

## **АННОТАЦИЯ**

Диссертационной работы на тему:

**«Исследование технологических методов повышения качества изготовления тяжело нагруженных зубчатых передач привода шаровых мельниц»** представленной на соискание степени доктора философии (PhD) по специальности **6D071200 – «Машиностроение»**  
**ИСАЕВОЙ ИРИНЫ НИКОЛАЕВНЫ**

**Актуальность исследований.** В настоящее время в Казахстане наблюдается ряд тенденций, требующих развития и модернизации инфраструктуры. В условиях переходного периода Казахстана от плановой к рыночной экономике ее минерально-сырьевые ресурсы приобретают исключительно важное значение.

Большой объем горных пород, содержащий ценные полезные ископаемые, перерабатываются на горно-обогатительных комбинатах Казахстана. Для их измельчения и для дальнейшей переработки используются шаровые и стержневые мельницы (Балхаш, Жезказган).

У шаровых мельниц, с приводным зубчатым венцом на барабане, наблюдается интенсивный износ зубьев, вследствие тяжелого режима работы мельницы, что приводит к необходимости их частой замены. Также происходят большие простои мельницы. Зубчатые передачи привода мельницы испытывают интенсивное ударное воздействие, что снижает, вследствие износа, ресурс их работы и мельницы в целом.

Существующие технологии изготовления крупных венцовых зубчатых колес, диаметрами до 10 000 мм., изготавливаются из сырой стали без дополнительной закалки и механической обработки. Опыт зарубежного использования легированных сталей и упрочняющих технологий венцовых зубчатых колес, показал приоритетность этих технологий, поэтому научные исследования по повышению стойкости зубчатых зацеплений крупных тяжело нагруженных зубчатых передач шаровых мельниц, являются, на современном этапе, актуальными.

Работа выполнялась в Казахском национальном исследовательском техническом университете имени К.И.Сатпаева (г. Алматы, Казахстан) и Центральном институте авиационного моторостроения им. П.И.Баранова (г. Москва, Россия).

**Целью работы** является разработка технологических способов повышения качества изготовления тяжело нагруженных зубчатых передач привода шаровых мельниц, позволяющие повысить долговечность зубчатой передачи и ресурса работы шаровой мельницы.

**Идея работы** повышение долговечности зубчатых зацеплений с применением технологических способов повышения качества изготовления зубчатых зацепления привода шаровой мельницы.

В связи с поставленной целью, сформулированы следующие **задачи исследований:**

- выполнить обоснование основных методов износа и обработки зубчатого венца, источников технологической погрешности и параметров качества;

- выполнить моделирование и исследование качества изготовления тяжело нагруженных зубчатых передач на основе программного комплекса «AEROFLANK» и обосновать рациональные параметры профиля зубчатой передачи, позволяющие передавать нагрузку на зубья через гарантированный слой смазки;

- разработать динамическую модель тяжело нагруженных зубчатых передач привода шаровой мельницы, изменение параметров которой позволит снизить влияние динамической нагрузки на зубчатую передачу за счет демпфирующей способности приводного вала и магнитной системы электропривода, тем самым уменьшить износ зубьев передачи;

- разработать новую технологию изготовления крупномодульных зубчатых колес привода шаровой мельницы с применением новых материалов с высоколитейными свойствами, повышенными механическими характеристиками и рациональной технологией механической обработки с применением ППД;

- разработать метрологические методы измерения качества изготовления зубчатого колеса с применением прогрессивного инструмента.

**Объект исследования** - приводы рудоразмельных шаровых мельниц горно-обогатительного производства.

**Предмет исследования** - тяжело нагруженные зубчатые передачи привода шаровых мельниц.

#### **Методологическая база исследований**

Результаты исследований получены на основе теоретических и практических положений технологии машиностроения; теории упругости и пластичности; теории износа с учетом динамики зубчатой передачи, а также теории планирования эксперимента и статистической обработки данных. Экспериментальные исследования проводились в стендовых условиях на действующем оборудовании с использованием оригинальных методик и современной измерительной аппаратуры высокой точности.

#### **Научная новизна работы заключается в следующем:**

- осуществлено использование системы прямого синтеза зубчатых передач в программе AEROFLANK, которая позволила найти такую линию профиля, при которой зубья передачи контактируют только через слой смазки на всем протяжении линии зацепления, и повысила износостойкость зубчатой передачи привода;

- разработана динамическая модель тяжело нагруженных зубчатых передач привода шаровой мельницы, изменение параметров которой позволило, снизить влияние динамической нагрузки шаровой мельницы на зубчатую передачу за счет демпфирующей способности приводного вала и магнитной системы электропривода, тем самым уменьшили износ зубьев передачи;

- разработана методика расчета зубчатого венца привода шаровой мельницы в среде NASTRAN, которая позволила выполнить расчет усталостной прочности и прогнозирование долговечности зубчатого колеса с помощью модуля MSC/Fatigue;

- разработана новая технология изготовления крупномодульных зубчатых колес привода шаровой мельницы с применением новых материалов с высоколитейными свойствами и повышенными механическими характеристиками и рациональной технологией механической обработки с применением ППД и новой консистенции смазочного материала;

- разработаны метрологические методы измерения качества изготовления зубчатого колеса с применением прогрессивного инструмента.

