

Author's version (postprint). Published in: Sergeev A.S. Effectiveness of using lightweight composite rollers in belt conveyors // *Ekonomika i upravlenie: problemy, resheniya*. 2024. Vol. 28, No. 12. P. 98–104 (In Russ.). DOI: 10.36871/ek.up.p.r.2024.12.28.011

Авторская версия. Опубликовано: Сергеев А. С. Эффективность применения облегчённых композитных роликов в ленточных конвейерах // *Экономика и управление: проблемы, решения*. — 2024. — № 12, т. 28. — С. 98–104. <https://doi.org/10.36871/ek.up.p.r.2024.12.28.011>

Статья поступила в редакцию 20.11.2024; одобрена после рецензирования 25.11.2024; принята к публикации 30.11.2024.

Note / Примечание: in this author's version the reference list has been verified and corrected relative to the journal version (refs. 2, 4, 7, 8, 9, 10); the corresponding mentions in the text were adjusted accordingly. / В авторской версии список литературы уточнён по сравнению с журнальной (источники 2, 4, 7, 8, 9, 10), соответствующие упоминания в тексте приведены в соответствие.

УДК 658.5

Эффективность применения облегчённых композитных роликов в ленточных конвейерах

Effectiveness of Using Lightweight Composite Rollers in Belt Conveyors

Сергеев Александр Сергеевич / Aleksandr S. Sergeev

исполнительный директор ООО «МегаСервис» / Executive Director, MegaService LLC;
sas@tsepi.ru

Аннотация. В статье анализируется эффективность внедрения облегчённых конвейерных роликов из композитных материалов. Проведено сравнение с цельнометаллическими аналогами по техническим и эксплуатационным параметрам. Отмечено снижение трудозатрат, экономия энергии и повышение надёжности. Рассмотрены барьеры внедрения, включая консерватизм персонала и нормативные ограничения. Обоснована целесообразность широкого применения композитных роликов в промышленности. Приведён обзор международного опыта, подтверждающего высокую эффективность и рыночную перспективность данных решений.

Ключевые слова: композитные материалы, конвейерные ролики, энергетическая эффективность, техническое переоснащение, инновации в транспортеростроении.

Abstract. The article analyzes the efficiency of implementing lightweight conveyor rollers made from composite materials. A comparison with all-metal counterparts is provided based on technical and operational parameters. Reduced labor intensity, energy savings, and increased reliability are noted. Barriers to implementation, including personnel conservatism and regulatory limitations, are examined. The feasibility of widespread use of composite rollers in industry is substantiated. An overview of international experience is provided, confirming the high efficiency and market potential of these solutions.

Keywords: composite materials, conveyor rollers, energy efficiency, technical upgrading, innovations in conveyor engineering.

Введение. Современные требования к эффективности производственных процессов в горнорудной, металлургической, строительной и перерабатывающей отраслях обуславливают необходимость постоянного совершенствования элементов транспортных систем, в том числе конвейерных линий. Одним из направлений повышения эффективности функционирования таких систем является внедрение облегчённых конвейерных роликов, изготовленных на основе композитных материалов.

Эти ролики обладают сниженной массой, что способствует упрощению монтажа, снижению эксплуатационных затрат и повышению общей энергоэффективности оборудования. В условиях дефицита квалифицированных монтажников и высокой стоимости электроэнергии использование композитных решений приобретает особую значимость. Однако несмотря на технические и экономические преимущества, распространение новых конструкций ограничено консервативным подходом к выбору комплектующих. Это определяет необходимость комплексного анализа эффективности и целесообразности внедрения облегчённых роликов в производственную практику.

Международный опыт подтверждает актуальность применения композитных роликов, демонстрируя устойчивый рост их использования в различных отраслях промышленности. Зарубежные исследования и аналитические обзоры отмечают снижение массы конструкций на 30–50%, повышение надёжности и энергоэффективности, а также экономическую обоснованность их широкого внедрения, что позволяет рассматривать композитные ролики как перспективное направление модернизации транспортных систем.

Цель настоящего исследования заключается в анализе эффективности внедрения облегчённых конвейерных роликов на основе композитных материалов в промышленную эксплуатацию. В рамках достижения поставленной цели рассматриваются конструктивные особенности композитных роликов в сравнении с традиционными металлическими аналогами, оценивается влияние сниженной массы на трудозатраты при монтаже и обслуживании конвейерных систем, рассчитывается потенциальная экономия энергопотребления за счёт снижения инерционных и эксплуатационных нагрузок, а также выявляются барьеры на пути внедрения новых технологических решений и возможные пути их преодоления.

