers for metallurgical slag processing. *Teoria i tehnologija metallurgiceskogo proizvodstva*. [The theory and process engineering of metallurgical production]. 2025, vol. 55, no. 4, pp. 36-40.