

Научная статья

УДК 7.021.23 : 625.7 + 62-529

DOI: 10.26730/1816-4528-2023-6-50-59

Исаков Владимир Семенович¹, Носенко Алексей Станиславович², Исакова Екатерина Владимировна¹, Ерейский Андрей Владимирович^{1,*}

¹ Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова,

² Шахтинский автодорожный институт (филиал) Южно-Российского государственного политехнического университета (НПИ) имени М.И. Платова

*E-mail: av_e1975@mail.ru

ТЕНДЕНЦИИ ПРИМЕНЕНИЯ ЗАМКНУТЫХ КИНЕМАТИЧЕСКИХ КОНТУРОВ В МОДУЛЯХ ГОРНЫХ, СТРОИТЕЛЬНЫХ И ПОДЪЕМНО-ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН



Информация о статье

Поступила:

22 ноября 2023 г.

Одобрена после

рецензирования:

30 ноября 2023 г.

Принята к печати:

01 декабря 2023 г.

Опубликована:

21 декабря 2023 г.

Ключевые слова:

автономное транспортное замкнутая кинематическая цепь, замкнутый кинематический контур, предварительное напряжение контура, нагрузитель

Аннотация.

В статье рассмотрены возможности повышения эффективности применения замкнутых кинематических контуров в конструкциях механизмов горных, строительных, подъемно-транспортных машин. В настоящее время машины и механизмы, включающие в конструкцию замкнутый кинематический контур, недостаточно эффективно используют его свойства ввиду отсутствия систематизации конструкции и типовых методик расчета параметров замыкания контуров. Авторами представлены разновидности механизмов с замкнутым кинематическим контуром и рассмотрены возможности их применения с учетом различных усилий нагружения в зависимости от сферы применения. Проведен анализ конструкций основных видов нагрузителей кинематических цепей, обеспечивающих напряжение в контуре. В работе представлены результаты экспериментальных исследований применения замкнутого кинематического контура в конструкции лабораторного стенда для резки проволоки, подтвердившие эффективность его применения и позволившие определить рациональные усилия предварительного напряжения для резки различных материалов. Таким образом, применение замкнутого кинематического контура с возможностью регулирования усилия нагружения в зависимости от условий эксплуатации позволяет повысить качество выполнения технологических процессов, снизить энергоемкость, улучшить рабочие качества и характеристики горных, строительных, подъемно-транспортных машин.

Для цитирования: Исаков В.С., Носенко А.С., Исакова Е.В., Ерейский А.В. Тенденции применения замкнутых кинематических контуров в модулях горных, строительных и подъемно-транспортных машин // Горное оборудование и электромеханика. 2023. № 6 (170). С. 50-59. DOI: 10.26730/1816-4528-2023-6-50-59, EDN: PGFHSL

Введение.

Во многих механизмах горных, строительных, подъемно-транспортных и других технологических машин находят применение замкнутые кинематические цепи (ЗКЦ), образующие так называемые замкнутые кинематические контуры (ЗКК).

По определению ЗКЦ – это система звеньев, связанных между собой кинематическими парами, причем каждое звено входит не менее чем в две

кинематические пары [1]. Таким образом, в структуре механизма появляется один или несколько замкнутых контуров. ЗКК [1] – совокупность последовательно соединенных звеньев, в которой любое из звеньев соединено с двумя другими звеньями. Если учесть, что каждое звено способно входить в три и более кинематических пар, разнообразие структур можно считать бесконечным. Кинематика и систематизация ЗКЦ представлены в работах И.И.

Артоболевского, Л.В. Ассур, В.В. Добровольского, А.И. Тайнова, А.Ф. Крайнего, Д.П. Волкова, А.С. Антонова, К. Рота, А.Н. Дровникова, Л.Т. Дворникова и других.

Однако в технике принято использовать только целесообразное количество контуров с целью минимизации затрат и достижения максимального эффекта. Изучение контурного строения механизмов конкретных транспортных, горных, строительных и технологических машин, их систематизация и практическое применение подтверждают наличие у них особых свойств (по терминологии, предложенной в работах Н.С. Воробьева [2], С.А. Кузнецова [3] и др.). При всем многообразии применения отдельных механизмов с напряженными ЗКЦ, опыта проектирования и результатов научных исследований в различных областях машиностроения, широкого распространения они не получили по ряду причин: отсутствие типовых методик расчета ЗКЦ и величины предварительного напряжения для различных конструкторских задач; отсутствие теоретических обобщений и общей методологии проектирования механизмов и машин с ЗКЦ и предварительным статическим, регулируемым или динамическим напряжением; отсутствие систематизации механизмов с ЗКЦ по техническим эффектам, структуре и области применения. В этой связи и с учетом высокой эффективности отдельных разработок тема является актуальной и значимой для теории и практики создания горных, строительных, подъемно-транспортных и технологических машин.

Области применения и разновидности механизмов с ЗКЦ.

Широкое распространение механизмы с предварительно напряженными ЗКЦ получили в конструкциях машин, работающих при больших резко переменных нагрузках и требующих устранения негативного влияния зазоров в кинематической цепи привода и трансмиссии на технологический процесс. Предварительное напряжение в ЗКЦ создается и фиксируется благодаря наличию специального натяжного устройства, ограничивающего или устраняющего зазоры в зубчатых передачах, муфтах и т.п., а также создающего статическое нагружение валов. В металлургических машинах таким способом снижают динамические ударные нагрузки в приводе при задаче обрабатываемого слитка в валки при его прокатке, захвате листа валками листопрокатных станков и т.д. Активная выборка зазоров позволяет улучшить качество обработки и снизить ударные нагрузки на привод. В данных механизмах используется в основном предварительное статическое напряжение.

