

УТВЕРЖДАЮ

И.о. проректора по науке и инновациям
Федерального государственного автономного
образовательного учреждения высшего
образования «Пермского национального
исследовательского политехнического
университета»



А.И. Швейкин

« 29 »

2024 года

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного автономного образовательного
учреждения высшего образования «Пермского национального
исследовательского политехнического университета»

на диссертационную работу Доблера Максима Олеговича на тему:

«Разработка метода расчета параметров става вантового ленточного конвейера типа ROPESON[®]», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.8 «Геотехнология, горные машины»

Актуальность темы диссертационного исследования

При транспортировании различных насыпных грузов на большие расстояния, в горной и других областях промышленности, применяют магистральные ленточные конвейеры, которым зачастую приходится преодолевать различные естественные препятствия, а также строения и коммуникации, созданные в результате деятельности человека. В таких случаях классические ленточные конвейеры не могут быть использованы, поскольку область их применения ограничена углом наклона конвейера до $\pm 16^0$ и требованием прямолинейности трассы.

В результате этого, при транспортировании полезного ископаемого 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.

Поэтому постоянно осуществляется поиск новых видов непрерывного транспорта для обеспечения наиболее эффективного способа доставки полезного ископаемого потребителю. Одним из таких перспективных специальных типов ленточных конвейеров является конвейер системы RopesCon[®], который монтируется на шести подвесных канатах, опирающихся на опорные мачты, устанавливаемые с определённым интервалом по трассе.

Основным преимуществом конвейера является возможность прокладывать трассу конвейера независимо от препятствий, минимизировать вес става, относительная экологичность, универсальность использования, а также энергосбережение за счёт применения ленты типа гофроборт, движущейся на ходовых роликах по направляющим канатам, вместо перекатывающейся ленты по роликоопорам става, как в конструкции традиционного ленточного конвейера.

В последнее время область применения данного типа конвейера расширяется за счёт возможного применения в качестве подъёмного конвейера из карьеров, для транспортирования дроблёной руды до обоганительной фабрики или склада, а также в шахтах, для транспортирования угля по магистральным выработкам.

Поскольку в зарубежных публикациях ограничен доступ к материалам по определению основных конструктивных параметров подвешного конвейера с канатным ставом системы RopeCon[®], влияющих на его эксплуатационные параметры, то разработка методики их определения путем математических и аналитических выражений является весьма актуальной научно-технической задачей. Ее решение позволит уточнить тяговый расчет такого типа ленточных конвейеров и создаст методологическую базу для разработки аналогичных отечественных конвейеров.

В связи с этим, представленная диссертационная работа, посвящённая разработке метода расчета параметров става «вантового ленточного конвейера типа RopeCon[®]», является актуальной и имеет важное научное и практическое значение.

Структура и основное содержание диссертационной работы

На отзыв представлена диссертационная работа, состоящая из введения, трёх глав, заключения и библиографического списка, содержащего 80 источников, и двух приложений. Работа изложена на 103 страницах машинописного текста, содержит 17 таблиц и 41 рисунок. На отзыв также представлен автореферат на 27 страницах.

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 анализ научных трудов по теме диссертации, в которых рассматриваются вопросы проектирования и эксплуатации конвейеров с подвесной грузонесущей лентой, и, в частности о транспортной системе RopeCon[®]. В том числе применения на открытых горных работах, перспективах и расчетах, связанных с деформацией конвейерной ленты типа «гофроборт», используемой в рассматриваемом конвейере в качестве тягового и грузонесущего органа. Так же изучены работы, связанные с проектированием и расчетами висячих вантовых конструкций и подвесных канатных дорожных автотранспортных средств, как Дукельский А. И., Еремеев П. Г., Земсков А. Н., Галкин В. И., Лагерева А. В., Миркин Д. Р., Фрайфельд А. В., Fedorko G., Яхонтов Ю. А. и др..

На основании этого анализа сформулирована цель диссертационного исследования, поставлены задачи, необходимые для обоснования методических подходов и средств для достижения поставленной цели.

Вторая глава посвящена теоретическому исследованию параметров вантовой системы подвешного канатного конвейера. Была выбрана математическая модель провеса канатов винтовой системы между опорными вышками, а также определены распределения натяжений между несущими и направляющими канатами, а также нагрузки, действующие на канаты, и описаны способы их определения.

