

УДК (UDC) 621.86

КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ РЕШЕНИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ
ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫМИ НАТЯЖНЫМИ УСТРОЙСТВАМИ
ЛЕНТОЧНЫХ КОНВЕЙЕРОВCONCEPTUAL SOLUTIONS FOR CONTROL SYSTEMS OF DIFFERENTIAL
TENSIONERS FOR BELT CONVEYORSГончаров К.А.
Goncharov K.A.Брянский государственный технический университет (Брянск, Россия)
Bryansk State Technical University (Bryansk, Russian Federation)

Аннотация. Дифференциальные натяжные устройства ленточных конвейеров в целом и промежуточных приводов протяженных конвейеров в виде замкнутых тяговых контуров являются новым типом автоматических натяжных устройств, отличающихся от других известных конструкций наличием ступенчатой дискретной системы управления натяжением лент с разделением функций компенсации вытяжки ленты под нагрузкой и управления её натяжением в процессе работы конвейера с целью создания оптимальных режимов нагруженности ленты. В статье проведен анализ известных и реализуемых на практике концепций систем управления ленточными конвейерами в целом. Показана возможность регулирования реализуемого промежуточным ленточным приводом тягового усилия посредством управления натяжением тяговых и грузонесущей лент. На основе проведенного анализа предложены концептуальные решения систем управления дифференциальными натяжными устройствами ленточных конвейеров с возможностью как автономного применения, так и применения в структуре комплексной системы управления конвейером. Приведены возможные структуры линейных частей дифференциальных натяжных устройств, а также варианты реализации исполнительных частей, непосредственно осуществляющих перемещение натяжных элементов.

Ключевые слова: ленточный конвейер, устройство натяжное дифференциальное, тяговая лента, система управления.

Дата принятия к публикации: 01.10.2021
Дата публикации: 25.12.2021

Сведения об авторе:

Гончаров Кирилл Александрович – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Подъемно-транспортные машины и оборудование» ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет», e-mail: ptm_bstu@mail.ru.

ORCID: 0000-0002-5895-1162

Abstract. Differential tensioning devices for belt conveyors in general and intermediate drives of extended conveyors in the form of closed traction loops are a new type of automatic tensioning devices that differ from other known designs by the presence of a stepwise discrete belt tension control system with separation of compensation functions for belt stretching under load and control of its tension during the operation of the conveyor in order to create optimal modes of belt loading. The article analyzes the well-known and practical concepts of belt conveyor control systems in general. The possibility of controlling the traction force realized by the intermediate belt drive by controlling the tension of the traction and load-carrying belts is shown. On the basis of the analysis, conceptual solutions for control systems for differential tensioning devices of belt conveyors are proposed with the possibility of both autonomous use and application in the structure of an integrated conveyor control system. Possible structures of linear parts of differential tensioning devices are presented, as well as options for the implementation of executive parts that directly move tensioning elements.

Keywords: belt conveyor, differential tensioner, traction belt, control system.

Date of acceptance for publication: 01.10.2021
Date of publication: 25.12.2021

Author's information:

Kirill A. Goncharov – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department "Handling machinery and equipment" at Bryansk State Technical University, e-mail: ptm_bstu@mail.ru.

ORCID: 0000-0002-5895-1162

Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта Президента РФ для государственной поддержки молодых российских ученых-докторов наук №МД-422.2020.8

Acknowledgements

The study was supported by Presidential Grant for Governmental Support to Young Russian Scientists No. №MD-422.2020.8

1. Введение.

Основные направления современных научных исследований в области систем управления ленточными конвейерами можно разделить на несколько категорий [1]:

1) исследования в области стабилизации грузопотока воздействием системы управления [2 – 5];

2) исследования в области стабилизации и управления тяговыми факторами приводов [6 – 15];

3) исследования в области управления пусковыми и тормозными процессами ленточных конвейеров [16 – 19];

4) исследования в области определения границ применения тех или иных способов воздействия на механические характеристики двигателей и управления скоростью движения ленты конвейера [20 – 29].

В работах, относящихся к первой категории, рассматриваются вопросы как поиска решений синхронизации скорости движения ленты с фактическим грузопотоком, так и обратные им вопросы регулирования самого грузопотока без воздействия на скорости лент. В работе [2] авторы экспериментально определяют параметры загрузочного устройства конвейера для получения нужных характеристик грузопотока. Работа [3] посвящена математическому поиску наилучшего значения скорости движения ленты конвейера в зависимости от величины грузопотока с учетом прямой пропорциональности между этими двумя параметрами. В исследованиях [4, 5] основное внимание уделяется моделированию случайных колебаний грузопотока на основе вероятностных методов их описания.

Вторая категория исследований объединяет вопросы изучения и управления тяговыми способностями как барабанных, так и промежуточных ленточных приводов в виде тяговых контуров. В работе [6] рассматриваются вопросы компьютерной имитации систем управления

ленточными конвейерами, позволяющей осуществлять отладку разрабатываемых алгоритмов управления с использованием математических моделей технологических процессов. Исследования [8 – 11] посвящены моделированию процесса поддержания тягового фактора барабанного привода ленточного конвейера при переходе с одной скорости движения ленты на другую изменением веса грузового натяжного устройства, либо перемещением натяжного барабана.

В работе [12] авторами предлагается конструкция ленточного конвейера с подвесной лентой, движущейся на спуск под действием веса груза с установкой вспомогательного привода-конвейера, компенсирующего потери энергии. Предлагаемое техническое решение нивелирует ключевую роль привода в структуре конвейера, фактически превращая его в инерционный механизм.