В ряде технологических машин, например фрезерных станках, отрезных автоматах [4] при выходе режущего инструмента и изменении силы резания возникают интенсивные колебания, отрицательно влияющие на качество продукции, а в некоторых случаях приводящие к разрушению инструмента. Исследования, проведенные в этой области И.А. Гидасповым, В.Л. Вейцем, Г.В. Царевым и др., подтвердили, что использование предварительного напряжения в механизмах с ЗКЦ является наиболее

эффективным методом исключения зазоров и их влияния на процесс резания. При этом основным расчетным параметром является величина предварительного напряжения элементов ЗКЦ, обеспечивающая исключение зазоров при критических нагрузках и минимизацию износа в элементах кинематических пар. Такие требования привели к идее использования переменного напряжения в ЗКЦ, что реализовано в ряде стендов на трение и износ, вращателях и центрователях буровых установок [2], системах разгрузки пролетных металлоконструкций мостовых кранов, тормозных устройствах [6, 8, 9], исполнительных механизмах манипуляторов [1], замковых соединениях и т.д.

Как было отмечено выше, распространенным объектом применения ЗКК являются машины для испытаний на трение и износ, предельный ресурс деталей, механизмов и модулей под нагрузкой. Общий принцип таких машин – создание напряжения (постоянного или переменного, изменяемого в ходе испытаний) в ЗКК, образованном двумя испытуемыми объектами. При этом замыкающая трущаяся пара (второй испытуемый объект) образует пассивную связь, которая не препятствует движению звеньев, но обеспечивает заданную нагрузку на поверхностях трущихся деталей. Приводной двигатель сообщает движение звеньям, испытывая только сопротивление сил трения на испытуемых деталях и в подшипниках стенда. В разомкнутых схемах двигатель дополнительно преодолевает нагрузку, создаваемую специальным нагрузочным устройством. Таким образом, мощность приводного двигателя для машин с ЗКК согласно исследованиям [11, 12] составляет для тяжелых режимов нагружения 5-10% от мощности двигателя при разомкнутых схемах.

Исследованиями в области полезного использования напряженного ЗКК и создания натяжных устройств в различных конструкциях испытательных стендов занимались К. Кутцбах, Х.Рикли, А.Ф. Крайнев, Р.М. Брумберг, К.Д. Шабанов, А.И. Соловьев, Ф.С. Зазян, В.Н. Кудрявцев, Н.Х. Атанасов и многие другие.

Предварительное напряжение в пролетных металлоконструкциях мостовых кранов используется в основном для компенсации прогиба балки под действием собственного веса. Однако при оборудовании балки дополнительными рычагами, создании ЗКК и дополнительного напряжения в нем можно компенсировать прогиб, формируемый от массы поднимаемого груза. При этом величина дополнительного напряжения должна зависеть не только от массы груза, но и от его положения на балке [12, 15]. Такие устройства позволяют повысить точность позиционирования груза и снизить металлоемкость пролетного строения.

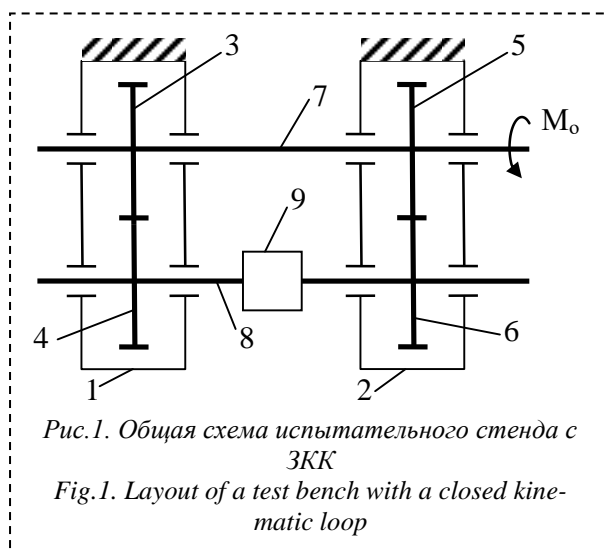
Зажимные и стопорные устройства, в том числе и с ЗКК, приведены в работах К. Хойна, К. Рота, С.А. Кузнецова [3]. В частности, в работе [13] реализована идея создания каталога готовых технических решений, представленных в виде схем и таблиц, приведены варианты силового и геометрического замыкания ЗКК.

Значительное количество конструкторских разработок с использованием напряженного состояния ЗКК относится к механизмам резки, измельчения, прессования.

Таким образом, анализ существующих направлений полезного использования напряженных ЗКК в общем машиностроении, горных, строительных и подъемно-транспортных машинах позволяет сделать следующие выводы: конструкции с ЗКК позволяют создать в их элементах постоянное или переменное напряжение, статическое или динамическое, которое позволяет улучшить рабочие качества и характеристики машин, работающих в различных отраслях промышленности; в ряде конструкций за счет использования предварительного напряжения ЗКК удается снизить энергоемкость, улучшить качество технологических процессов; недостаточная изученность, разнообразие объектов применения, вариативность конструкций и способов использования ЗКК с напряженными элементами требует дополнительных исследований, теоретических обоснований и практических рекомендаций для использования в инженерной практике.

Особенности схемных решений стенов с ЗКК для испытания механизмов на трение и износ

Одной из первых известных реализаций эффекта ЗКК с предварительным напряжением в конструкции испытательного стенов на трение и износ считают, так называемую машину Х. Рикли (примерно 1911 год). Общий принцип, кратко описанный в первом разделе, сохраняется во всех последующих конструкциях стенов. Рассмотрим его на простейшем примере (Рис. 1).



Шестерни 3 – 4 и 5 – 6 попарно соединены между собой. Вал 7 может быть выполнен единым или состоять из двух валов, соединенных через муфту. Вал 8, образующий замыкающую связь, выполнен разрезным и снабжен нагрузочным устройством 9. В общем случае шестерни могут быть заключены в корпуса 1 и 2.