При описании подвесных систем наиболее важным является вопрос о выборе реальной модели провеса канатов, для чего были рассмотрены три варианта возможных моделей, из которых была выбрана для дальнейшего использования - модель нити постоянной кривизны. В вантовой системе подвешного канатного конвейера несущие и направляющие канаты связаны опорными рамами, через которые передаются усилия, нормальные к кривым изгиба канатов. Это означает, что при одинаковых геометрических размерах всех опорных рам в продольной плоскости, расстояние между канатами верхнего и нижнего яруса, измеренное по нормали к кривым провеса канатов в пролете между опорными вышками, должно быть одинаковым. Такое условие может быть выполнено в случае, если провес будет иметь форму дуги окружности, поэтому была выбрана удовлетворяющая этим условиям модель провеса канатов, как модель нити постоянной кривизны. Зная модель расчета провесов канатов, определяются распределения натяжений между несущими и направляющими канатами рассматриваемой вантовой системы става конвейера. Используя общие принципы, при проектировании подвесных канатных дорог определяются нагрузки, действующие на канаты. Получена формула по определению максимальное натяжение каната на трассе конвейера, которая зависит от разности высот между точкой

установки груза натяжного устройства и самой высокой точки трассы подвесной системы конвейера RoreCon®, которая обычно не превышает 700м. Для определения нагрузок на канаты вантовой системы необходимо знать вес опорной рамы, который является строго вертикальной нагрузкой. Установлено, что его погонная величина, не зависит от шага их подвески. Получена формула по определению погонной нагрузки приходящийся на 1 канат от веса опорных рам и коэффициенты, учитывающие долю нагрузки, передаваемую через опорные рамы на несущий канат, а также определены все нагрузки действующие на него. Сформулировано условие надежного прилегания канатов к кронштейнам опорных рам, по аналогии с условием прилегания канатов к башмакам опорных вышек на вогнутом участке трассы конвейера. При этом, вводится коэффициент надежности прилегания каната к опорному башмаку вышки, который принимают равным $1,2 \div 1,5$. Определены рекомендуемые эквивалентные значения коэффициентов передачи нагрузки $k_{оп}$ и $k_{ог}$, через опорные рамы на несущие канаты, с учётом уровня надежности прилегания канатов к кронштейнам опорных рам.

В третьей главе выполнены обоснования и оптимизация эксплуатационных параметров вантовой системы подвесного канатного конвейера. Под основными эксплуатационными параметрами подразумеваются погонный вес несущих и направляющих канатов вантовой системы, а следовательно и их диаметры, величины необходимых натяжений всех канатов, и расстояние между опорными рамами, играющих роль вантов в рассматриваемой подвесной системе конвейера. Теоретически было установлено, что натяжение в канатах вантовой системы в значительной степени зависит от их погонного веса, и в то же время, максимально возможное натяжение канатов прямо пропорционально их погонному весу.

Проведённые исследования показали, что соотношение натяжений и погонных весов канатов должны определяться с учётом коэффициентов надежности прилегания канатов к башмакам опорных вышек, как на порожней, так и на грузовой ветвях конвейера. Более того, все перечисленные коэффициенты требуют обоснования. Из полученных уравнений определены необходимые распределения натяжений между канатами и их погонными весами от: веса грузовой и порожней ветвей конвейера, перепада высот его трассы; радиуса кривизны провеса канатов в пролётах между опорными вышками. При этом, в конечном итоге, задача сводится к определению оптимальных значений соотношения коэффициентов использования разрывной прочности канатов, и коэффициентов отражающих долю нагрузок, передаваемую через опорные рамы на несущие канаты соответственно для грузовой и порожней ветвей конвейера. Установлено, что суммарный вес канатов вантовой системы става конвейера (а значит и их стоимость) прямо пропорционален суммарному весу обеих его ветвей, который зависит только от угла наклона трассы конвейера и величины кривизны провеса канатов в пролёте между опорными вышками. При отсутствии груза на конвейере, в сравнении со случаем его полной загрузки, коэффициент надежности прилегания канатов к башмакам опорных вышек грузовой ветви уменьшится, а коэффициент надежности прилегания канатов порожней ветви увеличится. Это означает, что при расчете параметров вантовой системы нужно принимать величины коэффициентов надежности прилегания канатов к башмакам опорных вышек различными – в зависимости от нагрузок ветвей конвейера, при этом чтобы наименьший из них был бы больше величины их нормативного значения n .

