

АХМЕТОВА БАЛЖАН ИБРАГИМҚЫЗЫ

**ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО И ДИНАМИЧЕСКОГО РЕЖИМОВ
КРИВОШИПНОГО ПРЕССА НОВОЙ СТРУКТУРЫ НА БАЗЕ ЧЕТЫРЕХЗВЕННЫХ
ГРУПП**

АННОТАЦИЯ

диссертация на соискание степени
доктора философии (PhD) по специальности
6D060300 – «Механика»

Актуальность темы исследования. Основным главным исполнительным механизмом кривошипных кузнечно-штамповочных машин является кривошип-ползунный механизм. Преимущества и недостатки кривошипных прессов предопределены их принципом действия, основанном на сочетании неревверсируемого в рабочих режимах электромаховичного главного привода с рычажным (или кулачково-рычажным, или зубчато-рычажным) исполнительным механизмом, имеющим крайние положения. К преимуществам, обеспечивающим им практически монопольное положение в парке кузнечно-прессовых и штамповочных машин машиностроительного цикла массового и крупносерийного производства 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 «пресс - инструмент»; доступная автоматизируемость, вследствие циклового характера движения главного рабочего механизма.

Указанные преимущества обеспечивают эффективность применения кривошипных прессов в той мере, в какой удастся избавиться от их недостатков. Повышение эффективности кривошипных прессов в направлениях: увеличения производительности и точности, расширения области применения (на мелкосерийное производство, производство особо крупных изделий, на горячую штамповку низких (молотовых) поковок и пр.) - невозможно при отсутствии универсальных исполнительных механизмов, способов и устройств предохранения, поскольку в противном случае частота и уровень перегрузок при штамповке и наладке исключают достижение положительных экономических результатов. Вместе с тем достигнутый уровень науки и техники позволяет решить проблему создания способов предохранения кривошипных прессов от перегрузок, в том числе за счет функциональной особенности конструкции исполнительных механизмов.

Особенности технологических процессов объемной штамповки таковы, что требуют сравнительно малого рабочего хода ползуна; сопротивление деформации велико при сравнительно малых габаритных размерах штампуемой детали штампов; при горячей штамповке необходимо обеспечить быстроходность пресса во избежание остывания поковки; стремление получить высокую точность поковок заставляет делать прессы весьма жесткими. Этим требованиям отвечает структурно-функциональная характеристика кривошипно-коленного механизма с технологическим выстоем рабочего ползуна.

Обзор публикаций, посвященные кривошипным прессам, показывает интерес исследователей к совершенствованию структуры механизмов и практическому анализу динамических процессов в машинах, с широким использованием инструментов цифровой технологий.

Идея работы заключается в разработке новых структур, методов моделирования кинематики и динамики кривошипно-коленного пресса на базе многоконтурного рычажного механизма с учетом особенности технологического процесса объемной и горячей штамповки. При моделировании будут решены задачи динамики кривошипного пресса с учетом упругости высоконагруженных звеньев и трения кинематических пар. Результаты моделирования являются исходными при проектировании (дизайна) нового штамповочного кривошипного пресса с использованием современных средств САПР.

Работы ученых под руководством Ю.А. Бочарова и Е.Н. Ланской посвящены проектированию деталей и узлов кривошипных прессов, моделированию технологического процесса с учетом динамических нагрузок и особенностей конструкции машины. В последние годы (с 2000 г.) исследованию кривошипных прессов посвящены диссертация ученых: Дворникова Л., Ковалев В.В., Крук А.Т., Быкова П.Н., Дибнера Ю.А., Матвеева А.Г., Никитина А.Г., Корниловой А.В., Таловир И.В., Большакова Н.С. и др. зарубежных ученых, отмеченные в обзоре публикаций (раздел 1). Во всех этих работах главным рабочим механизмом является кривошипно-ползунный механизм и его разновидности на базе двухзвенных групп. Они по функциональным и техническим характеристикам уступают кривошипным механизмам на базе четырехзвенных групп, предлагаемый в данном проекте. Под руководством Тулешова А.К. проводился НИР по проекту №АР05134959 «Разработка методов и технологии проектирования силовых пресс-автоматов на базе новых кривошипных исполнительных механизмов» в 2018-2020 годы. Объектом исследования этого проекта являлся прямой кривошипно-ползунный механизм Стефенсона II.

Предметом исследования являются новые методы кинематики и динамики многозвенных кривошипно-коленных рычажных прессов с выстоем рабочего ползуна, методики анализа технологических процессов и проектирования на основе моделирования.

Целью диссертационной работы является разработка методов моделирования кинематики и динамики, анализ технологического процесса, синтез и дизайн новых конструкций кривошипного пресса для штамповки, позволяющий эффективно преодолеть большую силу сопротивления деформации, обеспечить выстой ползуна и высокую точность поковки.