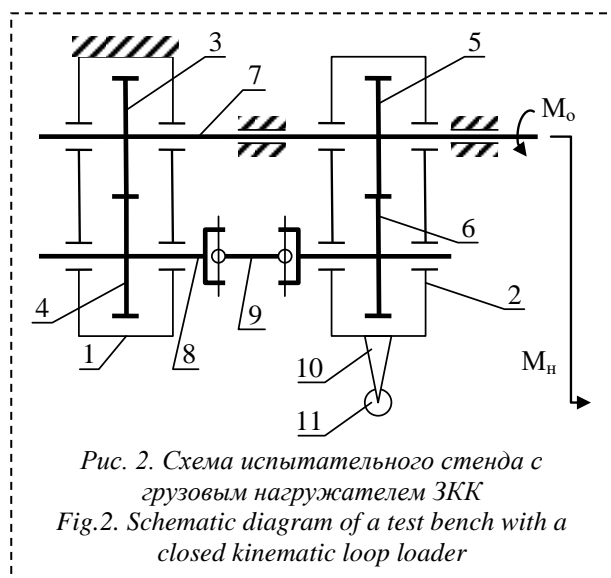
При помощи нагрузочного устройства 9 разрезанные части вала 8 закручиваются в разные стороны на определенный угол и фиксируются в этом положении. В качестве нагрузочного устройства чаще всего используется дифференциальная муфта. Таким

образом, между зубьями шестерен 3 – 4 и 5 – 6 создается предварительное напряжение, соответствующее заданным условиям эксперимента. Величина момента M_0 , необходимого для прокручивания системы, значительно меньше, чем крутящий момент, созданный между шестернями.

Дальнейшие работы были направлены на улучшение натяжных устройств – нагрузочных, снижение габаритов стенов, минимизацию энергетических потерь, удобство фиксации показателей.

В частности, Д.П. Волковым и А.Ф. Крайневым [13] была рассмотрена и предложена классификация нагрузочных с фрикционными элементами управления, обеспечивающими различные законы изменения нагрузки в контуре. В дальнейшем многими авторами предлагались гидравлические, пневматические, грузовые нагрузочные, не учтенные в классификации.

Грузовое нагружение обеспечивается при перекосе одного из редукторов на определенный угол. На Рис. 2 представлена схема такого устройства.



Шестерни 3, 4, 5, 6 соединены аналогично предыдущему случаю. Корпус редуктора 1 закреплен неподвижно, а редуктор 2 допускает вращение относительно вала 7. При подвешивании на рычаг 10 груза 11 корпус редуктора 2 поворачивается на определенный угол, создавая предварительное напряжение в контуре моментом M_n . Для разгрузки вала 8 от изгибающего момента между разрезанными его частями вставлен кардан.

Преимуществом подобных устройств является простота и возможность изменять величину предварительной нагрузки. В общем случае груз можно заменить резьбовой стяжкой, рычагом, гидроцилиндром. На Рис. 3 представлены основные виды нагрузочных.

Ряд испытательных стенов позволяет периодически накапливать энергию и расходовать ее для определенных режимов работы. Так, например, предложена установка для испытания рессор автомобилей на усталость путем многократной их осадки до заданного количества циклов (Рис. 4).

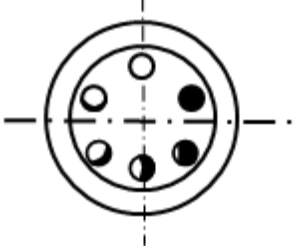
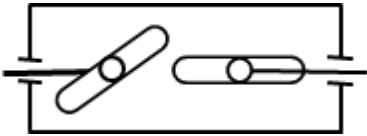
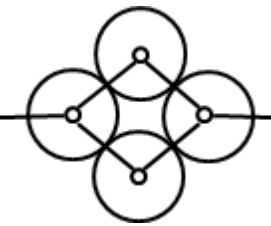
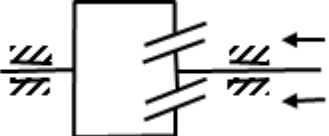
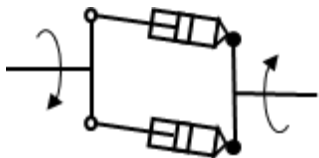

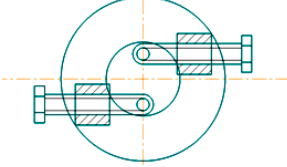
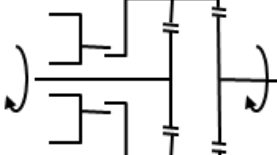
	С дифференциальной муфтой
	С винтовой муфтой
	С зубчато-рычажным механизмом
	С зубчато-рычажным механизмом
	С пневмомеханическим нагрузителем
	С гидродвигателем вращательного действия
	С винтовым натяжителем
	С планетарным редуктором

Рис. 3. Основные виды нагрузителей, используемых в машинах для испытаний на трение и износ
Fig. 3. Main types of loaders used in friction and wear testing machines

Две противоположно расположенные рессоры замкнуты на приводной коленчатый вал, что позволяет при работе использовать накопленную потенциальную энергию одной рессоры для деформации второй. Кинематическая схема пресса состоит из сварной станины 1, имеющей плоскость разреза по оси коленчатого вала 2, фрикционной муфты 3 с ручным механизмом включения, стола 4 для установки рессор 5 и датчика 6 счета числа оборотов коленчатого вала 2.

Ряд испытательных стендов позволяет периодически накапливать энергию и расходовать ее для определенных режимов работы. Так, например,

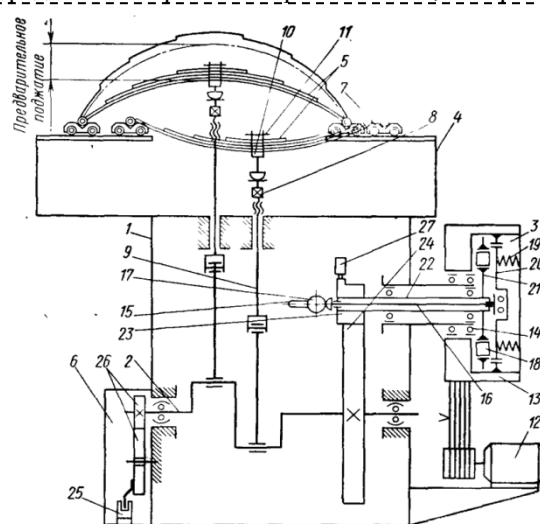


Рис. 4. Схема установки для испытания рессор
Fig. 4. Layout of the spring testing unit

предложена установка для испытания рессор автомобилей на усталость путем многократной их осадки до заданного количества циклов (Рис. 4).