Исследован вопрос выбора рационального шага опорных рам вантовой системы конвейера, в результате чего было выявлено, что изменение расстояния между ними не изменяет погонной нагрузки от рам на вантовую систему ПКК, поскольку их вес пропорционален этому расстоянию. Кроме того, погонная нагрузка от них пренебрежимо мала, по сравнению с другими нагрузками, воздействующими на канаты вантовой системы конвейера.

Установлено, что на канаты грузовой и порожней ветвей конвейера действуют сосредоточенные силы со стороны ходовых роликов, установленных на ленте конвейера. В

результате в точках контакта роликов и каната возникают сосредоточенные силы, и прогибы канатов становятся больше, чем при действии эквивалентной распределенной нагрузки от груза и ленты. Величина прогиба каната под ходовыми роликами зависит от их положения в пролете между опорными рамами. В результате получается так, что система движущихся сосредоточенных сил от ходовых роликов создает волну дополнительного прогиба в направляющих канатах.

Получены графики зависимости коэффициента неравномерности нагрузки на канаты от отношения шага ходовых роликов к шагу рам при различных углах наклона трассы конвейера. Также из приведенных графиков следует, что наихудшим случаем по динамическим критериям является горизонтальный участок вантовой системы, когда угол наклона трассы конвейера равен нулю.

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

Научная новизна и достоверность результатов исследования

Новизна проведенного автором научного исследования состоит в:

- получении аналитических выражений для определения коэффициентов надежности прилегания направляющих канатов к кронштейнам опорных рам с учетом изменяющихся суммарных погонных нагрузок, а также для погонных весов всех канатов и их натяжений;
- определении значений расчетных коэффициентов надежности прилегания направляющих канатов грузовой и порожней ветвей конвейера к кронштейнам опорных рам, превышающих установленные нормативные значения при изменяющихся погонных нагрузках на ленту;
- получении уравнения для определения расстояния между опорными рамами вантовой системы конвейера из условия минимизации возникающей неравномерности от подвижной нагрузки на канаты, связанной с перемещением на ленте транспортируемого груза, веса ленты и погонного веса роликов.

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, содержащихся в диссертации Доблера М.О. подтверждается теоретическими исследованиями с корректным использованием математического анализа, теории подобия и размерностей, достаточным количеством экспериментальных расчётов, а также хорошей сходимостью полученных данных с теорией тяговых расчетов ленточных конвейеров и канатных дорог.

Практическая значимость и реализация результатов диссертации

Практическая ценность работы заключается в том, что на основании разработанного метода расчета ПКК предложена методика по обоснованию рациональных параметров его става с помощью коэффициентов надежного их прилегания к кронштейнам опорных рам, учитывающая коэффициенты использования разрывной прочности канатов и коэффициенты передачи нагрузок от направляющих канатов к несущим. Полученные результаты и выводы диссертационной работы целесообразно использовать в организациях, занимающихся конструированием и эксплуатацией ленточных конвейеров для различных отраслей промышленности, а также в учебных целях при выполнении практических занятий, курсовых и дипломных проектов.

Научные и практические результаты диссертации приняты к использованию в ОАО «Объединённые машиностроительные технологии» и в ООО «Центр горного машиностроения» для проектирования ленточных 8 конвейеров вантового типа в условиях их применения в гористой местности, а также используются в учебном процессе Горного института НИТУ МИСИС при подготовке студентов машиностроительного профиля.

В результате научных разработок предложена методика по обоснованию рациональных параметров канатного става вантового ленточного конвейера, которые представляют интерес для профильных специалистов, научных организаций и производственных

предприятий, специализирующихся в области проектирования, изготовления, и эксплуатации современных типов ленточных конвейеров с уменьшенным энергопотреблением и облегчённым ставом.