Исследование [13] посвящено изучению механизмов распределения тяговых усилий между приводами внутри двухбарабанной приводной станции ленточного конвейера с целью обоснования способов устойчивой работы приводов подобной конфигурации.

В работах [7, 14] проведены экспериментальные исследования рабочих процессов промежуточных ленточных приводов ленточных конвейеров, в том числе касающиеся вопросов влияния натяжений лент на тяговую способность подобных приводов.

В исследовании [15] рассмотрены вопросы тяговой способности линейного асинхронного двигателя привода с учетом возможности изменения стабильной величины зазора между первичным и вторичным элементами вследствие эксплуатационных изменений геометрических параметров машины.

Третья категория исследований решает, в основном, частные вопросы пуска и торможения ленточных конвейеров при наличии созданной в предыдущие годы значительной базы научных достижений в данной области,

общие основные положения которых изложены в [16]. К примеру, в работе [17] рассматривается влияние физико-механических свойств лент на пусковые процессы ленточных конвейеров. В исследовании [18] произведено моделирование тормозных режимов работы ленточных конвейеров и оценено их влияние на колебания величины тягового фактора барабанного привода.

Работа [19] посвящена изучению проблем пуска протяженного ленточного конвейера, привод которого оснащен асинхронным электродвигателем с короткозамкнутым ротором и системой управления, реализующей тиристорное регулирование напряжения статора. По результатам исследований авторы делают вывод, что возможно эффективное использование указанной системы управления в приводах ленточных конвейеров с целью снижения динамических нагрузок в пусковых режимах, но их применение требует детальной тепловой проверки электродвигателей.

Научные исследования, отнесенные к четвертой категории, как обобщают опыт управления двигателями воздействием на их механические характеристики [21–23, 25–27], так и решают некоторые частные научные задачи [20], в частности исследуют особенности управления механическими характеристиками линейных асинхронных двигателей в пусковых режимах с учетом динамики приводимых механических систем.

С учетом приведенных сведений системы управления многоприводными ленточными конвейерами концептуально представляют собой следующие основные вариации [1].

1 Система управления не позволяет управлять механическими характеристиками

приводов, натяжными устройствами и процессами загрузки и разгрузки, фактически представляет собой контур безопасности, основанный на показаниях приборов безопасности.

2 Система управления не позволяет управлять механическими характеристиками приводов и натяжными устройствами, фактически представляет собой контур безопасности, основанный на показаниях приборов безопасности, возможно управление процессами загрузки (регулирование грузопотока) и разгрузки (передвижные разгрузочные тележки, регулируемые плужковые сбрасыватели).

3 Система управления позволяет управлять механическими характеристиками приводов с учетом воздействий приборов безопасности, управление натяжением лент осуществляется в автономном автоматическом режиме на основе поддержания постоянного натяжения (грузовые натяжные устройства, датчики натяжения в совокупности с лебедочными натяжными устройствами). Возможно управление процессами загрузки и разгрузки.

4 Система управления позволяет управлять механическими характеристиками приводов с учетом воздействий приборов безопасности в комплексе с управлением натяжением лент в следящем режиме, управление процессами загрузки и разгрузки конвейера коррелируется с управлением механическими характеристиками и натяжным устройством.

Описанные концепции построения систем управления можно представить в виде таблицы (табл. 1) [1].

Таблица 1

Концепции построения систем управления ленточными конвейерами

Концепция	Устройства безопасности	Управление механическими характеристиками двигателей	Управление натяжными устройствами	Управление процессами загрузки и разгрузки
Концепция 1	+	–	–	–
Концепция 2	+	–	–	+
Концепция 3	+	+	–	+
Концепция 4	+	+	+	+

Теоретически, любая из систем управления может включать различные варианты сочетаний приведенных в табл. 1 параметров. При этом под понятием «управление» в данном случае понимается не просто возможность включать и отключать привод или другие устройства, но еще и переводить их в промежуточные параметрические состояния в зависимости от рабочих характеристик конвейера.

В работах [14, 30] показано, что при изменении натяжения тяговой ленты промежуточного привода ленточного конвейера, создается возможность управления тяговым усилием промежуточного привода в небольшом диапазоне (до 8 %), при этом данный диапазон уменьшается по мере увеличения загрузки конвейера. Дополнительно даны рекомендации по манипулированию натяжениями грузонесущей и тяговых лент при пуске порожнего конвейера и его постепенной загрузке.

В случае эксплуатации протяженных магистральных многоприводных конвейеров указанная выше возможность управления тяговыми усилиями промежуточных приводов является достаточным обоснованием для разработки специфических конструкций натяжных устройств, позволяющих электродвигателям приводов работать в установившемся режиме на своих естественных механических характеристиках, что в ряде случаев может значительно снизить стоимость системы управления конвейером [31].

2. Цель исследования.

Целью настоящего исследования является разработка концептуальных решений систем управления дифференциальными натяжными устройствами ленточных конвейеров, реализующих ступенчатое дискретное управление натяжением лент с разделением функций компенсации вытяжки ленты под нагрузкой и управления её натяжением в процессе работы конвейера с целью создания оптимальных режимов нагруженности ленты.

3. Системы управления дифференциальными натяжными устройствами

Дифференциальное натяжное устройство состоит из двух принципиальных частей [1]:

1) линейная часть, формирующая сигнал о величине распределенной нагрузки от веса груза, проходящего через промежуточный ленточный привод, какую-либо линейную часть трассы конвейера или конвейер в целом;

2) исполнительная часть, реализующая необходимое натяжение ленты в зависимости от сигнала, поступающего от линейной части. Исполнительная часть включает в себя привод натяжного устройства, натяжной механизм (соединяет привод и опорное устройство), а также непосредственно передвигное опорное устройство натяжного барабана (натяжную тележку и т.п.), посредством движения которой осуществляется натяжение ленты. Дифференциальное натяжное устройство может включать в свою конструкцию несколько передвигных опорных устройств.

