

**КУАТОВА МОЛДИР ЖАНГЕЛДИЕВНА**

**РАЗРАБОТКА И МОДЕЛИРОВАНИЕ КРИВОШИПНОГО ПРЕССА НА  
БАЗЕ ШЕСТИЗВЕННОГО РЫЧАЖНОГО МЕХАНИЗМА  
СТЕФЕНСОНА II**

**диссертация на соискание степени доктора философии (PhD)  
по специальности  
6D060300 - "Механика"**

**АННОТАЦИЯ**

**Актуальность темы исследования.** Кривошипные прессы составляют важнейшую часть системы обработки давлением и предназначены для формоизменения металлов, сплавов и неметаллических материалов под действием давления. К критериям оценки различных конструкций кривошипных прессов, относятся: масса конструкции, энергоёмкость, быстроходность, эффективность использования потребляемой энергии. Преимущества и недостатки кривошипных прессов predeterminedены их принципом действия, основанном на сочетании нереверсируемого в рабочих режимах главного привода, с рычажным исполнительным механизмом, имеющим крайние мертвые положения.

К преимуществам, кривошипных прессов относятся: наивысшая производительность среди машин, работающих штампами или ножами; возможность осуществлять все виды штамповки и упругопластического разделения; высокая точность получаемых изделий, вследствие фиксированного крайнего рабочего положения подвижного инструмента в пределах упругой деформации системы. Указанные преимущества обеспечивают эффективность применения кривошипных прессов в производстве. Для повышения эффективности работы кривошипных прессов т.е. увеличение производительности и точности, расширения области применения необходимо улучшение конструкций исполнительных механизмов.

Для увеличения конкурентоспособности отечественных кривошипных прессов, необходимо повысить их эксплуатационные характеристики (точность, долговечность, эффективность) при общем снижении затрат на разработку и производство. Это стимулирует переход к современным методам проектирования, основанным на математическом моделировании происходящих физических процессов на всем протяжении технологического цикла и рациональным использованием современных средств САПР.

В настоящее время получило широкое распространение в мире совершенствование кривошипных прессов с исполнительными механизмами

на базе новых конструкций рычажных механизмов. Совершенствование кривошипных прессов на базе новых конструкций рычажных механизмов, требует проведения структурного и кинематического анализа и синтеза, кинетостатического и динамического анализа и синтеза рычажных механизмов. Для исследования работы кривошипных прессов на базе новых конструкций рычажных механизмов, необходимо создание моделей его движения на основе современных программных комплексов. Динамические модели кривошипных прессов на базе новых конструкций рычажных механизмов должны быть составлены с учетом упруго-диссипативных характеристик звеньев, сил трения, вязкого сопротивления, системы управления и др. При работе кривошипного пресса в узлах и механизмах возникают значительные динамические нагрузки, особенно в момент включения его. Данные динамические нагрузки связаны с особенностью работы кривошипного пресса, которая состоит в ударных циклических нагрузках с внезапными, почти мгновенными остановками. В связи с этим исследование динамики кривошипных прессов, представляет большой интерес. Моделирование и анализ движения современных кривошипных прессов, подразумевает проведение большого объема расчетов с учетом упруго-диссипативных характеристик звеньев, сил трения, вязкого сопротивления, системы управления и др. В настоящее время широко используется компьютерное моделирование движения сложных механизмов, с учетом большего количества факторов, влияющих на их работу, так называемое междисциплинарное виртуальное моделирование.

Задача по совершенствованию кривошипных прессов на базе новых конструкций рычажных механизмов является актуальной в мире и имеет большую значимость для развития науки в этом направлении.

**Целью диссертационной работы** является повышение эффективности работы кривошипных прессов на основе разработки кривошипного пресса с ГРМ (Главным Рабочим Механизмом) на базе шестизвенного рычажного механизма Стефенсона II с использованием программных комплексов для моделирования физико-технических объектов и систем.

В соответствии с поставленной целью были поставлены следующие **задачи исследования:**

- обоснование выбора кинематической схемы шестизвенного рычажного механизма Стефенсона II для главного рабочего механизма (ГРМ) кривошипного пресса;
- разработка методов кинематического анализа и синтеза шестизвенного рычажного механизма Стефенсона II;
- кинематический анализ и синтез ГРМ кривошипного пресса;
- кинетостатический анализ ГРМ опытного образца кривошипного пресса на базе шестизвенного рычажного механизма Стефенсона II;
- разработка и анализ имитационной модели движения кривошипного пресса с ГРМ на базе шестизвенного рычажного механизма Стефенсона II на программном комплексе SimulationX;

- разработка 3D модели кривошипного пресса с ГРМ на базе шестизвенного рычажного механизма Стефенсона II;
- составление проектно-конструкторская документация (ПКД) опытного образца кривошипного пресса с ГРМ на базе шестизвенного рычажного механизма Стефенсона II;
- разработка методики экспериментального исследования опытного образца кривошипного пресса с ГРМ на базе шестизвенного рычажного механизма Стефенсона II.