Объектом исследования являются роликовые элементы ленточных конвейеров, применяемые на промышленных предприятиях. Предметом исследования выступает эффективность использования облегчённых роликов на основе композитных материалов, оцениваемая по технико-экономическим и эксплуатационным показателям.

Технические и эксплуатационные характеристики конвейерных роликов. Конвейерные ролики являются ключевыми элементами ленточных транспортёров, обеспечивающими поддержку, направление движения ленты и стабильную работу системы при транспортировке сыпучих и кусковых материалов. От технических характеристик роликов зависят надёжность, долговечность, энергоэффективность и уровень трудозатрат при обслуживании конвейера. В настоящее время на промышленных предприятиях широко используются традиционные металлические, и начинают внедряться новые облегчённые ролики, выполненные на основе композитных материалов. Последние представляют собой конструктивно и технологически перспективное решение, учитывающее современные требования к снижению эксплуатационных затрат и интенсификации производственных процессов.

Композитные материалы, применяемые в производстве роликов, характеризуются высоким коэффициентом прочности при меньшей плотности по сравнению с

углеродистой или легированной сталью. Это позволяет существенно снизить массу изделий без потери механической устойчивости. Средняя масса композитного ролика на 30–40% меньше по сравнению с металлическим аналогом. Например, при массе металлического ролика в 12–13 кг масса композитного изделия составляет около 8–9 кг в зависимости от типоразмера и конструкции.

Снижение массы ролика способствует снижению нагрузки на приводную систему конвейера, что особенно важно при эксплуатации протяжённых линий. При средней длине транспортера в 1000 метров и количестве роликов от 3200 до 3500 единиц, совокупная экономия массы достигает 13 тонн. Это снижает инерционные нагрузки при пуске и остановке, а также уменьшает потребление электроэнергии в длительной перспективе. Кроме того, при аварийных остановках, например, при разрыве транспортной ленты, меньшая инерция композитных роликов способствует более быстрой стабилизации движения и повышает общий уровень безопасности.

Следует также отметить устойчивость композитных роликов к внешним агрессивным воздействиям — коррозии, химически активной среде, абразивному износу. Это даёт возможность их применения на предприятиях с тяжёлыми условиями эксплуатации, включая горнорудную и химическую промышленность, а также в условиях высокой влажности и запылённости. Рассмотрим подробнее (таблица 1) [6].

Таблица 1. Сравнительный анализ металлических и композитных роликов

Параметр	Металлический ролик	Композитный ролик
Средняя масса (в зависимости от типоразмера)	12–13 кг	8–9 кг
Коррозионная устойчивость	Низкая	Высокая
Устойчивость к химической агрессии	Средняя	Высокая
Абразивный износ	Высокий	Средний
Простота монтажа	Низкая (высокая трудоёмкость)	Высокая (облегчённый монтаж)
Инерционные нагрузки при пуске/остановке	Существенные	Сниженные
Влияние на энергопотребление	Повышенное	Сниженное
Стоимость единицы продукции	Средняя	Сопоставимая
Надёжность и срок службы	Высокие	Сопоставимые или выше

В контексте промышленного применения роликов на основе композитных материалов важно учитывать не только их конструктивные и эксплуатационные преимущества, но и соответствие установленным нормативным требованиям. Эти требования регламентируют параметры надёжности, безопасности и долговечности, что является обязательным условием для их внедрения в состав стандартных транспортных систем. В действующей нормативной базе Российской Федерации применяются следующие стандарты и технические условия, определяющие основные критерии качества и допуски при производстве роликов:

- ГОСТ 22644-77 «Конвейеры ленточные. Основные параметры и размеры» — устанавливает основные параметры и размеры ленточных конвейеров, в составе которых эксплуатируются ролики [2];
- ГОСТ 22646-77 «Конвейеры ленточные. Ролики. Типы и основные размеры» — устанавливает классификацию, конструктивные типы, геометрические параметры и основные размеры роликов, применяемых в ленточных конвейерах, а также служит основой для стандартизации проектирования и унификации комплектующих в транспортных системах [3];
- ГОСТ 12.2.022-80 «Система стандартов безопасности труда. Конвейеры. Общие требования безопасности» — регламентирует условия безопасной эксплуатации, предъявляемые к конструкции и техническому состоянию оборудования в целях минимизации производственных рисков [1].