Обобщенная схема дифференциального натяжного устройства представлена на рис.1 [1]. В конструкцию промежуточного ленточного привода с определенным шагом устанавливаются динамометрические элементы (совмещаются с роликкоопорами), настроенные на различные величины воздействующих на них усилий от веса груза (системы датчиков 1, 2 и 3). На рис. 1 показана трехшаговая система настройки. К примеру, датчики системы 1 настраиваются на срабатывание (замыкание цепи) при воздействии на них усилия, соответствующего весу груза, расположенного на промежуточном приводе, при реализации конвейером 1/3 полной производительности. Датчики системы 2 настраиваются на усилие, соответствующее реализации конвейером 2/3 полной производительности. Соответственно, датчики системы 3 настраиваются на усилие, соответствующее реализации конвейером полной производительности.

В качестве динамометрических элементов могут выступать пружины различной конструкции, подобранные или спроектированные на реализацию необходимого усилия (рис. 2), конвейерные весы различной конфигурации (рис. 3).

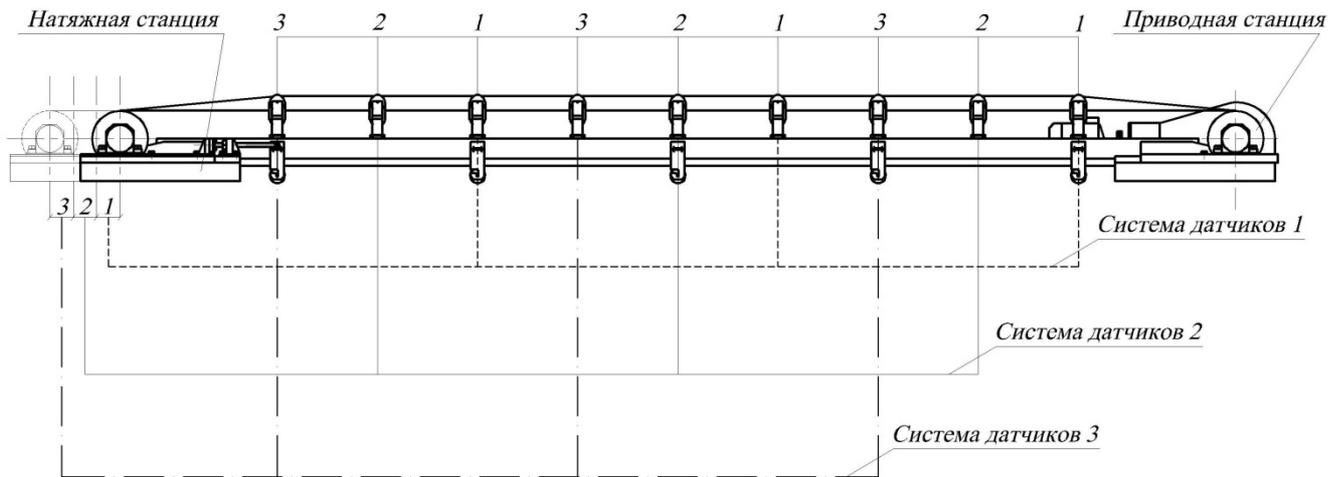


Рис. 1. Обобщенная схема дифференциального натяжного устройства

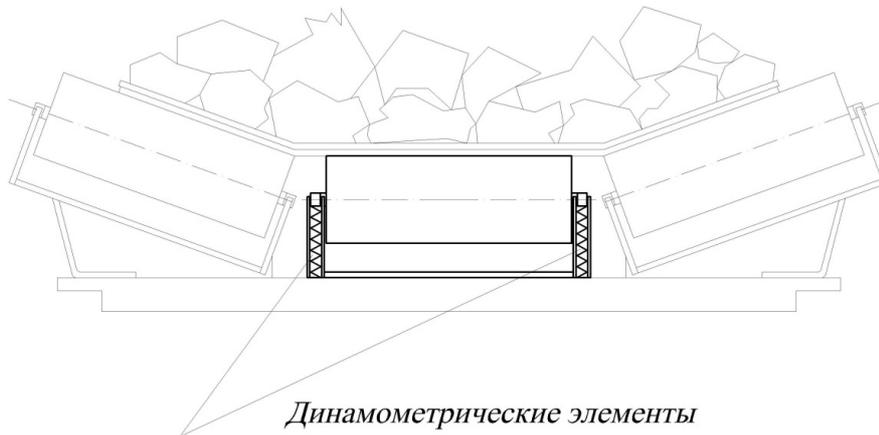


Рис. 2. Пружинные динамометрические элементы, совмещенные с центральным роликом желобчатой роликоопоры