Две противоположно расположенные рессоры замкнуты на приводной коленчатый вал, что позволяет при работе использовать накопленную потенциальную энергию одной рессоры для деформации второй. Кинематическая схема пресса состоит из сварной станины 1, имеющей плоскость разреза по оси коленчатого вала 2, фрикционной муфты 3 с ручным механизмом включения, стола 4 для установки рессор 5 и датчика 6 счета числа оборотов коленчатого вала 2.

Испытываемые рессоры 5 закрепляются на катках 7, перемещающихся по направляющим стола 4. Предварительное поджатие рессоры на заданную величину осуществляется винтом 8, который ввинчивается в ползун 9. Для соединения винта 8 с рессорой используются стремянки 10, накладки 11 и гайки, которыми рессора крепится на автомобиле.

При включении электродвигателя 12 муфта 3 выключена, и маховик 13 свободно вращается на подшипниках 14. При этом рукоятка 15 расположена горизонтально, шток 16 эксцентриком 17 смещен вправо, и фрикционные вкладыши 18 освобождены, так как пружины 19 сжаты ведущим диском 20.

При включении муфты рукоятка 15 переводится в вертикальное положение, и эксцентрик 17

освобождает шток 16. Ведущий диск 20 под действием пружин 19 смещается влево, и вкладыши 18, зажатые между поверхностями маховика 13 и ведущего диска 20, передают вращение через ведомый диск 21, пустотелый вал 22, шестерни 23 и 24 коленчатому валу 2. Мощность приводного двигателя затрачивается на прокручивание системы и компенсацию механических потерь. Предварительное напряжение контура осуществляется регулировочным винтом.

Анализируя особенности схемных решений и конструкций стендов с ЗКК для испытания механизмов на трение и износ, можно заключить, что основным элементом всех схем является нагружатель, обеспечивающий заданное напряжение в контуре, которое в зависимости от решаемых задач может быть:

- по характеру нагружения: статическим силовым, статическим грузовым, динамическим (импульсным, переменным) силовым, динамическим пневмосиловым, динамическим гидросиловым;
- по конструктивному исполнению: рычажные, зубчато-рычажные, косозубые, винтовые, пневмомеханические, гидравлические, гидромеханические, кинематические.

В зависимости от характера нагружения энергию, передаваемую в ЗКК, можно накапливать в пружинном или ином накопителе и использовать в связанных ЗКК исполнительных органах за вычетом неизбежных потерь. Анализ технических решений испытательных стендов на трение и износ позволяет сделать вывод о достаточно широком и эффективном применении напряженных ЗКК, а также создает предпосылки расширения области их применения, т.е. аналогичные схемы могут быть использованы не только в испытательных стендах, но и в технологических и транспортных машинах.

Особенности схемных решений технологических машин с напряженными ЗКК

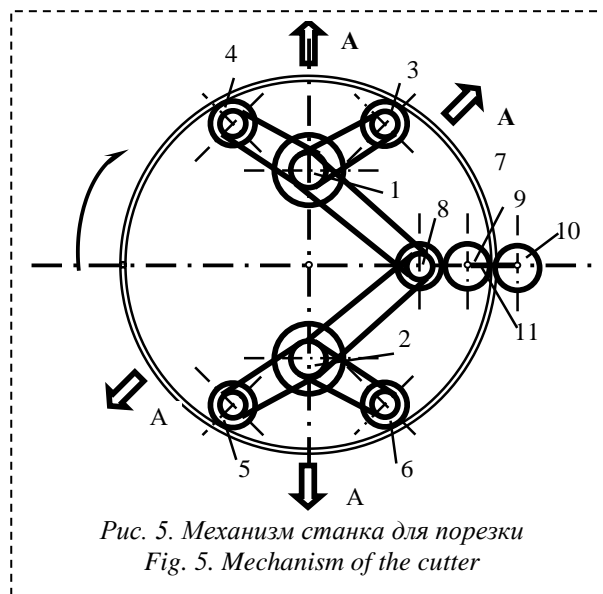
Преимущества технологических машин, в конструкциях которых использованы ЗКК, отмечены многими авторами [5, 7, 10]. Например, повышение эффективности работы канатовой машины за счет снижения энергозатрат и увеличения КПД [14] достигнуто за счет применения замкнутого гидромеханического контура, образованного тормозными гидронасосами, регулируемым гидромотором, тормозными шкивами и прядями каната. Энергия, затрачиваемая на создание напряжения прядей, циркулирует от тормозных гидронасосов в виде потока рабочей жидкости к регулируемому гидромотору и от него возвращается в виде механической энергии вновь к тормозным гидронасосам. Мощность электродвигателя затрачивается на компенсацию потерь в системе привода.

Механизм с ЗКК станка для порезки твердосплавной и металлокерамической плитки представлен на Рис. 5. Механизм включает: инструментальный блок, состоящий из двух электродвигателей 1 и 2, четырех шпиндельных головок 3, 4, 5, 6, соединенных с двигателями клиноременными передачами, транспортный блок, состоящий из барабана 7, прижимных роликов (или зубчатых колес) 9, 10,

соединенных через вал 8 с двигателями 1 и 2, и систему управления.