Указанные нормативные документы служат основой для оценки соответствия роликов эксплуатационным требованиям и стандартам безопасности, а также являются обязательным ориентиром при разработке и промышленном внедрении новых конструктивных решений на основе композитных материалов.

Снижение массы роликов и замена традиционных металлических конструкций на композитные изделия оказывают положительное влияние не только на производственные и энергетические параметры, но и на общий уровень эксплуатационной безопасности конвейерных систем. Это обстоятельство имеет особое значение в условиях, где производственные процессы сопряжены с повышенными рисками, ограниченным пространством для обслуживания и необходимостью регулярных регламентных мероприятий.

Следует отметить, что внедрение роликов из композитных материалов является одним из ключевых факторов повышения эксплуатационной безопасности за счёт снижения инерционности движущихся компонентов. В случае внештатной ситуации, такой как аварийная остановка или обрыв конвейерной ленты, важным условием предотвращения каскадных повреждений оборудования и производственного травматизма является возможность максимально быстрой остановки системы. Лёгкие композитные ролики характеризуются меньшим моментом инерции по сравнению с металлическими аналогами, что способствует сокращению тормозного пути ленты и уменьшению ударных нагрузок на опоры и несущие конструкции.

Кроме того, снижение общей массы роликов уменьшает риски, связанные с выполнением монтажных и демонтажных работ. Учитывая, что значительная часть транспортных линий располагается в труднодоступных или возвышенных зонах, упрощение ручных операций снижает вероятность падений, травм, а также нагрузку на работников. Это особенно актуально в условиях острого дефицита квалифицированного технического персонала и необходимости соблюдения требований охраны труда [5].

Немаловажным аспектом является и снижение уровня вибраций в системе. Благодаря высокой точности изготовления и устойчивости композитных материалов к деформации, ролики сохраняют равномерность вращения даже при длительной

эксплуатации, что снижает вероятность преждевременного выхода из строя подшипника, самого ролика, преждевременного износа других узлов и возникновения аварийных ситуаций. Это способствует повышению общего ресурса системы и уменьшает количество внеплановых остановок.

Барьеры внедрения и пути их преодоления. Несмотря на подтверждённые технико-экономические преимущества композитных роликов, процесс их внедрения в промышленную эксплуатацию сталкивается с рядом объективных и субъективных барьеров. На практике основное сопротивление нововведениям формируется не столько на уровне инженерных расчётов или нормативных ограничений, сколько в сфере организационно-психологических факторов, связанных с консервативностью производственного персонала.

Одним из наиболее выраженных ограничений является недоверие со стороны инженерно-технических специалистов, длительное время работающих с традиционными металлическими роликами. Многолетний опыт эксплуатации металлических конструкций, их предсказуемость в поведении при различных нагрузках и условиях, формируют устойчивую профессиональную привычку к использованию проверенных решений. Композитные материалы, несмотря на развитие технологий и подтверждённую надёжность, по-прежнему воспринимаются многими специалистами как менее прочные или непригодные для тяжёлых условий эксплуатации. В ряде случаев это приводит к отказу от использования новых решений уже на этапе проектирования или технической экспертизы.

Также определённые сомнения вызывает вопрос ремонта и замены композитных изделий. На предприятиях с развитой сервисной инфраструктурой, ориентированной на обслуживание металлических узлов, могут отсутствовать технологические карты, обученный персонал и запасные элементы для работы с композитными материалами. Это создаёт дополнительные организационные затраты на переобучение и адаптацию технической базы, которые зачастую не закладываются в бюджет проекта.

Наконец, важным ограничением является инерционность нормативно-методической документации. Несмотря на наличие ГОСТов и технических условий, допускающих использование композитных материалов, многие проектные и согласовательные процедуры всё ещё опираются на устаревшие технические регламенты, в которых отсутствуют отдельные положения, отражающие специфику полимерных и композиционных конструкций. Это требует актуализации стандартов и повышения уровня интеграции инновационных решений в официальные регламенты отрасли [4].