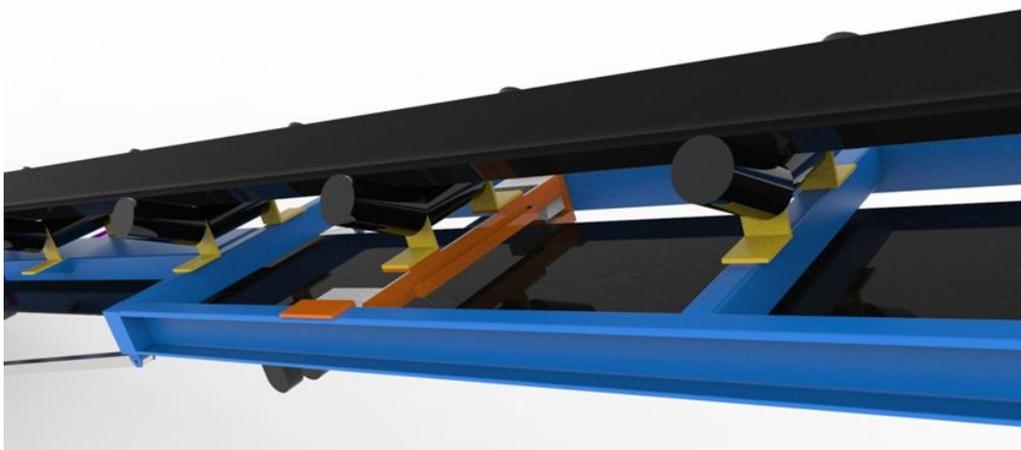


Рис. 3. Конвейерные весы, совмещенные с роликоопорой грузовой ветви

При замыкании всех датчиков системы 1 (рис. 1) включается привод натяжного устройства и перемещает натяжной барабан на расстояние 1. При замыкании всех датчиков системы 2 аналогично происходит включение привода натяжного устройства и перемещение натяжного барабана на расстояние 2. При замыкании системы датчиков 3 натяжной барабан перемещается на расстояние 3. При замыкании всех датчиков системы 3 датчики систем 1 и 2 будут соответственно уже замкнуты, так как настроены на меньшее усилие замыкания.

Последовательность работы дифференциального натяжного устройства можно описать следующим образом.

При поступлении на промежуточный привод груза, соответствующего производительности до $1/3$ полной производительности конвейера, датчики не срабатывают, натяжной барабан остается на месте. При увеличении грузопотока с превышением производительности конвейера более $1/3$ полной произ-

водительности с момента поступления груза на ленту последовательно замыкаются датчики системы 1 (рис. 1). Полностью система датчиков 1 будет замкнута при прохождении массы груза до конца промежуточного привода. В момент полного замыкания системы 1 происходит перемещение натяжного барабана на расстояние 1, тяговая лента получает соответствующее натяжение, определенное расчетом. В случае кратковременного увеличения грузопотока (порционное поступление груза на ленту) система датчиков 1 либо не успеет полностью замкнуться (привод натяжного барабана не включится), либо в скором времени начнет размыкаться при уменьшении грузопотока. В этом случае привод включится в реверсивном режиме и вернет натяжной барабан в исходное положение. При наличии коротких пустых промежутков в слое груза и необходимости поддержания измененного натяжения система датчиков может быть разделена на несколько параллельных частей (рис. 4).

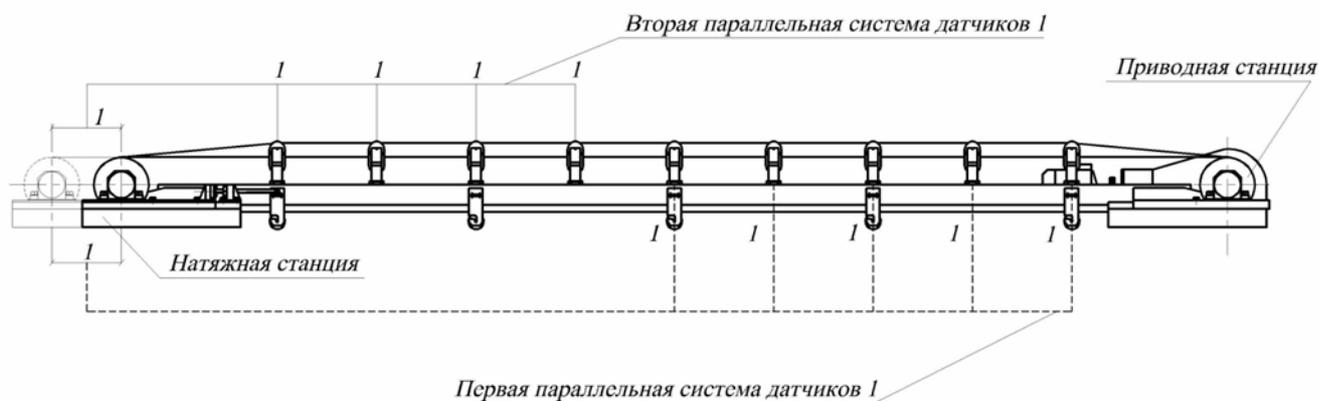


Рис. 4. Схема дифференциального натяжного устройства с двумя параллельными системами датчиков одного уровня

При попадании пустых промежутков в слое груза в первую параллельную систему датчиков 1 происходит размыкание какого-либо из датчиков этой системы, но замкнутая вторая параллельная система датчиков 1 не позволит осуществить обратное движение натяжного барабана. При переходе пустого промежутка в слое груза в зону второй параллельной системы датчиков 1 она размыкается, но в этот момент полностью замкнута первая параллельная система за счет стаби-

лизации грузопотока. Параллельные системы могут включать как несколько, так и одну точку установки динамометрических элементов вдоль трассы конвейера.

При увеличении грузопотока до значения $2/3$ реализуемой производительности начинает замыкаться система датчиков 2 при уже замкнутой системе 1. При полном замыкании системы 2 натяжной барабан переместится на расстояние 2, увеличив натяжение тяговой ленты. При уменьшении грузопотока на-

тяжной барабан вернется в исходное состояние при замкнутой системе датчиков 1.