Барабан 7 установлен на станине через опорное кольцо, обеспечивающее его вращение от приводных роликов 9, 10 или зубчатого колеса 9. Разрезаемые пластинки зафиксированы в специальных кассетах на стенках барабана. Кассета является универсальной и обеспечивает порезку специальной плитки в широком размерном диапазоне.

Основные двигатели 1 и 2 связаны клиноременными передачами с блоками отрезных дисков 3, 4, 5,

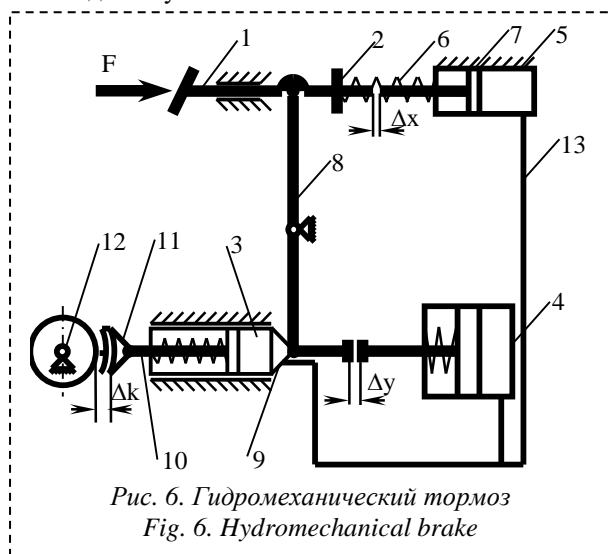


6. Расположение кассет на барабане выбрано таким образом, что при разрезании плитки блоками 3 и 5 блоки 4 и 6 находятся на холостом ходу, то есть в пространстве между кассетами. В момент выхода из плитки блоков 3 и 5 блоки 4 и 6 находятся в процессе резания, причем так, что суммарная длина реза остается постоянной. Следовательно, изменение нагрузки на двигатели 1 и 2 в момент входа-выхода режущего инструмента практически не происходит. С целью снижения энергоемкости, обеспечения постоянной скорости резания и исключения динамической нагрузки при зарезании диска в следующую заготовку барабан и режущие органы составляют напряженные ЗКК: 8-2-5-7-3-1-9 или 8-2-6-7-4-1-9. Двигатели 1 и 2 в свою очередь связаны клиноременной передачей, с роликом 8, соединенным через замкнутые тягой 11 ролики 9-10, осуществляющие привод барабана. Общий вал ролика 8 замыкает в вышеуказанных контурах двигателя 1 и 2. При снижении нагрузки на одном из режущих блоков вращательный момент перераспределяется. Предварительное напряжение создается за счет натяжных роликов 9 и 10, кинематически связанных с роликом 8, и усилия резания отрезных дисков. Технический эффект состоит в создании непрерывного процесса резания и исключения динамических воздействий на инструмент.

На Рис. 6 показана принципиальная схема гидромеханического тормоза, предложенного авторами статьи. Привод содержит тормозную педаль 1 с упором 2, механический усилитель в виде рычага 3, гидравлический усилитель в виде двух гидроцилиндров

4 и 6, рабочие полости 5 и 7 которых через гидролинии 8 соединены с подвижным исполнительным гидроцилиндром 9, поршень 10 которого через шток 11 связан с колодкой 12. Входным звеном гидравлического усилителя является гидроцилиндр 4, содержащий поршень 14 со штоком 15, взаимодействующие с упором 2 тормозной педали 1 через пружину 16, выходным – гидроцилиндр 6, содержащий поршень 17 со штоком 18 и пружиной 19.

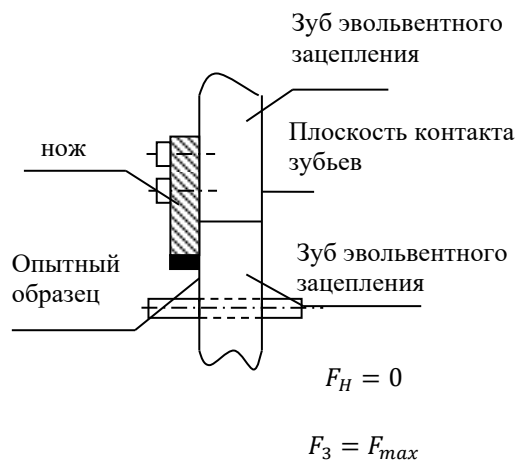
Таким образом, образуется замкнутый гидромеханический контур, включающий: механический усилитель 3 – исполнительный гидроцилиндр 9 – гидролиния 8 – гидроусилитель 4 и 6 – пружина 16 – упор 2 – механический усилитель 3. Колодка 12 взаимодействует с колесом 13.



При нажатии на тормозную педаль 1 рычаг 3 механического усилителя перемещает исполнительный гидроцилиндр 9 с поршнем 10, штоком 11 и колодкой 12, выбирая зазор Δk между колесом 13 и колодкой 12. когда зазор Δk будет выбран полностью, в подвижном исполнительном гидроцилиндре 9 при дальнейшем нажатии на тормозную педаль 1 создается повышенное давление, которое по гидролинии 8 передается в гидроцилиндры 4 и 6 гидравлического усилителя. При достижении давлением в полостях 5 и 7 гидроцилиндров 4 и 6 гидравлического усилителя величины, достаточной для преодоления усилия сжатия пружин 16 и 19, выбираются зазоры Δx и Δy . Дальнейшее повышение давления в цилиндре 9 идет и по механической ветви, и гидравлической за счет разницы в диаметрах поршней исполнительного цилиндра 9 и цилиндра 6, являющегося выходным звеном гидравлического усилителя, обеспечивается дополнительное усилие на колодке 12.