**Объектом исследования** является кривошипный пресс.

**Предметом исследования** является проектирование главного рабочего механизма кривошипного пресса.

**Теоретическая основа исследования** обеспечивается корректным использованием основных положений и методов теории механизмов и машин, использованием усовершенствованных программных комплексов для моделирования физико-технических объектов и систем.

**Методы исследования:** для теоретического исследования в диссертации использованы методы математического моделирования сложных механических систем. Разработка математических моделей сложных механических систем проводилась с использованием пакета аналитических вычислений Maple. Составление имитационной и 3D динамических моделей сложных механических систем проведено на программных комплексах SimulationX и Autodesk Inventor. Экспериментальные исследования проведены с использованием современных методов тензометрии с использованием интеллектуальных датчиков и модулей измерения механических параметров.

**Научная новизна работы** состоит в следующем:

- в разработке нового кривошипного пресса с ГРМ на базе шестизвенного рычажного механизма Стефенсона II;
- в разработке методов по кинематическому, кинетостатическому анализу и синтезу рычажных механизмов Стефенсона II;
- в составлении имитационной и 3D динамических моделей кривошипного пресса с ГРМ на базе шестизвенного рычажного механизма Стефенсона II;
- в методике экспериментального исследования опытного образца кривошипного пресса с ГРМ на базе шестизвенного рычажного механизма Стефенсона II.

**Теоретическая и практическая значимость исследования.** Разработанные численно-аналитические методы исследования кинематики и динамики кривошипных прессов с учетом конструктивных особенностей главных рабочих механизмов (ГРМ) на базе шестизвенного рычажного механизма Стефенсона II могут быть использованы при проведении теоретических исследований для широкого класса механизмов, машин и роботов, содержащих в своем составе рычажные механизмы. Практическая значимость исследований состоит в методике разработки опытного образца кривошипного пресса с ГРМ на базе шестизвенного рычажного механизма Стефенсона II и методике проведения его экспериментальных исследований,

которые будут полезны для проектирования и разработки различных механизмов, машин и роботов. Проведенные пуско-наладочные работы опытного образца кривошипного пресса и проведенные его экспериментальные исследования, показали хорошую работоспособность и практическое отсутствие заклинивания при различных режимах прессования, что дает предпосылки для дальнейшего его внедрения в производство.

**Научные положения выносимые на защиту:**

- обоснование выбора кинематической схемы шестизвенного рычажного механизма Стефенсона II для главного рабочего механизма (ГРМ) кривошипного пресса;
- методы по кинематическому, кинетостатическому анализу и синтезу рычажных механизмов Стефенсона II;
- имитационная и 3D динамические модели кривошипного пресса с ГРМ на базе шестизвенного рычажного механизма Стефенсона II;
- опытный образец кривошипного пресса с ГРМ на базе шестизвенного рычажного механизма Стефенсона II;
- методика экспериментального исследования опытного образца кривошипного пресса с ГРМ на базе шестизвенного рычажного механизма Стефенсона II.

**Достоверность и обоснованность научных положений, выводов и результатов диссертации** подтверждается применением апробированных методов механики и теории механизмов и машин, применением проверенных программных комплексов Maple, SimulationX и Autodesk Inventor. Достоверность результатов подтверждается разработкой и изготовлением опытного образца кривошипного пресса с ГРМ на базе шестизвенного рычажного механизма Стефенсона II, испытания которого показали хорошие совпадения с теоретическими результатами при различных режимах прессования.

**Связь диссертационной работы с другими научно-исследовательскими работами.** Данная диссертационная работа выполнялась в рамках научного проекта, по грантовому финансированию фундаментальных и прикладных научных исследований по научным и (или) научно-техническим проектам на 2018-2020 годы МОН РК, «Разработка методов и технологии проектирования силовых пресс-автоматов на базе новых кривошипных исполнительных механизмов», (№ ГР 0118РК0077, ИРН проекта: AP05134959).