При реализации конвейером полной производительности включится в работу система датчиков 3, функционирующая аналогично системам 1 и 2.

Ход натяжного устройства может регулироваться как концевыми выключателями, так и специализированными следящими устройствами (датчиками положения и т.п.).

Изменять положение передвижного опорного устройства натяжного барабана можно посредством различных типов приводов и натяжных механизмов.

Таким образом, обобщая предлагаемые варианты реализации линейной части дифференциальных натяжных устройств, можно выделить два концептуальных решения систем управления:

1) система управления с едиными контурами датчиков, каждый контур в которой настроен на реализацию одного дискретного параметра производительности (рис. 1);

2) система управления с разомкнутыми контурами датчиков, каждый контур в которой настроен на реализацию одного дискретного параметра производительности и имеет параллельно установленный двойник; датчики каждого из сдвоенных контуров устанавливаются сгруппировано в определенной части промежуточного ленточного привода (рис. 4).

Первое концептуальное решение проще в практической реализации, но применимо только в условиях стабильного грузопотока. Второе решение сложнее в практической реализации, но более удобно в случае нестабильного грузопотока.

Варианты реализации исполнительской части дифференциального натяжного устройства описаны автором в работе [1], в частности:

1) применение в качестве привода дифференциального натяжного устройства мотор-редукторов, непосредственно приводящих во вращение натяжные винты, играющие роль натяжных механизмов;

2) применение в качестве привода дифференциального натяжного устройства гидроцилиндров, соединенных с опорными уст-

ройствами натяжного барабана; недостатком данной конструкции является ограниченность длины штока гидроцилиндра; решением данной проблемы может являться последовательная установка гидроцилиндров, применение телескопических или длинноходовых гидроцилиндров;

3) применение в кинематической цепи конструкции дифференциального натяжного устройства между гидроцилиндром и опорным устройством натяжного барабана силового полиспаста, что позволяет в определенных диапазонах реализовывать значительные величины натяжений;

4) применение в качестве привода дифференциального натяжного устройства приводных лебедок различной конфигурации;

5) применение в качестве привода дифференциальных натяжных устройств электроцилиндров в различных конфигурациях – в номинальном виде и в сочетании с силовыми и скоростными полиспастами.

В структуре дифференциальных натяжных устройств могут применяться опорные натяжные тележки различной конфигурации. В структуру также может быть включено две тележки, одна из которых будет выполнять функцию компенсации вытяжки ленты, а другая – регулирования её натяжения [1].

В конструкции дифференциального натяжного устройства, показанной на рис. 5, нижнее винтовое натяжное устройство, непосредственно опирающееся на шасси тяжелой тележки, осуществляет функцию компенсации вытяжки тяговой ленты промежуточного ленточного привода. Вся конструкция тяжелой тележки перемещается в результате вращения нижних натяжных винтов. Верхнее натяжное устройство конструктивно встроено в натяжную тележку и посредством вращения верхних натяжных винтов перемещает тяжелой барабан относительно элементов тележки. Одна из опор барабана посредством рычага соединяется со ступенчатым концевым выключателем, регулирующим поэтапное изменение натяжения тяговой ленты промежуточного ленточного привода в зависимости от величины грузопотока.

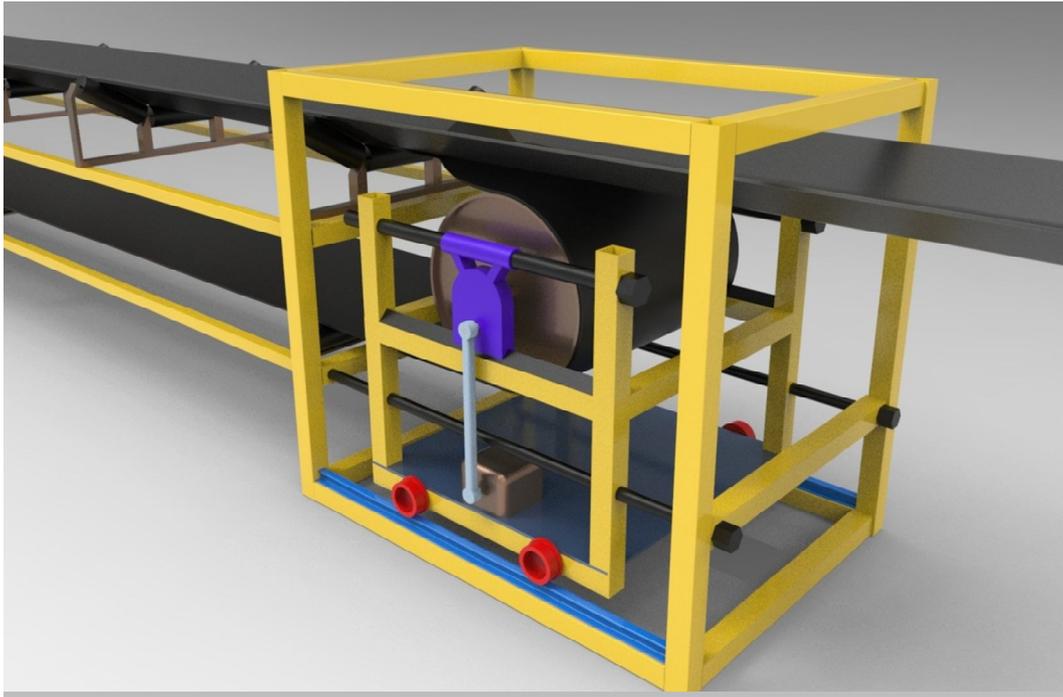


Рис. 5. Двухтележечная структура винтового дифференциального натяжного устройства

Двухтележечные дифференциальные натяжные устройства также могут оборудоваться гидравлическим, гидрополиспастным, лебедочным и другими типами описанных выше приводов.