После снятия усилия с педали 1 давление в полости исполнительного цилиндра 9 снижается. Смещение поршня 10 в исходное положение происходит под действием пружин 16 и 19. Техническим результатом является повышение эффективности и снижение энергоемкости процесса торможения. В работе [5] приведены результаты экспериментальных исследований различных tandemно-сочлененных транспортных средств, оборудованных тормозными системами с ЗКЦ. При условии оптимизации

а)



б)

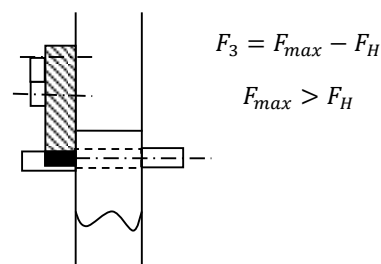
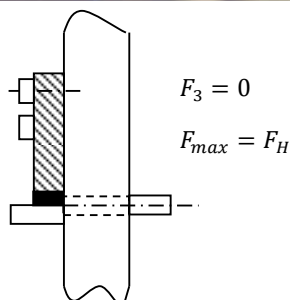
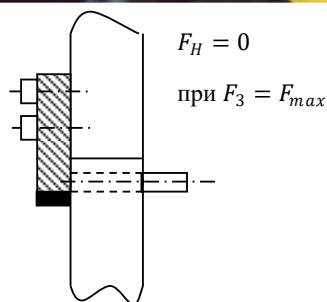
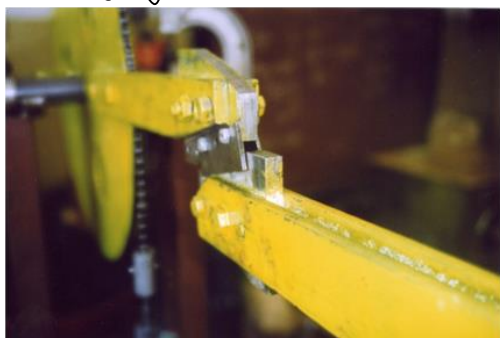


Рис. 7. Резание образца на стенде: F_H – усилие на ноже; F_3 – усилие между зубьями зацепления; F_{max} – суммарное усилие, создаваемое стяжкой и приводным механизмом. а) до резания; б) в начале резания; в) в момент предельной нагрузки при резании; г) после резания
Fig. 7. Cutting of the sample on the bench: F_H – force on the knife; F_3 – force between the gear teeth; F_{max} – total force created by the coupler and the drive mechanism. а) before cutting; б) at the beginning of cutting; в) at the moment of ultimate cutting load; г) after cutting

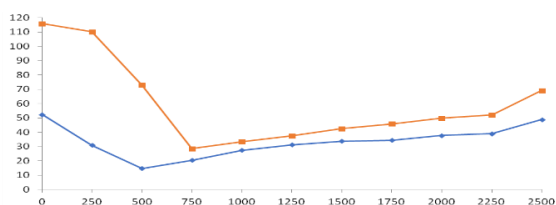
в)



г)



Продолжение Рис. 7
Fig. 7 continued

F_p, Н

Величина предварительного напряжения, Н

Рис. 8. Зависимость усилия на приводном рычаге от величины предварительного напряжения: 1 – для образца из алюминия; 2 – для образца из меди.

Fig. 8. Dependence of force on the drive arm on the prestress value: 1 – for aluminum sample; 2 – for copper sample.

параметров тормоза достигается эффект самоторможения с обеспечением величины тормозного момента, пропорционального массе прицепного устройства.

Принципиальная схема лабораторного стенда для резки проволоки разработана на основе эвольвентного зубчатого зацепления и установленных параллельно зубьям ножей [5]. Замыкание контура произведено за счет установки дополнительных звездочек, соединенных цепью с барабанами исполнительного органа и резьбовым натяжным устройством. Рабочая нагрузка (вращение исполнительного органа) плавно изменяется от нуля до величины, достаточной для приведения системы в движение и выполнения технологической операции. В качестве объектов испытания выбраны образцы из проволоки алюминиевой диаметром 2,7 мм и медной – 2,2 мм.

В начальный момент (Рис. 7а) усилие между ножом и образцом равно нулю. Напряжение в контуре передается через эвольвентное зацепление. После соприкосновения ножа и образца (Рис. 7б) усилие на зубьях эвольвентного зацепления снижается и одновременно возрастает на ноже, начинается процесс резания. Если величина напряжения контура выбрана оптимальной, то при максимальной нагрузке на ноже усилие на зубьях отсутствует (Рис. 7в). После резания образца нагрузка на ноже снижается до нуля, а напряжение замкнутого контура передается через эвольвентное зацепление (Рис. 7г).

Полученная экспериментально наиболее рациональная величина предварительного напряжения (Рис. 8) для образца из алюминия составила 500Н. При этом относительное снижение усилия на приводном рычаге составило 71,7%. Для образца из меди наиболее рациональным явилось предварительное напряжение 750Н. При относительном снижении усилия на приводном рычаге 75,4%.

Заключение.

Таким образом, результаты апробации различных технологических машин и проведенные экспериментальные исследования подтверждают возможность и эффективность использования предварительно напряженных ЗКК в технологических машинах. Учитывая различную физическую природу выполняемых процессов, следует отметить, что рациональная величина предварительного напряжения ЗКК не является постоянной величиной, а должна определяться конкретными условиями работы, физическими свойствами обрабатываемых материалов, особенностями технологических процессов. Поэтому при проектировании должна быть предусмотрена возможность регулировки предварительного напряжения контура в широком диапазоне или адаптивная система управления напряжением в контуре непосредственно в рабочем процессе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Крайнев А. Ф. Словарь-справочник по механизмам. 2-е изд., переработ. и доп. М. : Машиностроение, 1987. 560 с.

2. Воробьев Н. С. Механизмы с замкнутым энергетическим потоком. Львов : Вища школа, изд-во при Львовском университете, 1983. 144 с.

3. Кузнецов С. А., Дровников А. Н. Интегральные механизмы индифферентной структуры. Анализ и синтез. Южно-Рос. гос. техн. ун-т. Новочеркасск : ЮРГТУ, 1999. 99 с.