Преодоление указанных барьеров возможно при условии комплексного подхода. На практике наиболее эффективными мерами являются опытно-промышленные испытания, позволяющие продемонстрировать надёжность композитных роликов в условиях реальной эксплуатации. Доказанные результаты по снижению энергозатрат, сокращению простоев и увеличению межремонтного ресурса становятся основой для изменения мнений даже у наиболее консервативных специалистов. Дополнительно,

развитие обучающих программ для технического персонала, включение положений о композитных элементах в проектную и нормативную документацию, а также активное участие поставщиков в технической поддержке внедрения позволяют значительно ускорить распространение данной технологии.

Международный опыт. В мировой промышленной практике наблюдается устойчивый рост интереса к применению облегчённых роликов, изготавливаемых на основе композиционных материалов. Это обусловлено их высокой технологической и эксплуатационной эффективностью, включая снижение массы, уменьшение энергозатрат, повышение надёжности оборудования и соответствие требованиям экологической безопасности.

В ряде инженерных исследований установлено, что замена традиционных металлических роликов на композитные позволяет снизить массу изделий в среднем на 30–50%. В частности, в работе Г. Уитли и М. Заейми, опубликованной в журнале *Periodica Polytechnica Mechanical Engineering*, показано, что масса композитного ролика на основе полимерных материалов снижена на 47% по сравнению с металлическим аналогом без ухудшения прочностных характеристик, что подтверждено расчётными методами и лабораторными испытаниями [10]. Подобные результаты были получены и в исследовании В. А. Нангаре и П. Р. Сонаване, где авторы провели оптимизацию конструкции стеклопластиковых роликов с применением метода конечных элементов и показали снижение массы примерно на 42% при сохранении прочности и жёсткости [8].

Положительная динамика отмечается и с экономической точки зрения. Согласно отчёту международного исследовательского центра Future Market Insights, в 2023 году объём мирового рынка композитных роликов составил 143,3 миллиона долларов США. Прогнозируемый среднегодовой темп роста в период до 2033 года составляет 7,6%, а суммарный объём рынка ожидается на уровне 297,4 миллиона долларов США [7]. Аналогичные оценки представлены в отчёте аналитической компании Stratview Research: объём рынка в 2022 году оценивается в 140,86 миллиона долларов США, прогнозируемый среднегодовой темп роста в 2023–2028 годах — 5,09%, ожидаемый объём рынка к 2028 году — 190,39 миллиона долларов США [9].

Устойчивый рост показателей объясняется рядом конструктивных и эксплуатационных преимуществ композитных роликов. К их основным достоинствам относятся: меньшая масса по сравнению с металлическими аналогами, высокая устойчивость к коррозии, химическим и абразивным воздействиям, сниженные инерционные характеристики, а также снижение рисков травматизма при монтаже и обслуживании. Кроме того, применение таких изделий способствует снижению вибрационной нагрузки на конструкцию, продлению срока службы опорных элементов и уменьшению внеплановых простоев оборудования.

Заключение. Результаты проведённого исследования свидетельствуют о высокой целесообразности и экономической эффективности внедрения облегчённых конвейерных роликов на основе композитных материалов в промышленную эксплуатацию. Композитные ролики демонстрируют значительное снижение массы без

ущерба для прочностных характеристик, что обеспечивает уменьшение трудозатрат при монтаже, снижение энергопотребления в процессе эксплуатации, а также повышение уровня производственной безопасности. Устойчивость к коррозии, агрессивным средам и механическим повреждениям делает их особенно актуальными для предприятий с тяжёлыми условиями эксплуатации.

Анализ показал, что замена металлических роликов на композитные позволяет достичь годовой экономии электроэнергии до 3–4%, а также сократить массу конструкции конвейерной линии на десятки тонн, что существенно разгружает приводную систему и снижает пиковые нагрузки при пуске. Кроме того, уменьшение инерционных нагрузок снижает аварийные риски и износ компонентов транспортной системы.

Широкому распространению композитных роликов препятствует ряд факторов, включая профессиональный консерватизм технических специалистов, отсутствие адаптированной инфраструктуры и необходимость актуализации нормативной базы. Однако опытно-промышленные испытания, положительные результаты эксплуатации, а также системная работа по обучению персонала и сопровождению внедрения способны преодолеть существующие барьеры.

Комплексная оценка показывает, что использование роликов на основе композитных материалов соответствует стратегическим задачам повышения энергоэффективности, сокращения эксплуатационных затрат и модернизации промышленных объектов. Это подтверждает целесообразность их дальнейшего распространения в рамках технологического обновления конвейерных систем.