4. Заключение.

Описанные в настоящей статье концептуальные решения систем управления дифференциальными натяжными устройствами ленточных конвейеров являются уникальными с позиции возможности их автономного применения, без интеграции в общую систему управления конвейером.

Принципиальное техническое решение, заложенное в конструкцию дифференциаль-

ных натяжных устройств, заключающееся в разделении натяжных элементов по исполняемым ими функциям (компенсация вытяжки ленты или регулирование рабочего натяжения при движении конвейера) позволяет внедрять во вновь разрабатываемые натяжные устройства проверенные и сравнительно несложные механические и электрические модули (концевые выключатели, конвейерные весы, динамометрические датчики), совокупная стоимость которых окажется значительно меньше стоимости разработки соответствующих программных компонентов для систем управления натяжными устройствами с их интеграцией в общую систему управления конвейерами.

Список литературы

1. Гончаров К. А. Тяговый расчет многоприводных ленточных конвейеров. Курск: ЗАО "Университетская книга", 2021. 271 с.
2. Гончаров К.А., Ивченко В.Н. Проектирование загрузочного бункера приемного ленточного передвижного бункера-питателя СПКБ 12-4 // Подъемно-транспортное дело. 2013. № 4. С. 2–5.
3. Дмитриева В.В., В.А. Орлов Математическая модель магистрального конвейера со случайным грузопотоком // Горный информационно-аналитический бюллетень. 1999. №1. С. 177–180.
4. Дьяченко В.П. Режим работы привода ленточного конвейера при случайном грузопотоке // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2013. №1. С. 175–179.
5. Шахмейстер Л.Г., Дмитриев В.Г. Вероятностные методы расчета транспортирующих машин. М: Машиностроение, 1983. 256 с.
6. Бухаров Р.А., Дмитриева В.В. Методика компьютерной имитации системы стабилизации тягового фактора ленточного конвейера // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2015. №51. С. 278–293.
7. Грачев В.В. Результаты исследования работы датчиков управления линейными промежуточными приводами многоприводного ленточного конвейера // Машины непрерывного транспорта: сб. науч. тр. М: ВНИИПТМАШ, 1971. Вып. 2. №11. С. 33–51.
8. Дмитриева В.В., Куанг Пьей, Вин Зо Поддержание величины тягового фактора ленточного конвейера с двухдвигательным // Современные наукоемкие технологии. 2015. №10. С. 20–28.
9. Дмитриева В.В. Синтез регулятора натяжения ленты для стабилизации тяговой способности привода ленточного конвейера // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2004. №11. С. 48–51.
10. Дмитриева В.В., Гершун С.В. Разработка математической модели ленточного конвейера с двухдвигательным приводом // Горный информационно-аналитический бюллетень, 2008. №8. С. 295–303.
11. Дмитриева В.В., Гершун С.В. Авто-

References

1. Goncharov K.A. *Tyagovyy raschet mnogoprivodnykh lentochnykh konveyerov* [Traction calculation of multi-drive belt conveyor]. Kursk, ZAO Universitetskaya kniga, 2021. 271 p. (In Russian)
2. Goncharov K.A., Ivchenko V.N. *Proektirovanie zagruzochnogo bunkera priemnogo lentochnogo peredvizhnogo bunkera-pitatatelya SPKB 12-4* [Designing of loading bunker of catching mobile belt feed bin SMCB 12-4]. *Podemno-transtortnoe delo*, 2013, No.4, pp. 2–5. (In Russian)
3. Dmitrieva V.V., Orlov V.A. *Matematicheskaya model magistralnogo konveyera so sluchainym gruzopotokom*. *Gorniy informacionno-analiticheskiy bulleten*, 1999, No.1, pp. 177-180. (In Russian)
4. Diachenko V.P. *Rezhim raboty privoda lentochnogo konveyera pri sluchaynom gruzopotoke* [Belt conveyor drive operating mode in case of random freight flow]. *Gorniy informatsionno-analiticheskiy bulleten*, 2013, No.1, pp. 175-179. (In Russian)
5. Shakhmeister L.G., Dmitriev V.G. *Veroyatnostnye metody rascheta transportiruischih mashin*. Moscow, Mashinostroenie, 1983. 256 p. (In Russian)
6. Bukharov R.A., Dmitrieva V.V. *Metodika komp'uternoi imitatsii sistemy stabilizatsii tyagovogo faktora lentochnogo konveyera* [The method of computer simulation of the stabilization system of the traction factor of belt conveyor]. *Gorniy informatsionno-analiticheskiy bulleten*, 2015, No.51, pp. 278-293. (In Russian)
7. Grachev V.V. *Rezultaty issledovaniya raboty datchikov upravleniya lineinymi promezhutochnymi privodami mnogoprivodnogo lentochnogo konveiera*. *Sbornik nauchnykh trudov "Mashiny nepreryvno go transporta"*. Moscow, VNIIPTMASH, 1971, Vol.2, No.11, pp. 33–51 (In Russian)
8. Dmitrieva V.V., Kuang Pei, Vin Zo. *Podderzhanie velichiny tyagovogo faktora lentochnogo konveyera s dvukhdvigatelnyim privodom*. *Sovremennye naukoemkie tehnologii*, 2015, No.10, pp. 20-28. (In Russian)
9. Dmitrieva V.V. *Sintez regulatora nat-*

матизация стабилизации величины тягового фактора магистрального ленточного конвейера с двухдвигательным приводом // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2010. №3. С. 246–256.

