

## **АННОТАЦИЯ**

диссертационной работы на соискание степени доктора философии (PhD)  
по специальности 6D071200 – «Машиностроение»

**Шаяхметова Ержана Ярнаровича**

### **«КОНСТРУКТИВНОЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА РОЛИКООПОР ЛЕНТОЧНЫХ КОНВЕЙЕРОВ РАБОТАЮЩИХ В ТЯЖЕЛЫХ УСЛОВИЯХ»**

**Актуальность темы исследования.** Тема диссертации «Конструктивное и технологическое обеспечение качества роlikоопор ленточных конвейеров работающих в тяжелых условиях» соответствует согласно Государственной программе индустриально-инновационного развития Республики Казахстан на 2015-2019 годы (Указ президента Республики Казахстан от 1 августа 2014 года №874) одному из приоритетных секторов машиностроения - производство машин и оборудования для горнодобывающей промышленности. Согласно статистическим данным ГПИИР по этому сектору за 2008-2013 годы наблюдается степень износа основных средств до 38% за 2013 год, а одной из проблем является низкая конкурентоспособность производимой продукции: по цене – если сравнивать с Китаем и Россией, по качеству и производительности - со странами дальнего зарубежья. И выпуск качественного и конкурентоспособного оборудования стоит очень остро.

Из опыта эксплуатации ленточных конвейеров на горнорудных предприятиях (добыча угля, известняка, гравия, различных рудных пород) известно, что большинство из них работает в условиях высокой влажности, запыленной среды, при этом в ходе эксплуатации эти факторы оказывают свое негативное влияние на узлы конвейеров. На долю роликов приходится до 40% всех затрат на ремонт и обслуживание и до 30% от стоимости всего конвейера. От их надежной работы зависит, как долго прослужит конвейерная лента, и сколько будет потреблять энергии вся конвейерная система. К роликам предъявляют высокие требования. Они должны быть недорогими, надежными; у них должно быть минимальное сопротивление вращению, они должны обеспечивать центрирование ленты; задавать ленте необходимую желобчатость и благоприятные условия работы. Таким образом, ролики являются одной из важнейших составляющих, которые определяют работоспособность и надежность, энергоэффективность и пожаробезопасность ленточного конвейера, их качество влияет на долговечность ленты, которая является одним из дорогостоящих элементов конвейера (на ленту приходится около 60% всех эксплуатационных расходов). Следовательно, повышение надежности и долговечности опорных роликов конвейерных установок является актуальной задачей.

**Цель диссертационной работы.** Конструктивное и технологическое обеспечение качества опорных роликов ленточных конвейеров работающих в тяжелых условиях.

**Основные задачи:**

- систематизировать и провести анализ патентной и научно-технической информации о конструкциях роликов, технологии их изготовления и сборки, определить перспективность предлагаемых конструкций;
- разработать новые конструкции опорных роликов ленточных конвейеров, определить суммарные нагрузки, действующие на ролики новой конструкции;
- выполнить анализ напряженно-деформированного состояния ролика при переменном нагружении методами компьютерного моделирования;
- выполнить анализ технологии изготовления деталей опорных роликов, в том числе методами размерного анализа технологического процесса, разработать прогрессивную технологию изготовления деталей ролика;
- разработать имитационную стохастическую модель для прогнозирования шероховатости поверхности после токарной обработки, учитывающую систематические и случайные параметры геометрии инструмента, динамики резания; получить теоретические данные разброса шероховатости и сравнить их с экспериментальными данными.

**Объект исследования.** Опорный ролик ленточного конвейера для горнорудной промышленности, эксплуатируемый в тяжелых условиях. Под тяжелыми условиями подразумевается повышенная влажность, запыленность, агрессивная среда, перепады температур, т.е. условия характерные для горнорудной промышленности.

**Предмет исследования.** Факторы, как конструктивные, так и технологические, оказывающие влияние на надежность и срок работы опорного ролика ленточного конвейера.

**Идея работы.** Состоит в повышении ресурса (срока службы) опорных роликов ленточных конвейеров, соответственно и повышение надежности самих ленточных конвейеров, за счет совершенствования конструктивных параметров роликов и выработки рекомендаций по технологическому обеспечению качества деталей ролика.

**Методы исследований.** Методы исследования базируются на основных положениях таких наук как подъемно транспортные машины, основы конструирования и детали машин, теория размерных цепей, размерный анализ технологических процессов, расчет допусков размеров, научные основы технологии машиностроения, инженерия поверхностей деталей.

Исследования по теме диссертации проводились на базе лабораторий института промышленной инженерии имени А.Буркитбаева КазННТУ имени К.Сатпаева.