Анализ международного опыта также подтвердил высокую эффективность и рыночную перспективность композитных решений, широко применяемых в горнорудной, логистической и перерабатывающей отраслях, что позволяет рассматривать их внедрение как часть глобальной технологической тенденции модернизации производственной инфраструктуры.

Список источников

1. ГОСТ 12.2.022-80. Система стандартов безопасности труда. Конвейеры. Общие требования безопасности. — М.: Изд-во стандартов, 1981.
2. ГОСТ 22644-77. Конвейеры ленточные. Основные параметры и размеры. — М.: Изд-во стандартов.
3. ГОСТ 22646-77. Конвейеры ленточные. Ролики. Типы и основные размеры. — М.: Изд-во стандартов, 1992.
4. Когда наступит композитное будущее [Электронный ресурс] // Страна Росатом. — 2017. — 1 нояб. (выступление К. Б. Комарова на форуме «Композиты без границ»). — URL: <https://strana-rosatom.ru/2017/11/01/kogda-nastupit-kompozitnoe-budushhee/>
5. Стамов А. И. Конвейерные ролики улучшенной конструкции // Горная промышленность — 2001.
6. Шаяхметов Э. Я. Конструктивное и технологическое обеспечение качества роликоопор ленточных конвейеров, работающих в тяжелых условиях. — Алматы: Satbayev University, 2017.

7. Future Market Insights. Global Composite Rollers Market is projected to reach US\$ 297.4 Million rising at a CAGR of 7.6% from 2023 to 2033 [Press release]. GlobeNewswire, 2023. URL: <https://finance.yahoo.com/news/global-composite-rollers-market-projected-143000300.html>
8. Nangare V. A., Sonawane P. R. Design, analysis and weight optimization of roller conveyor system by using glass fiber composite material // International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology (IJRASET). 2022. DOI: 10.22214/ijraset.2022.45569
9. Stratview Research. Composite Rollers Market Size, Share & Growth Analysis (forecast 2023–2028). URL: <https://www.stratviewresearch.com/market-reports/composite-rollers-market>
10. Wheatley G., Zaeimi M. Composite shaftless roller design for conveyor system // Periodica Polytechnica Mechanical Engineering. 2021. Vol. 65, No. 3. P. 261–268. DOI: 10.3311/PPme.17554

References

1. GOST 12.2.022–80. A system of occupational safety standards. Conveyors. General safety requirements. Moscow: Publishing House of Standards, 1981.
2. GOST 22644–77. Belt conveyors. Basic parameters and dimensions. Moscow: Publishing House of Standards.
3. GOST 22646–77. Belt conveyors. Rollers. Types and basic sizes. Moscow: Publishing House of Standards, 1992.
4. When the composite future will come [Online] // Strana Rosatom. 2017. 1 November (remarks by K. B. Komarov at the Composites without Borders forum). URL: <https://strana-rosatom.ru/2017/11/01/kogda-nastupit-kompozitnoe-budushhee/>
5. Stamov A. I. Conveyor rollers of improved design // Mining industry — 2001.
6. Shayakhmetov E. Ya. Constructive and technological quality assurance of roller supports of belt conveyors operating in harsh conditions. Almaty: Satbayev University, 2017.
7. Future Market Insights. Global Composite Rollers Market is projected to reach US\$ 297.4 Million rising at a CAGR of 7.6% from 2023 to 2033 [Press release]. GlobeNewswire, 2023. URL: <https://finance.yahoo.com/news/global-composite-rollers-market-projected-143000300.html>
8. Nangare V. A., Sonawane P. R. Design, analysis and weight optimization of roller conveyor system by using glass fiber composite material // International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology (IJRASET). 2022. DOI: 10.22214/ijraset.2022.45569
9. Stratview Research. Composite Rollers Market Size, Share & Growth Analysis (forecast 2023–2028). URL: <https://www.stratviewresearch.com/market-reports/composite-rollers-market>
10. Wheatley G., Zaeimi M. Composite shaftless roller design for conveyor system // Periodica Polytechnica Mechanical Engineering. 2021. Vol. 65, No. 3. P. 261–268. DOI: 10.3311/PPme.17554

Информация об авторе / Information about the author: А. С. Сергеев — исполнительный директор ООО «МегаСервис» / A. S. Sergeev — Executive Director, MegaService LLC. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов / The author declares no conflict of interest.