

АННОТАЦИЯ

диссертации на соискание степени доктора философии (PhD) по направлению подготовки 8D071 - «Инженерия и инженерное дело», по образовательной программе 8D07101 - «Машиностроение»

Асмағамбет Диана Кенжебайқызы

Тема диссертационной работы: «Исследование и разработка конструкции поворотного конвейера на основе обеспечения взаимодействия шарнирных соединений».

Актуальность диссертационной работы. В Казахстане запасы угля, залегающие в идеальных горно-геологических условиях, заканчиваются. Применение поворотных скребковых конвейеров решает эту проблему и вовлекает в разработку забалансовые запасы полезных ископаемых. Поворот става скребкового конвейера на 90° вносит новые кинематические связи, изменяет динамику системы и напряженно-деформированное состояние шарнирных систем разворота става конвейера с любого рештака, без чего невозможно определение зон износа, прочности и надежности деталей.

Методики расчета таких задач, основанных на многотельной динамике движения применительно к конвейерным поворотным системам отсутствуют, а наличие зоны поворота из группы рештаков с возможностью осуществить это начиная с любого, резко меняет характер нагружения става в виду отпора скребков, что существенно затрудняет возможности их проектирования и расчета. Упрощения же методики при сведении задач к движению одного тела искажает полученные результаты, приводит к нетехнологичности конструкции: поломкам скребков и износу контактирующих зон. Поэтому решение задачи на основе имитационного моделирования многотельной динамической шарнирной системы с применением дискретизации уравнений динамики и метода конечных элементов сочетанием с осциллографированием рабочих процессов и замеров его параметров при последовательной сборке конвейера является актуальным направлением исследований. При этом обеспечения технологичности конструкций заключается в воздействии на ее множество параметров, которое приводит к технологической рациональности, наследованию и долговечности.

Гипотезой исследования является предположение о возможности осуществления поворота на 90° става конвейера за счет соединения рештаков шарнирами, разнесенными по бокам и устойчивом движении скребков с роликами, контактирующими с их бортами при обеспечении технологичности конструкции.

Цель исследования: разработка, моделирование и исследование новой поворотной шарнирной системы скребкового конвейера с обеспечением её оптимальной сборки, прочности и возможности работы в роботизированных режимах.

Объект исследования: шарнирная система рештаков во взаимодействии с тяговым органом и методика имитационного моделирования новой конструкции поворотного скребкового конвейера.

Предмет исследования: особенности формирования нагрузки на шарнирные соединения поворотного конвейера для определения зон интенсивного нагружения деталей, их износа и прочности.

Для достижения цели решены следующие задачи:

- анализ конструктивных схем, технологических условий обеспечения взаимодействия поворотных шарнирных систем конвейеров, сборки, обеспечивающих работоспособность конструкции;
- разработка методики имитационного моделирования движения скребкового тягового органа и става в зоне поворота конвейера для анализа напряженно-деформированного состояния, износа контактных зон и прочности конструкции;
- создание цифровых моделей механических устройств для использования в базах данных при изготовлении и эксплуатации;
- разработка методики экспериментальных исследований и их проведение для новой двух приводной системы полноразмерного конвейера с гидродомкратами натяжения с ходом до 0,5 м и малых стендов;
- разработка технологии сборки сложной конструкции конвейера с применением многомерных классификаций для баз данных.

Методы исследования:

- системный анализ поворотных систем конвейера, при определении способов повышения технологичности разрабатываемых механизмов, путей улучшения их структуры, сборочных процедур с выявлением их особенностей, управления в базах данных с инфологическими моделями многомерных классификаций;
- методы линеаризации уравнений динамики и конечно-элементных технологий в пакетах Adams и Mechanical APDL (Ansys) с учетом ускоренного движения деталей, при определении напряженно-деформированного состояния, зон предельного состояния материала и возможного износа;
- методы проведения экспериментальных исследований на основе современной регистрирующей аппаратуры: гидродатчиков, частотного преобразователя, осциллографа, серийного и разработанного стендового оборудования, нагрузочных устройств и элементов, имитирующих протягивание конвейера с видеозаписью исследуемых динамически изменяющихся процедур и контролем износа контактных зон.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

На основе впервые разработанных методики имитационного моделирования нагруженности двух приводного поворотного конвейера с гидравлическим натяжением, при ускоренном движении его элементов и методики движения тягового органа со скребками вдоль бортов рештаков в зоне поворота, повернутых друг относительно друга на угол до 15° установлены:

- распределения, ускорений и опорных усилий скребков, которые возрастают при приближении к стыку рештаков, достигая величины до 0,45 кН;

- зависимости распределения опорных реакций в шарнирах группы рештаков в зоне поворота на 90° и получено тяговое усилие величиной до 40 кН;

Установлено, что технологический зазор между рештаками в 8-9 мм, упрощая конструкцию, обеспечивает реверсивный режим работы конвейера и являясь случайной величиной с нормальным законом распределения обуславливает использование метода неполной взаимозаменяемости сборки, при этом в расчетном выражении учитывают угловые поперечные и продольные смещения торцов и требуется доработка вертикальных торцов бортов на конечной стадии их изготовления;

Установлено, что напряженно-деформированное состояние бортов при движении ролика скребка не вызывает их дальнейшего пластического деформирования при диаметре не менее 40 мм, что обеспечивает малогабаритность конструкции, режим работы с реверсом;

Впервые разработаны конструктивные и кинематические схемы узлов поворота рештаков при натяжении скребкового тягового органа гидравлической системой с ходом штоков до 0,5 м с оснащением торцов скребков роликами, отвечающих требованиям технологичности, оптимальной сборки, долговременной эксплуатации и патентной новизны.

Научные положения, выносимые на защиту:

- безопасная работа конвейера при въезде в камеру достигается при предельных поворотах соседних рештаков не превышающих 20 градусов, а в среднем установленных, на уровне 15 градусов, поворот и движение става изменяют характер взаимодействия скребков с его бортами, в зонах шарнирных соединений, а их идентификация проявляется в осциллограммах давления гидроцилиндров натяжения за счет возникновения пакетов пульсаций, характеризующих особенности контактных зон, распределения нагрузок и их износ;

- на стадии проектирования новой машины совокупный учет изготовления, сборки, ремонта её узлов, конструктивной приспособляемости к новым технологиям применения и программным инновациям продлевает долговечность на 15-20 лет, обеспечивает технологичность, уменьшает ремонтные площади и облегчает возможности роботизации основных процессов работы;

- создание модели поворота многотельной системы с шарнирно связанными узлами в объемной среде было достигнуто за счет сложной компьютерной имитации этого процесса, с использованием пакета динамического моделирования, осуществляющего выбор уравнений движения, исходя из элементов вводимых в модель и конструирования их связей, при этом для каждой модели выполнены: обоснование области существования, влияние разрывов механической системы, контроль решений,

экспериментальная проверка результатов на стендах и полноразмерном образце конвейера в процессе последовательного подсоединения к ставу рештаков с увеличением их суммарного угла разворота до 90 градусов, получено совпадения моделируемых и реальных параметров с не превышением допускаемых отклонений.

Автор защищает:

- методику проведения имитационного моделирования движения става конвейера с поворотными и поворотно-поступательными шарнирами, при ускорениях адекватных движению за комбайном в камеру, а также тягового органа со скребками, в зоне разворота става на 90° и пар рештаков на угол не более 15° с определением зон интенсивного износа при контакте деталей;

- методику расчета технологического зазора между рештаками в зоне движения ролика скребка, и особенности сборок: способ сборки при мелкосерийном и серийном изготовлении става конвейера;

- многомерную классификацию базы данных для повышения эффективности анализа сборки, кинематических связей и анализа структуры данных о нагруженности деталей;

- результаты экспериментальных исследований.

Практическая значимость работы заключается в:

- разработке и реализации двух режимов сборки поворотного конвейера: при серийном выпуске поворотного конвейера и при выпуске мелкими партиями.

В первом случае производится станочная обработка стыковочных поверхностей в целом всего рештака для обеспечения нулевого размера технологического зазора в линейном состоянии и 8-9 мм при повороте рештаков на 15 градусов с не превышением отклонения от прямого угла бокового листа в 0,5 градуса поперек и вдоль их сечения.

Для второго случая с подработкой поверхностей зазора на местах и дополнением метода неполной взаимозаменяемости группировкой деталей по параметрам отверстий:

- методике конструктивного анализа с применением многомерных классификаций, подготовки и сохранения данных, схем сборки, расчета надежности и стоимости в базе данных;

- методике стендовых и заводских испытаний малого и полноразмерного поворотного конвейера в зоне поворота с асинхронным и гидравлическим приводом с современной регистрирующей аппаратурой при поэтапном подключении к сборке новых групп рештаков и участков тягового органа.

