



Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования

УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

620144, г. Екатеринбург, ГСП-126, ул. Куйбышева, 30 тел.: (343) 257-25-47, факс: (343) 251-48-38
e-mail: office@ursmu.ru, http://www.ursmu.ru

от 10.03 № 01-07/148

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе
Федерального государственного
бюджетного образовательного
учреждения высшего образования
«Уральский государственный
горный университет», д. ф.-м. н.



Д. В. Зайцев

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уральский государственный горный университет», на диссертационную работу **Бердюгина Ильи Андреевича** на тему: **«Разработка метода тягового расчета вантового ленточного конвейера типа CoreCon®»**, представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.8 «Геотехнология, горные машины»

На отзыв представлена диссертационная работа, состоящая из введения, трёх глав, заключения и библиографического списка, содержащего 69 источников, и трёх приложений. Работа изложена на 127 страницах машинописного текста, содержит 7 таблиц и 31 рисунок. На отзыв также представлен автореферат на 26 страницах.

Актуальность темы диссертационного исследования

При транспортировании породы на значительные расстояния необходимо проектировать конвейерные линии, имеющие узлы перегрузки, что приводит к увеличению капитальных затрат, возникновению пылеобразования, отрицательному воздействию на окружающую среду и снижению надёжности всей транспортной системы

Поиск новых видов непрерывного транспорта для обеспечения эффективного способа доставки полезного ископаемого потребителю – это задача нашего времени. Разработанная теория, позволившая определить основные конструктивные и эксплуатационные параметры вантовой системы конвейера типа CoreCon®, расчет подвесной канатной системы става этого конвейера, выбранная модель провеса канатов между опорными вышками, представленная, как висячая вантовая трехпоясная система, является

актуальной задачей, особенно в свете требований Президента и Правительства России по развитию инновационных решений и освоению импортозамещающих технологий.

Структура и основное содержание диссертационной работы

Во введении обоснована актуальность работы, сформулирована цель, идея и научные положения, выносимые на защиту, дана оценка научной и практической значимости работы, а также представлены результаты её реализации.

В первой главе выполнен критический анализ научных трудов по теме диссертации, в которых рассматриваются вопросы современного состояния проблемы расчета подвесных вантовых конвейеров, позволившие сформулировать основные положения, подлежащие изучению в диссертационной работе:

для разработки метода тягового расчета подвесного вантового конвейера, необходимо определить его производительность с учетом конструктивных особенностей ленты – наличия гофробортов и их высоты, а также ходовых роликов, установленных на оси, прикреплённой к ленте;

обоснование конструктивных параметров ленты, её скорости движения и теоретического сечения груза на ней, так как, для подвесного вантового конвейера в открытых источниках эти данные отсутствуют;

обосновать ограничения на максимально и минимально допустимую величину натяжения ленты, скорость её движения и давление ходовых роликов на направляющие канаты става.

Отмечается, что на настоящий момент в открытом доступе не существует метода по определению коэффициента распределенного сопротивления движению ленты для вантового конвейера.

Ввиду появления новых взаимозависимостей между конструктивными и эксплуатационными параметрами конвейера типа RopeCon[®], алгоритм тягового расчета должен включать решение ряда замкнутых задач методом последовательных приближений.

На основании представленных положений в главе сформулированы цель и задачи исследования.

Вторая глава работы посвящена исследованию критерия и метода выбора конструктивных и эксплуатационных параметров подвесного вантового конвейера, а именно – ширины конвейерной ленты и высоты её гофробортов, максимально и минимально допустимого натяжения ленты, скорость её движения и шага установки ходовых роликов, закреплённых на ленте. Для выполнения корректных расчётов, введены понятие «ширина основной ленты» (часть ленты между гофробортами на которой располагается груз) и высота гофробортов. Поскольку применительно к ленте с гофробортами её рабочая ширина зависит от высоты гофробортов, имеет смысл при определении коэффициента производительности C_p базироваться на полной ширине основной ленты.