Значимость полученных автором результатов для развития геотехники (горных машин)

Полученные в работе результаты содержат научно - обоснованную информацию, открывающую возможность выполнять расчёты канатного става вантового ленточного конвейера, что имеет важное научно-практическое значение для многих отраслей промышленности (горное дело, металлургическая промышленность, химическая промышленность, стройматериалы).

Основные положения диссертационной работы опубликованы в 3 научных трудах, входящих в перечень рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК РФ и индексируемых в наукометрической базе Scopus.

Основные положения диссертации докладывались и обсуждались на международных научных симпозиумах «Неделя горняка» (2021, 2022 гг.), а на научных семинарах кафедры ГОТ и М 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 представлены материалы по влиянию климатических условий (температура воздуха от минус 50° до плюс 50°C) на эксплуатационные параметры вантовой конструкции канатного става.

2. В работе не отражено влияние ветровой нагрузки, а так же осадков на конструктивные параметры вантового канатного става. На рисунках виден настил на несущих канатах. Он так же не учтен в расчетах.

3. В работе нет описания технических решений, принятых в конструкции рассматриваемого конвейера. Например, не понятно, имеются ли в ходовых роликах подшипники или они вмонтированы в саму ленту. Как лента на порожней ветви принимает такое же положение как на грузовой ветви (рабочей стороной вверх) (рисунок 1.4 и 3.1)?

4. В работе не представлена общая схема рассматриваемого конвейера. Из-за этого при ознакомлении с работой возникает ряд вопросов по названиям рассматриваемых элементов. Вводят в диссонанс, например, «опорные рамы», которыми названы элементы подвески поясов вантовой системы. Описание приведено только в 3 главе на фото линейной части конвейера.

5. В работе не уделено должное внимание термину «вантовый конвейер». В традиционной классификации конвейеров такого нет и есть ли смысл вводить, так как рассмотренный конвейер является разновидностью конвейера с канатным ставом, идея подвесной конструкции которого уже описана. В работе так же используется термин «канатный ленточный конвейер» (в «идее работы», например), что вводит в заблуждение. Известен «канатно-ленточный конвейер», но это транспортёр совсем другого типа.

6. В разделе 2.2.1 остался не ясен физический смысл и от чего зависят «коэффициенты, отражающих долю нагрузки, передаваемую через опорные рамы на несущий канат», а также «коэффициент надежности прилегания». Зачем вообще вводить «коэффициенты передачи нагрузки через рамы на несущие канаты», если уже есть «коэффициент надежности прилегания»? В литературных источниках, на которые ссылается автор, нет ни упо-

минания «коэффициента надежности прилегания», ни используемых в диссертации его значений.

7. В разделе 3.3 не обосновано рассматриваемое положение ходовых роликов относительно опорных рам. Не будет ли увеличиваться прогиб направляющих канатов при смещении точек опоры ленты?

8. Научные положения сформулированы как факты выполнения конкретных задач диссертационной работы и не отражают конкретных результатов исследования, а значит и не ясна степень выделенной автором ценности работы.

В целом, указанные замечания не снижают ценность диссертационной работы Доблера Максима Олеговича, имеющей научную новизну и практическую значимость в области создания и модернизации горно-транспортного оборудования. 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 расчета параметров вантового става ленточного конвейера на подвесных канатах, основанного на созданной математической модели, использующей основные положения расчёта вантовых систем, подвесных канатных дорог и ленточных конвейеров с канатным ставом, необходимого для обоснования оптимальных параметров.

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 26.09.2022), также отвечает требованиям положения «О порядке присуждения ученых степеней в НИТУ «МИСиС».

По научно-технической направленности, содержанию, выводам и практической значимости работа соответствует паспорту специальности 2.8.8 «Геотехнология. Горные машины».

Диссертационная работа выполнена соискателем на высоком научно-техническом уровне. Автор диссертации - Доблер Максим Олегович заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.8 «Геотехнология. Горные машины».

Отзыв подготовил заведующий кафедрой «Горная электромеханика», доктор технических наук, профессор, Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет».



Трифанов Геннадий Дмитриевич

Отзыв ведущей организации по диссертационной работе Доблера Максима Олеговича обсужден и утвержден на заседании кафедры «Горная электромеханика» Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» (протокол № 9 от 24 мая 2024 г.)