4. Исаков В. С., Ерейский А. В., Ерейская Е. А., Дегтярева К. А. Параметрические исследования энергонакопительного торможения транспортных средств // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). 2022. Вып. 2 (69). С. 53–59

5. Deriglazov V. S., Isakov V. S., Isakova O. V., Ereysky A. V. Tendencies of non-assur mechanisms use in the structure of technological machines. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Volume 1103, International Scientific Conference Interstroyemeh (ISM 2020) 17th-18th December 2020. Samara, Russia. DOI: 10.1088/1757- 899x/1103/1/012003

6. Zhu L., Hu K. Research on battery supercapacitor hybrid energy storage control scheme for mine electric locomotive // Journal of Physics: Conference Series. IOP Publishing. 2019. Т. 1303. №. 1. С. 012070.

7. Xu D. [et al.] Research on Energy Dissipation Laws of Coal Crushing under the Impact Loads // Shock and Vibration. 2021. Т. 2021. DOI: 10.1155/2021/5563196

8. Зубенко В. Л., Цфас Б. С. Силовой анализ зубчатой передачи с замкнутым энергетическим потоком // Информационное обеспечение, адаптация,

динамика и прочность систем–74. Куйбышев : Куйбышевское кн. изд-во, 1976. с. 297-309.

9. Polnik B. [et al.] Energy recuperation as one of the factors improving the energy efficiency of mining battery locomotives // Management Systems in Production Engineering. 2020. Т. 28. №. 4. С. 253–258.

10. Вейц В. Л., Гидаспов И. А., Царев Г. В. Динамика приводов с замкнутыми кинематическими цепями. Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 1991. 180 с.

11. Хрущев М. М. Лабораторные методы испытаний на изнашивание материалов зубчатых колес. – М. : Машиностроение, 1966. 152 с.

12. Исаков В. С., Исакова Е. В. Синтез устройств компенсации прогиба металлоконструкции мостового крана. // Мировые тенденции развития науки и техники: пути совершенствования: Материалы X Междунар. науч.-практ. конф. (Москва, 29 декабря 2022 г.) в 3-х ч. Ч. 1. М. : ООО «Пресс-центр», 2022. С. 211–212.

13. Волков Д. П., Крайнев А. Ф. Трансмиссии строительных и дорожных машин: справочное пособие. М. : Машиностроение, 1974. 424 с.

14. Канатовьющая машина / А. И. Бутов, М. Н. Хальфин, В. А. Рыжиков, Б. Ф. Иванов: а.с. 168234 РФ.- №4687045; Заявл. 10.05.89; Опубд. 07.10.91, Бюл.№37.

15. Адамович Н. О., Куклин С. А., Купцов Н. В. К вопросу о кинематическом исследовании секции механизированной крепи // Наукосфера. 2021. №4(1). С.132–137.

© 2023 Автор. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Об авторах:

Исаков Владимир Семенович¹, доктор технических наук, заведующий кафедрой, Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, (346428, Россия, Ростовская обл., г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132)

Носенко Алексей Станиславович, доктор технических наук, профессор, Шахтинский автодорожный институт (филиал) Южно-Российского государственного политехнического университета (НПИ) имени М.И. Платова, (346500, Россия, Ростовская обл., г. Шахты, пл. Ленина, 1)

Исакова Екатерина Владимировна¹, аспирант, Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, (346428, Россия, Ростовская обл., г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132)

Ерейский Андрей Владимирович^{1,*}, кандидат технических наук, доцент, Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, (346428, Россия, Ростовская обл., г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132), e-mail: av_e1975@mail.ru

Заявленный вклад авторов:

Исаков Владимир Семенович - постановка исследовательской задачи, научный менеджмент, концептуализация исследования, выводы.

Носенко Алексей Станиславович – постановка исследовательской задачи, научный менеджмент, концептуализация исследования, выводы.

Исакова Екатерина Владимировна – концептуализация исследования, сбор и анализ данных, обзор соответствующей литературы, написание текста.

Ерейский Андрей Владимирович – обзор соответствующей литературы, написание текста, оформление статьи.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Vladimir S. Isakov, Alexey S. Nosenko, Ekaterina V. Isakova, Andrey V. Ereyskiy

¹ Platov South Russian State Polytechnic University (NPI),² Shakhty Road Institute (branch) of Platov South Russian State Polytechnic University (NPI)

*E-mail: av_e1975@mail.ru

TRENDS IN THE APPLICATION OF CLOSED KINEMATIC LOOPS IN THE MODULES OF MINING, CONSTRUCTION, AND LIFTING-AND-CONVEYING MACHINES



Article info

Received:

22 November 2023

Accepted for publication:

30 November 2023

Accepted:

01 December 2023

Published:

21 December 2023

Keywords: closed kinematic chain, closed kinematic loop, prestressing of the circuit, loader.

Abstract.

The article considers the possibilities of increasing the efficiency of closed kinematic loops in the mechanisms of mining, construction, and lifting-and-conveying machines. Currently, machines and mechanisms with closed kinematic loop do not use its properties effectively enough due to the lack of systematisation of the design and typical methods of calculating the parameters of loop closure. The authors present a variety of mechanisms with closed kinematic loops and consider the possibilities of their application taking into account different loading forces depending on the application. The authors present varieties of mechanisms with a closed kinematic circuit and consider the possibilities of their application taking into account different loading forces depending on the application sphere. We analysed the designs of the main types of loaders of kinematic loops, which provide stress in the loop. The paper presents the results of experimental studies of application of the closed kinematic loop in a laboratory bench for wire cutting. It confirmed the effectiveness of its application and allowed us to determine the rational prestressing force values for cutting various materials. Thus, the application of the closed kinematic loop with the possibility to regulate the loading force depending on the operating conditions makes it possible to improve the quality of technological processes, reduce energy consumption, improve the performance and characteristics of construction, lifting-and-conveying, and mining machines.