Установлено, что для традиционного ленточного конвейера, в зависимости от конструкции роlikоопор грузовой ветви конвейера, величина $C_3 = 0,110-0,126$, которую необходимо назначать, как нижнюю границу значения для ленты с гофробортом подвесного вантового конвейера с учётом опыта эксплуатации такого типа конвейеров и рекомендаций производителя. В работе показано, что он является статистически устойчивой величиной.

При значениях поперечного сечения груза на ленте типа гофроборт, лежащих в диапазоне от $0,04 \text{ м}^2$ до $0,08 \text{ м}^2$ можно рекомендовать принимать коэффициент $C_3=0,17$, а при значениях поперечного сечения груза на ленте от $0,08 \text{ м}^2$ и выше его значение можно принимать, равным $0,21$ (этот диапазон соответствует «ширине основной ленты» от 800 мм и выше, при этом борта рекомендуются принимать только усиленные шириной $0,15 \text{ м}$).

Представлены формулы для определения максимально допустимого натяжения «основной ленты» S_1 , которое ограничено необходимым коэффициентом надёжности прилегания роликов к направляющим канатам вантовой системы конвейера n_H , с учётом давления ветра на ленту снизу до $p_v = 500 \text{ Па}$. В то же время отмечается, что ветровая нагрузка может в несколько раз снижать максимально допустимое натяжение ленты.

Минимально допустимое натяжение основной ленты ограничено, как и на традиционном ленточном конвейере, допустимым провесом ленты f_{\max} между ходовыми роликами.

Рассмотрен вопрос определения минимально допустимого натяжения «основной ленты», S_{\min} величина которой ограничена, как и на традиционном ленточном конвейере, допустимым провесом ленты f_{\max} между ходовыми роликами.

Установлено, что максимально допустимая скорость движения ленты на линейной части конвейера ограничена критической скоростью $v_{кр}$, при которой она теряет продольную устойчивость своей формы в вертикальной плоскости, а также критической скоростью на участках поворота ленты на порожней ветви конвейера. Поскольку скорость распространения продольной волны «изгиба-распрямления» равна скорости движения ленты, поэтому если скорость движения ленты становится выше возможной скорости распространения поперечной волны в ленте, то на вертикальных перегибах трассы конвейера, лента не успевает распрямиться и происходит её продольное складывание.

Два участка поворота ленты, располагаемые на порожней ветви конвейера типа $\text{CoreCon}^{\text{®}}$, могут быть также критическими по скорости движения ленты. При повороте ленты, сначала угол её закручивания θ увеличивается от 0^0 до некоторого значения γ_{\max} , а затем падает до 0^0 .

При рассмотрении крутильных колебаний приближенно считали массу ленты с гофробортами и опорными роликами равномерно распределенной вдоль оси ленты. При этом под осью ленты подразумеваем траекторию её срединной линии, как по её ширине, так и по толщине.

Определена критическая скорость ленты при крутильных колебаниях, а также установлено, что её величина существенно ниже, чем критическая скорость при поперечных колебаниях. При этом определяющую роль играют моменты инерции, создаваемые вращающимися массами гофробортов и ходовых роликов, что является конструктивной особенностью рассматриваемого типа конвейера.

Определена величина оптимального расстояния между ходовыми роликами l_{xp} с учётом максимально допустимых давлений ходовых роликов на направляющие канаты, с условием того, что согласно правилам устройства подвесных канатных дорог, условное давление ходового ролика p на канат не должно превышать 0,4 МПа.

Установлено, что при расчете шаг ходовых роликов для грузовой ветви конвейера, величина l_{xp} всегда будет меньше, чем для порожней ветви, даже если расчетный диаметр канатов на порожней ветви получается меньше, чем на грузовой. Поэтому расчёт допустимого шага ходовых роликов всегда нужно производить только по параметрам грузовой ветви конвейера. С увеличением расстояния между опорными вышками вантовой системы конвейера L максимально допустимый шаг ходовых роликов растёт пропорционально корню квадратному из проекции этой величины на горизонтальную плоскость.