12. Пат. 126324 Российская Федерация, МПК В65G 15/08. Конвейер с подвесной лентой / Лагереv А.В., Дунаев В.П., Кулешов Д.Ю., Гончаров К.А.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Брянский государственный технический университет» №2012115924/11; заявл. 19.04.2012; опубл. 27.03.2013.

13. Рыжикова А.Г. Обоснование способов обеспечения устойчивой работы двухбарабанного привода мощных ленточных конвейеров для горной промышленности: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.06. М., 1985. 235 с.

14. Goncharov K.A., Grishin A.V. Theoretical study of influence of belt tension of intermediate belt conveyor drive on value of zone of relative slip of traction and carrying belts // IOP Conf Series: Earth and Environmental Science. 2017. Vol. 87. P. 022008.

15. Goncharov K.A., Denisov I.A. Maintenance of working capacity of movement mechanism of load trolley with linear traction electric drive of bridge type crane // IOP Conf Series: Earth and Environmental Science. 2017. Vol. 87. P. 062004.

16. Галкин В.И., Дмитриев В.Г., Дьяченко В.П. Современная теория ленточных конвейеров горных предприятий. М.: Изд-во «Горная книга». 2011. 545 с.

17. Галкин В.И., Сазанкова Е.С. Влияние физико-механических свойств лент на пусковые процессы ленточных конвейеров // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2014. № 6. С. 19–35.

18. Дмитриева В.В. Моделирование пуско-тормозных режимов ленточного конвейера // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2014. №5. С. 65–72.

19. Зюзев А.М., Кожушко Г.Г., Метельков В.П. Пусковые режимы электропривода ленточного конвейера с учетом ограничений по нагреву двигателя // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2012. №6. С. 71–75.

yazheniya lenty dlya stabilizatsii tyagovoi sposobnosti privoda lentochnogo konveyera. *Gorniy informatsionno-analiticheskiy bulletin*, 2004, No.11, pp. 48-51. (In Russian)

10. Dmitrieva V.V., Gershun S.V. Razrabotka matematicheskoy modeli lentochnogo konveyera s dvukhdvigatelnyim privodom. *Gorniy informatsionno-analiticheskiy bulletin*, 2008, No.8, pp. 295-303. (In Russian)

11. Dmitrieva V.V., Gershun S.V. Avtomatizatsia stabilizatsii velichiny tyagovogo faktora magistralnogo lentochnogo konveyera s dvukhdvigatelnyim privodom. *Gorniy informatsionno-analiticheskiy bulletin*, 2010, No.3, pp. 246-256. (In Russian)

12. Patent RU 126324. *Conveyor with suspended belt*. Lagerev A.V., Dunaev V.P., Kuleshov D.Yu. Goncharov K.A. Declared 19.04.2012. Published 27.03.2013. Bulletin No. 9. (In Russian)

13. Ryzhikova A.G. Obosnovanie sposobov obespecheniya ustoichivoi raboty dvuhbarabannogo privoda moschyh lentochnykh konveyerov dlya gornoy promyshlennosti: thesis of PhD in Technical Sciences: 05.05.06. Moscow, 1985. (In Russian)

14. Goncharov K.A., Grishin A.V. Theoretical study of influence of belt tension of intermediate belt conveyor drive on value of zone of relative slip of traction and carrying belts. *IOP Conf Series: Earth and Environmental Science*, 2017, Vol. 87, p. 022008.

15. Goncharov K.A., Denisov I.A. Maintenance of working capacity of movement mechanism of load trolley with linear traction electric drive of bridge type crane. *IOP Conf Series: Earth and Environmental Science*. 2017, Vol. 87, p. 062004.

16. Galkin V.I., Dmitriev V.G., Dyachenko V.P. *Sovremennaya teoriya lentochnykh konveyerov gornyh predpriyatii* [Actual theory of belt conveyors in mining]. Moscow, MSMU publishing company, 2011. 545 p. (In Russian)

17. Galkin V.I., Sazankova E.S. *Vliyanie fiziko-mehanicheskikh svoystv lent na puskovye protsessy lentochnykh konveyerov* [Influence of physical-mechanical properties of belt on the starting process of belt conveyor]. *Gorniy informacionno-analiticheskiy bulletin*, 2010, No.3, pp. 246-256. (In Russian)