Исследования нагружения на опорные ролики конвейера с помощью программного комплекса Femap with NX Nastran проводилось на базе лаборатории компьютерного моделирования технико-гуманитарной

академии г.Бельска-Бялы (Польша) в ходе прохождения зарубежной стажировки.

Измерения шероховатости производились на базе предприятия ТОО СП «КАЗЭЛЕКТРОПРИВОД» (г.Алматы), прибор для определения шероховатости - профилометр Surftest SJ-210, производитель фирма Mitutoyo (Япония).

#### **Научная новизна диссертационной работы.**

В данной работе:

- разработаны новые оригинальные конструкции опорных роликов, позволяющие улучшить их основные характеристики, такие как надежность, срок службы;

- методами инженерного прогнозирования определена перспективность конструкций опорных роликов новой конструкции;

- проведен анализ напряженно-деформированного состояния опорного ролика при переменных нагрузках с помощью программного комплекса Femap NX Nastran, путем компьютерного моделирования показана для ролика новой конструкции возможность совместного перекоса наружного кольца подшипника относительно внутреннего;

- методом регрессионного анализа разработана математическая модель, показывающая связь между нагрузкой и деформациями и дан прогноз дальнейшего изменения значения деформации от нагрузки;

- разработана имитационная стохастическая модель формообразования шероховатости поверхности для токарной обработки (расточивание внутренней поверхности), с учетом систематических и случайных параметров, разработан алгоритм расчета шероховатости и программа для ЭВМ «Расчет законов распределения параметров шероховатости при точении».

#### **Основные положения, выносимые на защиту:**

- новая конструкция опорного ролика для ленточных конвейеров горнорудной промышленности, отличающаяся от имеющихся конструкций комбинированным уплотнением (лабиринтное и центробежное роторное уплотнение) и устраняющая заземляющий эффект в подшипнике ролика за счет обеспечения совместного перекоса наружного кольца шарикоподшипника относительно внутреннего;

- исследования напряженно-деформированного состояния роликов при переменном нагружении в среде Femap with NX Nastran;

- имитационная стохастическая модель формообразования шероховатости поверхности для токарной обработки внутренней поверхности, с учетом систематических и случайных параметров;

- теоретические данные разброса шероховатости при растачивании, полученные с помощью программы для ЭВМ «Расчет законов распределения параметров шероховатости при точении» и результаты экспериментов, отражающих влияние геометрии режущего инструмента и параметров

режимов резания на качество поверхности обрабатываемой детали при растачивании и доказывающие адекватность созданной программы

**В первой главе** работы был проведен анализ отечественной и зарубежной научно-технической литературы по исследуемой теме, исследован большой массив патентной информации. Рассмотрены различные конструкции роlikоопор, факторы, влияющие на качество их изготовления и сборку. Проанализированы причины выхода из строя роlikоопор ленточных конвейеров, влияние нагрузок на узлы ленточных конвейеров. Поставлены цель и задачи исследования. **Вторая глава** рассматривает вопросы инженерного прогнозирования конструкций роlikов конвейеров, перспектив их развития. Для выявления или проверки перспективности конструкций опорных роlikов конвейеров используем комплексную методику на основе патентной информации. Проведен патентный поиск и анализ патентной информации глубиной 43 года, с 1970 по 2013 годы рассмотрено порядка 125 патентов. Полученная из непараметрических источников информация (патенты, авторские свидетельства, инновационные патенты и т.д.) была классифицирована и трансформирована в числовые критерии (коэффициенты полноты -  $r$ , приведенное число патентов -  $M$ , обобщенный коэффициент полноты -  $r_{об.}$ ), характеризующие эти идеи. Это позволило дать прогноз перспективности предложенных конструкций и показало перспективность дальнейшей разработки и совершенствования конструкций роlikов с самоустанавливающимися подшипниковыми узлами. **В третьей главе** был проведен размерный анализ узла ролика новой конструкции, который показывает что необходимая точность относительного расположения узлов и деталей ролика достигнута, размерная связь между деталями узла имеется. Общий процент риска появления бракованных изделий для данного ролика  $P_{\Sigma} = 0,42\%$ , что не превышает допустимого значения и риск минимален. Произведен расчет номинальных значений, отклонений и допусков размеров деталей ролика, определены методы достижения требуемой точности при общей сборке машины. Даны рекомендации по направлению автоматизации процессов сборки деталей ролика. **Четвертая глава** посвящена исследованию напряженно-деформированного состояния роlikов при переменном нагружении в среде Femap with NX Nastran; проведен анализ влияния нагрузок на роlikи ленточного конвейера, рассчитана максимальная нагрузка на роlikи с помощью созданной программы расчета нагрузки с помощью ЭВМ для всех видов груза. Моделированием нагрузок в среде Femap with NX Nastran получены значения напряжений и деформаций при переменном нагружении которые позволяют полагать, что при нагружении ролика обеспечивается совместный перекося колец подшипника относительно друг друга, что позволяет избежать защемления шарика подшипника, тем самым увеличивая срок его службы. С помощью инструментов регрессионного анализа данных получены математические зависимости между такими переменными как нагрузка и деформации, дана прогнозная оценка изменения деформации с возрастанием нагрузки. **В пятой главе** были