For citation: Isakov V.S., Nosenko A.S., Isakova E.V., Ereyskiy A.V. Trends in the application of closed kinematic loops in the modules of mining, construction, and lifting-and-conveying machines. Mining Equipment and Electromechanics, 2023; 6(170):50-59 (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1816-4528-2023-6-50-59, EDN: PGFHSL

REFERENCES

1. Krainev A.F. Slovar'-spravochnik po mekhanizmam [Dictionary and Reference-Book on Mechanisms]. 2nd edition, updated and revised. Moscow: Mashinostroenie; 1987. 560 p.
2. Vorobyev N.S. Mekhanizmy s zamknutym energeticheskim potokom. [Closed energy flow mechanisms]. Lviv: Vishcha shkola, Lviv University Publishing House; 1983. 144 p.
3. Kuznetsov S.A., Drovnikov A.N. Integral'nye mekhanizmy indifferentnoi struktury. Analiz i sintez [Integral mechanisms of indifferent structure. Analysis and synthesis] / South Russian State Technical University. Novocherkassk: YuRGU; 1999. 99 p.
4. Isakov V.S., Ereyskiy A.V., Ereyskaya E.A., Degtyareva K.A. Parametric studies of accumulative braking of vehicles. *Vestnik Moskovskogo avtomobilno-*

dorozhnogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta (MADI). 2022; 2 (69):53–59.

5. Deriglazov V.S., Isakov V.S., Isakova O.V., Ereyskiy A.V. Tendencies of non-assur mechanisms use in the structure of technological machines. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Volume 1103, International Scientific Conference Interstroyemeh (ISM 2020) 17th-18th December 2020. Samara, Russia. DOI: 10.1088/1757-899x/1103/1/012003

6. Zhu L., Hu K. Research on battery-supercapacitor hybrid energy storage control scheme for mine electric locomotive. *Journal of Physics: Conference Series*. IOP Publishing, 2019; 1303(1):012070.

7. Xu D. [et al.] Research on Energy Dissipation Laws of Coal Crushing under the Impact Loads. *Shock and Vibration*. 2021; 2021. DOI: 10.1155/2021/5563196

8. Zubenko V.L., Tsfas B.S. Silovoi analiz zubchatoi peredachi s zamknutym energeticheskim potokom. [Force analysis of a gear with closed energy flow]. Informatsionnoe obespechenie, adaptatsiya, dinamika i prochnost' system]. Kuybyshev: Kuibyshevskoe kn. izd-vo; 1976. No. 74. Pp. 297–309.
9. Polnik B. [et al.] Energy recuperation as one of the factors improving the energy efficiency of mining battery locomotives. *Management Systems in Production Engineering*. 2020; 28(4):253–258.
10. Veyts V.L., Gidasov I.A., Tsarev G.V. Dinamika mashinnykh agregatov s samotormozyashchimisya peredachami [Dynamics of machine assemblies with self-sustaining gears]. Saransk: Izd-vo Mordov. un-ta; 1991. 180 p.
11. Hrushchov M.M. Laboratornye metody ispytaniya na iznashivanie materialov zubchatykh koles [Laboratory test methods on wear of materials of gear wheels]. Moscow: Mashinostroenie; 1966. 152 p.
12. Isakov V.S., Isakova E.V. Sintez ustroystv kompensatsii progiba metallokon-struktsii mostovogo

- krana [Synthesis of deflection compensation devices for bridge crane metal structure]. *World trends in the development of science and technology: Ways to improve. Proceedings of the 10th International Scientific and Practical Conference (Moscow, 29 December 2022)* in 3 parts. P. 1. Moscow: OOO "Press-Tsentr"; 2022. Pp. 211–212.
13. Volkov D.P., Krainev A.F. Transmissii stroitel'nykh i dorozhnykh mashin. Spravochnoe posobie [Transmission construction and road machines. Handbook]. Moscow: Mashinostroenie; 1974. 424 p.
14. Kanatov'yushchaya mashina [Wire rope closing machine]. Butov A.I., Khalfin M.N., Ryzhikov V.A., Ivanov B.F.: a.s. 168234 RF. No.4687045; Presented: 10.05.89; Published: 07.10.91, Byul.No.37.
15. Adamovich N.O., Kuklin S.A., Kuptsov N.V. K voprosu o kinematicheskom issledovanii sek-tsii mekhanizirovannoi krep'i [On the issue of kinematic study of powered support]. *Naukosfera*. 2021; 4(1):132–137.

© 2023 The Author. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

The author declares no conflict of interest.

About the author:

Vladimir S. Isakov¹, Dr. Sc. in Engineering, Head of Department, Platov South Russian State Polytechnic University (NPI), (132 Prosveshcheniya St., 346428, Novocherkassk, Rostov Region, Russia)

Alexey S. Nosenko², Dr. Sc. in Engineering, Professor, Shakhty Road Institute (branch) of Platov South Russian State Polytechnic University (NPI), (1 Lenin Sq., 346500, Shakhty, Rostov Region, Russia)

Ekaterina V. Isakova¹, postgraduate student, Platov South Russian State Polytechnic University (NPI), (132 Prosveshcheniya St., 346428, Novocherkassk, Rostov Region, Russia)

Andrey V. Ereyskiy^{1,*}, C. Sc. in Engineering, Associate Professor, Platov South Russian State Polytechnic University (NPI), (132 Prosveshcheniya St., 346428, Novocherkassk, Rostov Region, Russia), e-mail: av_e1975@mail.ru

Contribution of the authors:

Vladimir S. Isakov – formulation of a research task in co-authorship; scientific management; conceptualization of research; formulation of the conclusion.

Alexey S. Nosenko – formulation of a research task in co-authorship; scientific management; conceptualization of research; formulation of the conclusion.

Ekaterina V. Isakova – conceptualization of research; data collection and analysis; review of relevant literature; writing a text.

Andrey V. Ereyskiy – review of relevant literature; writing a text; the design of the article.

Author have read and approved the final manuscript.