**На защиту выносятся следующие основные научные положения:**

- рекомендации по использованию системы прямого синтеза зубчатых передач в программе AEROFLANK, позволяющие найти такую линию профиля, при которой зубья передачи контактируют только через слой смазки на всем протяжении линии зацепления, что повышает износостойкость зубчатой передачи шаровой мельницы;

- построенная динамическая модель тяжело нагруженных зубчатых передач привода шаровой мельницы, изменение параметров которой позволит, снизить влияние динамической нагрузки шаровой мельницы на зубчатую передачу за счет демпфирующей способности приводного вала и магнитной системы электропривода, тем самым уменьшить износ зубьев передачи;

- новая технология изготовления крупномодульных зубчатых колес привода шаровой мельницы с применением новых материалов с высоколитейными свойствами и повышенными механическими характеристиками и рациональной технологией механической обработки с применением ППД и новой консистенции смазочного материала;

- метрологические методы измерения качества изготовления зубчатого колеса с применением прогрессивного инструмента.

**Теоретическая значимость работы** заключается в повышении ресурса эксплуатации шаровых мельниц за счет совершенствования технологии изготовления зубчатых передач привода шаровых мельниц, с применением легированных сталей, обладающих высокой жидкотекучестью, сохраняет высокую твердость при эксплуатации.

**Практическая значимость работы** заключается в следующем:

- в повышении износостойкости зубчатой передачи привода обеспечивается созданием линией профиля зубьев, при которой зубья передачи контактируют только через слой смазки на всем протяжении линии зацепления, с использованием системы прямого синтеза зубчатых передач в программе AEROFLANK;

- снижении влияния динамической нагрузки на зубчатую передачу обеспечивается изменением параметров разработанной динамической модели тяжело нагруженных зубчатых передач привода шаровой мельницы,

демпфирующей способности приводного вала и магнитной системы электропривода, что способствует уменьшению износа зубьев передачи;

- выполнен расчет усталостной прочности и прогнозирования долговечности зубчатого венца привода шаровой мельницы, обеспечивается с помощью модуля MSC/Fatigue в среде NASTRAN;

- в новой технологии изготовления крупномодульных зубчатых колес привода шаровой мельницы с применением лигирующих сталей, высоколитейными свойствами и повышенными механическими характеристиками, также рациональной технологией механической обработки с применением ППД и новой консистенции смазочного материала;

- ожидаемая годовая экономическая эффективность внедрения технологии изготовления зубчатого венца привода шаровой мельницы, составит 17 700 000 тенге.

Диссертационная работа выполнялась в соответствии с инновационным проектом кафедры «Стандартизация, сертификация и технология машиностроения» № 757. МОН. ГФ. 15.ЭМ.5 «Разработка конструкторско-технологических методов повышения износостойкости тяжело нагруженных зубчатых передач привода шаровых мельниц».

**Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается:**

- анализом большого объема производственных данных и эмпирических материалов на горно-обогатительных комбинатах Казахстана, Украины, России по эксплуатации шаровых мельниц;

- использованием основных положений и методов технологии машиностроения, теоретической механики, теории упругости и пластичности и решением задач на ПЭВМ;

- проведением математического моделирования и экспериментальных лабораторных исследований технологических параметров износостойкости с решением задач на ПЭВМ;

- установлением сходимости результатов теоретических и экспериментальных исследований.

#### **Реализация результатов работы**

Результаты диссертационной работы были внедрены на АО Петропавловский завод тяжелого машиностроения (ПЗТМ) (г. Петропавловск, Казахстан), а также на заводе АО «Карданвал» (г. Чимкент, Казахстан), ТОО «Научно-внедренческий центр «Алмаз» (г. Алматы, Казахстан). Результаты научно-исследовательской работы внедрены в учебный процесс при подготовке бакалавров и магистрантов по специальностям 5В071200 – «Машиностроение», 5М071200 – «Машиностроение» в КазНИТУ имени К.И. Сатпаева (г. Алматы).

**Апробация работы.** Основные положения диссертации и результаты исследования докладывались и обсуждались на XXII Международной научно-технической конференции «Машиностроение и техносфера XXI века» (Россия, г. Севастополь, 2015); на XII Международной заочной

конференции «Развитие науки в XXI веке» (Украина, г. Харьков, 2016), на Международной научно-практической конференции, посвящённой памяти член-корреспондента КазАСХН, д.т.н., профессора Тулеуова Е.Т. «Инновационные подходы и технологии для повышения эффективности производств в условиях глобальной конкуренции» (Казахстан, г. Семей, 2016), на XII Международной научно-технической конференции «Вибрация – 2016» (Россия, г. Курск, 2016) на Международных Сатпаевских чтениях «Научное наследие Шахмардана Есенова», (Казахстан, г. Алматы, 2017).

**Публикации.** Основные результаты диссертационной работы опубликованы в 13 печатных работах, в том числе 3 статьи в журналах, рекомендованных ККСОН МОН РК; 8 публикаций в Международных конференциях, из них 6 – зарубежных; 2 статьи изданы в журналах, входящие в базу данных Scopus.