Третья глава посвящена разработке метода тягового расчета подвесного канатного конвейера. В диссертационной работе принят дифференцированный подход к расчету сопротивления движению ленты, когда выполняется суммирование всех сил сопротивления движению, как распределенных, так и сосредоточенных, рассчитываемых отдельно и подробно.

Величина сопротивления движению ходовых роликов ленты по направляющим канатам складывается из распределённых по длине конвейера сопротивлений, а также сосредоточенных – местных сопротивлений.

Получены формулы для определения составляющей коэффициента сопротивления движению от сопротивления вращению ходовых роликов $w_{вр}$, для двух конструктивных решений: для случая применения подшипников качения в ходовом ролике $w_{вр} = 0,0001$; при отсутствии подшипника качения в цапфе ходового ролика $w_{вр} = 0,0175$. В обоих случаях эти величины не зависят от действующей нагрузки на ходовой ролик.

Разработана методика по определению силы сопротивления от изгибной деформации направляющих канатов $P_{и}$ при качении по ним ходовых роликов. Получены формулы для определения коэффициента сопротивления движению ходовых роликов от изгибной жесткости каната для порожняковой $w''_{жс}$ и грузовой ветви конвейера $w_{жс}$.

Завершают диссертационную работу заключение и общие выводы, позволяющие объективно оценить значимость проведенных научных исследований.

Научная новизна и достоверность результатов исследования

Новизна проведенного автором научного исследования состоит в решении актуальной научной задачи, заключающейся в разработке метода тягового расчета подвесного вантового конвейера типа RopeCon[®], с учётом специфики трассы и конструктивного исполнения основных узлов, необходимых для обоснования его эксплуатационных параметров.

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, содержащихся в диссертации Бердюгина И.А., подтверждается теоретическими исследованиями с корректным использованием разделов математического анализа и дифференциальной геометрии, теоретической механики, сопротивления материалов, теории машин непрерывного транспорта, канатных дорог и подвесных вантовых систем, а также принятыми нормами международных стандартов расчёта и проектирования машин непрерывного транспорта.

Практическая значимость и реализация результатов диссертации

Практическая значимость заключается в том, что на основании разработанного метода тягового расчета подвесного вантового ленточного конвейера типа RopeCon[®], предложена методика его тягового расчета, учитывающая конструктивные особенности основных узлов, трассы и параметры вантового става. Полученные научные результаты и выводы диссертационной работы рекомендуется применять на предприятиях и в организациях, занимающихся проектированием, конструированием и эксплуатацией ленточных конвейеров для горнодобывающей промышленности, а также в учебном процессе на практических занятиях, при курсовом и дипломном проектировании.

Научные и практические результаты диссертации приняты к использованию в ООО «Криэйшн тяжмаш» и ООО «Белохолуницкие конвейеры», а также используются в учебном комплексе горного института НИТУ МИСИС, при подготовке студентов и магистров горно-металлургического профиля.

В результате научных разработок предложена методика тягового расчёта вантового ленточного конвейера типа RopeCon[®], которая представляет интерес для профильных специалистов, научных организаций и производственных предприятий, специализирующихся в области проектирования, изготовления, и эксплуатации современных типов энергосберегающих ленточных конвейеров с облегчённым ставом.

Значимость полученных автором результатов для развития геотехники (горных машин)

Полученные в работе результаты содержат научно-обоснованную информацию, открывают возможность выполнения тяговых расчётов вантовых ленточных конвейеров типа RopeCon[®], что имеет важное научно-практическое значение для многих отраслей промышленности России

(горное дело, металлургическая промышленность, химическая промышленность, стройматериалы).

Результаты диссертационной работы представлены в 3 научных статьях, из которых две входят в перечень рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК РФ, и одна – в индексируемую наукометрическую базу Scopus.