**Апробация работы.** Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на следующих научных мероприятиях:

- на Международной конференции «XII Всероссийский съезд по фундаментальным проблемам прикладной и теоретической механики (2019, Уфа, Россия);
- на Международной конференции «6th IFToMM International Symposium on Robotics and Mechatronics» (ISRM 2019, Taipei, Taiwan);

- на Международной конференции «The 15th IFToMM World Congress» (2019, Krakow, Poland);
- на Международной конференции «23rd CISM IFToMM Symposium on Robot Design, Dynamics and Control» (2020, Sapporo, Japan);
- на семинарах РГП «Институт механики и машиноведения им. У.А. Джолдасбекова» КН МОН РК и в КазНУ им. аль-Фараби на кафедре механики (Алматы 2018-2020)

**Публикации.** Автором по теме диссертации опубликовано 11 работ, из них 2 публикации в научных изданиях, рекомендованных Комитетом по контролю в сфере образования и науки МОН РК для опубликования основных результатов научной деятельности; 6 публикаций в зарубежных научных журналах с ненулевым импакт-фактором (IF) и трудах международных конференций, входящих в базу данных Scopus и Web of Science, 1 публикация в трудах XII всероссийского съезда по фундаментальным проблемам теоретической и прикладной механики; 1 публикация в рецензируемом журнале, индексируемый базой РИНЦ; 1 монография; 1 патент Республики Казахстан на изобретение.

**Личный вклад автора.** Основные научные результаты теоретических и прикладных исследований, выводы, изложенные в диссертации, получены автором самостоятельно. В работах, опубликованных в соавторстве, соискателю принадлежит значительная часть, связанная с постановкой задач, разработкой алгоритмов и моделей, а также их программная реализация и проведение экспериментальных исследований.

**Структура диссертации и объем.** Диссертация имеет титульный лист, содержание, перечень обозначений и сокращений, введение, шесть разделов, заключение, список использованных источников и приложений. Общий объем диссертации 122 страниц, включая 65 иллюстраций и 3 таблицы.

#### **Основное содержание диссертации.**

Во **введении** дано описание проблемы, краткий обзор предметной области. Обоснована актуальность диссертационной работы, сформулированы постановка задачи и этапы их решения.

**Первый** раздел посвящен современному состоянию методов исследований исследования кривошипных прессов. Приведено обоснование выбора кинематической схемы главного рабочего механизма кривошипного пресса.

Во **втором** разделе рассматриваются методы кинематического анализа и синтеза ГРМ кривошипного пресса. Проведен кинематический анализ и синтез шестизвенного рычажного механизма Стефенсона II. Приводится разработка ГРМ кривошипного пресса на базе шестизвенного рычажного механизма Стефенсона II.

В **третьем** разделе проводится кинетостатический анализ ГРМ кривошипного пресса. Разработан векторный метод кинетостатического анализа шестизвенного рычажного механизма Стефенсона II. Проведен кинетостатический анализ ГРМ кривошипного пресса на базе шестизвенного рычажного механизма Стефенсона II. Показан кинетостатический анализ ГРМ

опытного образца кривошипного пресса на базе шестизвенного рычажного механизма Стефенсона II.

**Четвертый** раздел посвящен разработке имитационной модели движения кривошипного пресса с ГРМ на базе шестизвенного рычажного механизма Стефенсона II на программном комплексе SimulationX. Приведена динамическая модель кривошипного пресса с ГРМ на базе шестизвенного рычажного механизма Стефенсона II на SimulationX. Показаны результаты моделирования кривошипного пресса с ГРМ на базе шестизвенного рычажного механизма Стефенсона II на SimulationX.

В **пятом** рассматривается разработка опытного образца кривошипного пресса с ГРМ на базе шестизвенного рычажного механизма Стефенсона II. Разработана 3D модель кривошипного пресса с ГРМ на базе шестизвенного рычажного механизма Стефенсона II. На основе 3D модели получена проектно-конструкторская документация (ПКД) опытного образца кривошипного пресса с ГРМ на базе шестизвенного рычажного механизма Стефенсона II. Показано изготовление опытного образца кривошипного пресса с ГРМ на базе шестизвенного рычажного механизма Стефенсона II.

В **шестом** разделе приводится экспериментальное исследование опытного образца кривошипного пресса с ГРМ на базе шестизвенного рычажного механизма Стефенсона II. Показан метод по тензометрическому исследованию. Проведены экспериментальные исследования опытного образца кривошипного пресса с ГРМ на базе шестизвенного рычажного механизма Стефенсона II.

В **заключении** приведены полученные в работе основные результаты и выводы диссертационного исследования.