- результаты проведенных исследований используются и в учебном процессе КарТУ для дисциплин связанных с проектированием технологических машин и в частности для дисциплин бакалавриата образовательной программы 6В07111 «Проектирование и конструирование горных машин», «САПР ГМО», а также магистратуры образовательных программ 6В07111, 6В07104 «Спец Курс ЭВМ», «Средства и системы имитационного моделирования горного оборудования». Кроме того, итоги

внедрения научно-практических результатов диссертации, планируются использоваться в будущих проектах, реализуемых в ТОО «KazTechPro». Акт внедрения имеется.

Соответствие направлениям развития науки или государственным программам

Диссертация выполнена в рамках Государственной программы по развитию машиностроения в Республике Казахстан (2020-2025гг.) и гранта МОН РК по теме №AP05134441 «Разработка, изготовление и испытание новой конструкции поворотного узла конвейера с поворотом грузопотока на угол до 90° в плоскости почвы выработки для систем забойной выемки и криволинейных выработок», по приоритету: Энергетика и машиностроение, на соискание степени доктора философии PhD по направлению подготовки 8D071 - «Инженерия и инженерное дело», по образовательной программе 8D07101 - «Машиностроение».

Публикаций и апробация работы

Полученные в диссертации результаты научных исследований зарегистрированы в акте внедрения результатов научных исследований в производственную деятельность в ТОО «KazTechPro» и в учебном процессе для дисциплин бакалавриата образовательной программы 6B07111 «Проектирование и конструирование горных машин», «САПР ГМО», а также магистратуры образовательных программ 6B07111, 6B07104 «Спец Курс ЭВМ», «Средства и системы имитационного моделирования горного оборудования». Также был представлен сертификат автора о прохождении научной стажировки (г.Кемерево, Россия). За время написания диссертации получен 1 Евразийский патент и 1 патент на изобретения Казахстана.

Основные научные положения отражены в 9 печатных работах. Из них 2 статьи - в журналах, входящих в базу данных Scopus, 3 статьи, в журналах, входящих в перечень изданий, представленных Комитетом по обеспечению качества в сфере науки и высшего образования Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан, 2 тезиса международной конференции.

В статье «Исследование поворотной системы для выемки камер» в журнале Уголь, входящем в базу Scopus, DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-6-55-60> автор разработал базу данных многомерных классификаций с возможностью расчета надежности, сборки и стоимости работ с моделированием взаимодействия деталей, исследовала вопросы технологичности горных машин, в том числе при конструктивной приспособляемости к новым способам применения и продления их жизненного цикла.

В статье «Моделирование камерной выемки с уступной формой забоя» в журнале Уголь, DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2021-1-14-20> рассмотрела вопросы проведения экспериментальных исследований в стендовых и заводских испытаниях поворотного конвейера, а также схему его применения.

В статье «Разработка шарнирной системы поворотного конвейера» в журнале «Вестник Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева, серия Технические науки и технологии» автор предложил и исследовал систему поворотно-поступательных шарниров на базе гидравлических домкратов и установил зоны износа их штоков при наличии эксцентричной нагрузки.

В статье «Исследование особенностей работы систем поворота конвейера в плоскости транспортирования» журнала Вестник Восточно-Казахстанского технического университета имени Д. Серикбаева (Вестник ВКТУ), Научный журнал серия технические науки и технологии исследовала формирование множества нагрузок на шарнирные системы поворотного конвейера, их распределения и максимальные значения, особенности конструктивного исполнения и новые схемы работы, разработала сборочный регламент на стапели деталей рештаков поворотного конвейера и особенности сборки в линейном и развернутом состоянии рештаков. Важный момент сборки обеспечение нулевых зазоров между рештаками в линейном положении, и не более 8-9 мм после поворота на 15° для этого предложена стапельная сборка конвейера, этапы которой фиксируются в базе данных. Стендовые исследования, конструктивный анализ по полученным результатам с учетом запусков полномасштабного макета приводной с мотор-редуктором и гидравлической натяжной системами поворотного конвейера показывают адекватность методики моделирования реальным условиям работы.

Структура и объем диссертации

Данная диссертационная работа состоит из следующих частей - введения, 4 разделов, заключения, списка использованных источников и 3 приложений. Диссертация изложена на 165 страницах машинописного текста, содержит 83 рисунка, 2 таблиц и список использованной литературы, состоящий из 92 наименований.