20. Гончаров К.А., Денисов И.А., Ильин Е.И. Особенности динамического анализа механизма передвижения подвесной грузовой тележки мостового крана с линейным приводом // Вестник Брянского государственного технического университета. 2016. №3. С.115–122.
21. Каунг Пьей Аунг, Кубрин С.С., Певзнер Л.Д., Дмитриева В.В. Разработка системы управления скоростью движения ленты двухприводного ленточного конвейера // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2018. №3. С. 57–64.
22. Реутов А.А., Мясников А.А. Моделирование асинхронного электропривода с использованием программного комплекса «Универсальный механизм» // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2006. №9. С. 306–308.
23. Реутов А.А. Имитационное моделирование ступенчатого регулирования скорости конвейера // Проблемы недропользования. 2017. №2(13). С. 26–32.
24. Реутов А.А. Обеспечение загрузки конвейеров с регулируемой скоростью ленты // Вестник Брянского государственного технического университета. 2005. №3(7). С. 4–6.
25. Bebic M., Ristic L. Speed Controlled Belt Conveyors: Drives and Mechanical Considerations // Advances in Electrical and Computer Engineering. 2018. Vol. 18. № 1. P. 51–60.
26. Daijie He, Yusong Pang, Lodewijks G. Speed control of belt conveyors during transient operation // Powder Technology. 2016. Vol. 301. P. 622 – 631.
27. Daijie He, Yusong Pang, Lodewijks G. Determination of Acceleration for Belt Conveyor Speed Control in Transient Operation // IACSIT International Journal of Engineering and Technology. 2016. Vol. 8. №3. P. 206–211.
28. Лагерева А.В., Толкачев Е.Н., Бословяк П.В. Проектирование и исследования конвейеров с подвесной грузонесущей лентой. Брянск: РИО БГУ, 2016. 303 с.
29. Лагерева А.В., Толкачев Е.Н. Математическая модель конвейера с подвесной лентой, распределенным приводом и вертикально замкнутой трассой. Вестник Брянского государственного технического
18. Dmitrieva V.V. Modelirovanie pusko-tormoznyh rezhimov lentochnogo konveyera. *Gorniy informatsionno-analiticheskiiy bulletin*, 2014, No.5, pp. 65-72. (In Russian)
19. Zyuzev A.M., Kozhushko G.G., Metelkov V.P. *Puskovye rezhimy elektroprivoda lentochnogo konveyera s uchetom ogranicheniy po nagrevu dvigatelya* [Starting mode of electric conveyor belt, taking into account constraints on the heating of the engine]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gorniy zhurnal*, 2012, No.6, pp. 71-75. (In Russian)
20. Goncharov K.A., Denisov I.A., Ilyin E.I. *Osobennosti dinamicheskogo analiza mekhanizma peredvizheniya podvesnoy gruzovoy telezhki mostovogo kрана s lineinym privodom* [Dynamic analysis peculiarities of suspension truck travel in bridge crane with linear drive]. *Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2016, No.3, pp. 115-122. (In Russian)
21. Kaung Pyae Aung, Kubrin S.S., Pevzner L.D., Dmitrieva V.V. *Razrabotka sistemy upravleniya skorostyu dvizheniya lenty dvukhprivodnogo lentochnogo konveyera* [Development of a control system for the speed of the belt of a two-drive belt conveyor]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gorniy zhurnal*, 2018, No.3, pp. 57-64. (In Russian)
22. Reutov A.A., Gershun S.V. Modelirovanie asinkhronnogo elektroprivoda s ispolzovaniem programmno kompleksa ‘Universalnyi mehanizm’. *Gorniy informatsionno-analiticheskiiy bulletin*, 2006, No.9, pp. 306-308. (In Russian)
23. Reutov A.A. *Imitatsionnoe modelirovanie stupenchatogo regulirovaniya skorosti konveyera*. [Simulation of the conveyor speed step control]. *Problemy nedropolzovaniya*, 2017, No.2 (13), pp. 26-32. (In Russian)
24. Reutov A.A. Obespechenie zagruzki konveyerov s reguliruemoy skorostyu lenty. *Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2005, No.3 (7), pp. 4-6. (In Russian)
25. Bebic M., Ristic L. Speed Controlled Belt Conveyors: Drives and Mechanical Considerations. *Advances in Electrical and Computer Engineering*, 2018, Vol. 18, No. 1, pp.

университета. 2014. №3. С. 44-52.

30. Лагереv А.В., Толкачев Е.Н., Гончаров К.А. Моделирование рабочих процессов и проектирование многоприводных ленточных конвейеров. Брянск: РИСО БГУ, 2017. 384 с.

31. Гончаров К.А. Сравнительный стоимостной анализ комплектаций приводов ленточных конвейеров // Энерго-ресурсосберегающие технологии и оборудование в дорожной и строительной отраслях: материалы междунар. науч.-практ. конф., Белгород, 15–17 октября 2020 г. Белгород: Изд-во БГТУ, 2020. С. 101–107.

51–60.

26. Daijie He, Yusong Pang, Lodewijks G. Speed control of belt conveyors during transient operation. *Powder Technology*, 2016, Vol. 301, pp. 622–631.

27. Daijie He, Yusong Pang, Lodewijks G. Determination of Acceleration for Belt Conveyor Speed Control in Transient Operation. *IACSIT International Journal of Engineering and Technology*, 2016, Vol. 8, No. 3, pp. 206–211.

28. Lagerev A.V., Tolkachev E.N. Mathematical model of a special conveyor with suspended belt and distributed drive. *Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2014, No.3, pp. 44-52. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.1302231> (In Russian)

29. Lagerev A.V., Tolkachev E.N., Boslovyak P.V. *Proektirovanie i issledovaniya konveyerov s podvesnoy gruzonesushchey lentoy* [Design and research of the conveyor with hanging ribbon]. Bryansk, RIO BGU, 2016. 303 p.

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.1197308> (In Russian)

30. Lagerev A.V., Tolkachev E.N., Goncharov K.A. *Modelirovanie rabochkih protsessov i proektirovanie mnogoprivodnykh lentochnykh konveyerov* [Modeling of work processes and the design of multi-drive belt conveyor]. Bryansk, RIO BGU, 2017. 384 p. (In Russian)

31. Goncharov K.A. *Sravnitelnyi стоимостnoi analiz komplektatsii privodov lentochnykh konveyerov* [Comparative cost analysis of belt conveyors drive sets]. In: *Energoresursosberegayushchie tekhnologii i oborudovanie v dorozhnoy i stroitelnoy otraslyakh: materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*, Belgorod, 15–17 oktyabrya 2020 g., Belgorod: BGTU, 2020, pp. 101-107. (In Russian)