рассмотрены вопросы технологического обеспечения качества ролика. Проведен анализ технологичности деталей входящих в изделие и дан ряд рекомендаций по технологической обработке и выбору заготовок. Разработаны рациональные технологии изготовления деталей ролика, проведен размерный анализ технологического процесса детали ролика - стакан. Это показало существование запаса точности по некоторым размерам, что дает возможность при необходимости расширить допуски на некоторые сложные операции и способствует уменьшению затрат. Был разработан технологический процесс штамповки – детали тонкостенная ступица, который показывает возможность ее изготовления высокопроизводительным методом с заданной точностью. Создана имитационная стохастическая модель формирования шероховатости при токарной обработке внутренних поверхностей учитывающая различные систематические и случайные факторы, такие как геометрия инструмента, режимы резания, вибрации. Разработан алгоритм и программа для ЭВМ по расчету законов распределения параметров шероховатости при растачивании внутренней поверхности, позволяющая прогнозировать численные параметры профиля обработанной поверхности, в частности распределение  $R_a$ ,  $R_{acp}$ . Программа ЭВМ для расчета шероховатости позволяет достаточно точно рассчитывать шероховатость при различных параметрах резания; на стадии проектирования проработать различные варианты процесса механической обработки и выбрать оптимальный вариант режимов обработки и режущего инструмента; позволяет избегать неэффективных решений при разработке ТП механической обработки; минимизировать брак при обработке. Полученные теоретические данные по разбросу шероховатости были проверены экспериментальным путем показавшим, что полученные данные укладываются в диапазон теоретического разброса шероховатости, это доказывает адекватность программы для ЭВМ. Проведен расчет экономической эффективности, рассчитан ресурс ролика новой конструкции, показавший увеличение срока службы по сравнению с аналогами (на линейных участках до 35-40 тыс.ч. вместо имеющихся максимальных 25-30 тыс.ч.), проведен расчет экономической эффективности внедрения ролика, были получены данные: срок окупаемости производства составляет 3,6 лет; уровень эффективности вложений 28%; себестоимость ролика составляет 12063тг. с НДС за единицу.

#### **Практическая значимость работы.**

- разработана новая конструкция опорного ролика ЛК, отличающаяся от имеющихся конструкций комбинированным уплотнением (лабиринтное и центробежное роторное уплотнение) и способностью под действием нагрузки обеспечивать совместный перекося наружного и внутреннего кольца подшипников, на конструкцию ролика подано заявление о выдаче патента РК, регистрационный номер №2016/0368.1.

- разработана программа для ЭВМ «Определение нагрузки на подшипники роликов ленточного конвейера», данная программа является

универсальной и может использоваться для различных типов груза, на программу было получено свидетельство о государственной регистрации прав на объект авторского права №1599 от 2августва 2016г;

- разработана методика прогнозирования шероховатости для токарной обработки на этапе проектирования технологического процесса механической обработки с помощью программы для ЭВМ «Расчет законов распределения параметров шероховатости при точении», на данную программу получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2017610890, Российской Федерации;

- предложена прогрессивная технология изготовления деталей ролика, с использованием современного инструмента и заготовок, разработана технология штамповки для тонкостенной ступицы ролика новой конструкции;

**Апробация работы.** Результаты научной работы докладывались и обсуждались на международных конференциях: международной научно-практической конференции «Индустриально-инновационное развитие транспорта, транспортной техники и машиностроения», (Алматы, 2013г.); четвертой международной научной конференции «Актуальные проблемы механики и машиностроения», (Алматы, 2014г.); международной научно-практической конференции «Перспективы развития машиностроения и транспорта в 21 веке», (Семей, 2014г.); на 5 международной научной конференции студентов и докторантов «Инженер 21века», Техническо гуманитарная академия г.Бельска Бяла (Польша, 2015г.); LXI международной научно-практической конференции, №8 (56) (Новосибирск, 2016г); научном семинаре филиала польского общества прикладной и теоретической механики г.Бельска –Бяла.

**Публикации.** Основные результаты научных исследований по теме диссертации опубликованы в 17 статьях: 6 в научных изданиях, рекомендованных Комитетом по контролю в сфере образования и науки МОН РК; 2 – в журналах, входящих в базу Scopus; 1 –научный журнал, Россия; 8 – в материалах международных научных конференций, в том числе 2 зарубежные конференции в России и Польше.