Результаты исследования и основные выводы. Научными исследованиями в диссертации получены новые данные и закономерности, обеспечивающие решение важной прикладной задачи: разработки конструкции, технологических условий обеспечения взаимодействия шарнирных соединений поворотного скребкового конвейера, которые обеспечат поточное транспортирование твердых минералов при их выемке коротким забоем для вовлечения в добычу сложнзалегающих запасов угля, объемы которых не менее добытых.

По проведенным исследованиям и их обобщению получены следующие выводы:

1. Установлено, что проектирование новой техники должно учитывать возможности эффективных схем сборки, монтажа и демонтажа, изготовления узлов (их технологичность), что подтверждает и опыт их разработки в карагандинском регионе. Это предотвращает искажение структуры машиностроительных заводов их механосборочных цехов и станочного

оборудования, что приводит к возрастанию к длительности эксплуатации до 15-20 лет.

2. Принципам технологичности отвечает разработанная вертикально замкнутая конструкция конвейера с центрально расположенной тяговой цепью и боковым расположением поворотной и поворотной-поступательных шарниров, что обеспечило минимальные габариты по ширине не более 1 м, а применение роликов на скребках обеспечило отсутствие роста зон пластического деформирования при их диаметре не менее 40 мм, для технологического зазора между рештками 8-9 мм. Существенным элементом повышения длительности жизненного цикла системы является расширения области применения для выемки сложно залегающих запасов угля.

3. При создании имитационных моделей в MS Adams для движения участков цепи со скребками вдоль рештаков и через их стыки и самих рештаков в зоне поворота в соответствии с теорией Эйлера-Лагранжа новые решения требуют определения области их существования. Как следует из анализа уравнений движения системы это связано с тем, что для многотельной системы условие голономности механизмов при повороте става из выработки в камеру для некоторых узлов может быть нарушенным. В частности, требуется учет перехода скребка из одного рештака в другой за счет изменения его начальной скорости в новом положении. Множественные данные шарнирной системы, определяющие изменение состояния конвейера располагаются в базе данных, которая для структурного описания объектов конвейера выполнена на основе многомерных классификаций для автоматизированных систем.

4. Разработана технология сборки ограниченной партии (стапельная сборка) с улучшением её точности конструктивной доработкой зазора по месту и за счет группировки деталей по отклонениям от средних величин размеров сборочной цепи, например, диаметров отверстий $d_1, d_2 \dots d_i$ проушин и величин сближений центра их осей к поверхности борта конвейера.

5. При серийном изготовлении может применяться сборка с последующей станочной обработкой стыковых поверхностей рештака в их собранном состоянии. Технологический зазор определяется расчетом в $3d$, со средней величиной 8-9 мм, является случайным с нормальным законом распределения, при этом использование метода неполной взаимозаменяемости рекомендуется для серийного изготовления.

6. Безопасное движение ролика скребка достигается при диаметре не менее 40 мм, что обеспечивает малогабаритность конструкции, режим работы с реверсом при отсутствии зон роста пластического деформирования материала.

7. Установлены методики расчета режимов движения тяговой цепи с опиранием скребков о борт конвейера в зоне разворота и вычисления реакций в шарнирах става, при этом максимальное значение возникает на головном рештаке, с тяговым усилием в 40 кН.

8. Проведены промышленные испытания шарнирных систем поворотного конвейера и обосновано устойчивое движение скребков одноцепного

конвейера в зоне поворота, что подтвердило результаты имитационного моделирования движения скребков вдоль бортов решета и става конвейера в след за комбайном при повороте става на угол до 90°.

9. Получено соответствие результатов теоретических расчетов, имитационного моделирования в программе Adams и Ansys с производственным экспериментом.

10. Работа была выполнена в рамках Государственной программы по развитию машиностроения в Республике Казахстан (2020-2025гг.) и при подготовке и выполнения гранта МОН РК «Разработка, изготовление и испытание новой конструкции поворотного узла конвейера с поворотом грузопотока на угол до 90 градусов в плоскости почвы выработки для систем забойной выемки и криволинейных выработок».

11. Разработанные приемы имитационного моделирования и их программы, исследования напряжённо-деформированное состояние деталей и зоны интенсивного износа, технические регламенты сборки учтены в Задании на разработку стенда – скребкового поворотного конвейера в полноразмерном исполнении с асинхронным двигателем и гидроприводом натяжного устройства, который является основой для создания опытного промышленного образца поворотного конвейера для камерной выемки.