Основные положения и результаты работы ежегодно докладывались на международных научных симпозиумах «Неделя горняка» (2022 – 2024 г.г.) и на семинарах кафедры ГОТиМ НИТУ МИСИС

Соответствие автореферата содержанию диссертации

В автореферате изложены основные идеи и выводы диссертации, показан вклад автора в проведённое исследование, степень новизны и практическая значимость результатов исследований. Содержание автореферата отражает основные положения диссертации.

Замечания по диссертационной работе

1. В работе не представлена общая схема рассматриваемого конвейера. По этой причине, при ознакомлении с работой, возникает ряд вопросов по названиям рассматриваемых узлов и элементов конвейера.

2. На рисунке 1.12, стр.29, а также на рис 2.2, стр. 40 показаны поперечные сечения ленты с грузом, при этом ширина основной ленты B имеет разные значения.

3. Применяемое в диссертации название «ширина основной ленты» не совсем удачно, поскольку возникает вопрос «Какая ещё существует ширина ленты у рассматриваемого конвейера?».

4. Автор недостаточно четко объясняет, почему предлагаемые им значения коэффициента использования ширины ленты являются оптимальными?

5. В работе недостаточно внимания уделено особенностям тягового расчета нагорных конвейеров, транспортирующих грузы сверху вниз под значительными углами наклона.

6. Почему в 1-й главе диссертации в качестве примера приведен расчет по европейскому стандарту DIN-ES, который разработан для конвейеров традиционной конструкции?

7. Для рисунка 3.11 нет пояснений и ссылок, кроме того, представленная зависимость на рисунке 3.11 противоречит зависимости на рис. 3.8.

8. Ни в диссертации, ни в автореферате не приведено экономическое обоснование целесообразности применения вантового конвейера, например, для предприятий ООО «Белохолуницкие конвейеры» и ООО «Криэйшин Тяжмаш», выдавших справку о внедрении результатов работы.

9. Небрежное оформление диссертации, есть грамматические и стилистические ошибки, нет единообразия в абзацных отступах, плохое

графическое изображение рисунков, непонятное оформление списка использованных источников.

В целом, указанные замечания не снижают ценность диссертационной работы Бердюгина Ильи Андреевича. Работа оформлена в соответствии с существующими требованиями, изложена грамотным техническим языком.

Заключение

Диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой на основе выполненных автором исследований дано решение актуальной научной задачи по разработке метода тягового расчета вантового ленточного конвейера типа RopeCon[®], установленного на подвесных канатах, с учётом распределенных и сосредоточенных сопротивлений движению ленты на грузовой и порожней ветвях.

Диссертационная работа по актуальности поставленных задач, научной новизне, объему, уровню опубликованных работ, практической значимости, достоверности полученных результатов и степени обоснованности выводов соответствует требованиям «Положения о присуждении ученых степеней» (Постановление Правительства РФ № 842 от 24.09.2013, ред. от 18.03.2023), также отвечает требованиям положения «О порядке присуждения ученых степеней в НИТУ «МИСиС».

Диссертационная работа на тему «Разработка метода тягового расчета вантового ленточного конвейера типа RopeCon[®]» соответствует паспорту специальности 2.8.8 «Геотехнология, горные машины», а ее автор, Бердюгин Илья Андреевич, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук.

Отзыв подготовила заведующая кафедрой горных машин и комплексов, доктор технических наук, профессор, Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уральский государственный горный университет»



Лагунова Юлия Андреевна

Отзыв ведущей организации по диссертационной работе Бердюгина Ильи Андреевича обсужден и утвержден на заседании кафедры «Горные машины и комплексы» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уральский государственный горный университет» (протокол № 6 от 06 марта 2025 г.)

Подпись Лагуновой Ю.А. заверяю
Начальник ОК ФГБОУ ВО «УГГУ»



Сабанова Татьяна Борисовна