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

- анализ технологического процесса объемной штамповки и силовых характеристик многозвенных двухшатунных кривошипных прессов; анализ графиков рабочих нагрузок при штамповке.
- разработка методов кинематического анализа и синтеза многозвенных двухшатунных исполнительных механизмов кривошипно-коленных прессов с выстоем рабочего звена; анализ скорости и ускорения звеньев механизма;
- разработка методов анализа кинестатики и динамики многозвенных двухшатунных исполнительных механизмов кривошипно-коленных прессов;
- разработка методов анализа динамики многозвенных двухшатунных кривошипных и кривошипно-коленных прессов с учетом уравнений нелинейных связей, упругий анализ высоконагруженных звеньев и поковки;
- проектирование (дизайн) основных деталей и узлов двухшатунных исполнительных механизмов кривошипных прессов.

Методы исследования: Сложная структура многозвенных двухшатунных кривошипных прессов требует разработки методов кинематического синтеза и анализа. Кинематический анализ механизма включает вывод уравнений на основе метода замкнутых контуров и разработки метода их решения путем аналитических преобразований с использованием метода замены ведущего звена (при необходимости). Кинематический синтез рычажного механизма

проводится аппроксимационным подходом с использованием метода блокируемых зон. Особенность (критерий) задачи синтеза кривошипного пресса является обеспечение режимов технологической остановки (выстоя) рабочего ползуна на требуемый промежуток времени согласно циклограмме процесса штамповки.

Динамическое исследование кривошипного пресса состоит из двух этапов: первое – составление динамических моделей, вывод уравнений динамики и моделирование полученных уравнений движения, в том числе на платформах аналитических вычислений Maple, программе SimulationX; второе – проектирование и анализ на прочность и оптимизация материалоемкости, и оценка работоспособности путем виртуального моделирования на цифровых платформах. Динамическая модель кривошипного пресса будет учитывать трения в кинематических парах, упругоподатливые свойства наиболее нагруженных деталей и узлов. Силовой анализ ККМ с учетом сил трения проводится на основе векторного метода. Вывод уравнений динамики осуществляется с использованием уравнений Лагранжа неопределенными коэффициентами (для учета избыточных связей), принципа Даламбера, законов Кулона-Амонтона и Гука, а также других законов теоретической механики, методов теории механизмов и машин и математической теории вероятности и статистики.

Объектом исследования является кривошипный рычажный пресс.

Научная новизна работы:

- новые схемы главных рабочих механизмов кривошипного пресс-автомата с рабочими органами (ползунами) с выстоем;
- методы структурно-кинематического синтеза восьмизвального исполнительного механизма кривошипных прессов с двумя рабочими звеньями;
- аналитический метод качественного синтеза шестизвального механизма с определением области изменения постоянных параметров, обеспечивающих существование технических и технологических решений;
- метод кинематического синтеза восьмизвального коленно-кривошипного механизма кривошипного пресса с длительным выстоем рабочего звена и результаты численного моделирования схем механизма в зависимости от изменения эксцентритета рабочего ползуна;
- аналитические методы динамического анализа и проектирование кривошипных и кривошипно-коленных прессов на базе четырехзвенных структурных групп и их численная реализация с использованием пакета аналитических вычислений Maple и др.;
- разработка критерий оценки кинематических и динамических параметров, доказывающие работоспособность конструкций исполнительных механизмов на базе четырехзвенных структурных групп кривошипных прессов;
- методы динамического анализа механизмов пресса с учетом технологической нагрузки и динамики процесса (высокоскоростного пресса), а также статической характеристики сервопривода;
- программы анализа кинематики и динамики исполнительных механизмов кривошипных и кривошипно-коленных прессов на базе четырехзвенных групп с использованием пакета аналитических вычислений Maple и др.;
- экспериментальные исследования шестизвального кривошипного пресса и валидация основных результатов.

Теоретическая и практическая значимость исследования: Теория механизмов и машин является одним из развитых научных направлений в Казахстане, достижения которого признается во всем мире. Особенно развита теория плоских и пространственных рычажных механизмов, параллельных манипуляторов, на основе которой была создана множество оригинальных и востребованных конструкции (схемы) исполнительных механизмов роботов и машин агрегатов. Главным препятствием практического применения этих конструкции

является отсутствие готового инструмента для конструктора-проектировщика. В этой связи создание инструментарии по проектированию функциональных рычажных конструкций на основе современной цифровой технологии (освоение и развитие цифровых технологий казахстанскими учеными) и внедрения их в производство позволит вывести на новый этап развития теории плоских и пространственных рычажных механизмов, параллельных манипуляторов, и машиностроения в целом. Кроме того, будут расширены техническая и технологическая база кузнечно-штамповочных машин и оборудования за счет внедрения новых конструкций исполнительных механизмов с широкими функциональными возможностями.

Исследованием пространственных рычажных механизмов и параллельных манипуляторов, совершенствованием кривошипных прессов на основе рычажных механизмов занимаются российские, немецкие, японские, китайские и ученые других стран. Поэтому разработка задачи по совершенствованию кривошипных прессов в данной постановке является актуальной в мире и имеет большую значимость для развития науки в этом направлении.

Личный вклад автора. Результаты диссертационного научного исследования касательно разработки методики и алгоритмов, программ численного моделирования получены самостоятельно автором. Утверждение задач для достижения цели исследования, разработки методов исследования и внедрения предложенной системы, анализ результатов научных исследований проводились под руководством автора, его научного руководителя и зарубежного научного руководителя. Результаты других исследователей, использованные в ходе исследования, были указаны ссылками на соответствующую литературу.

Связь диссертационной работы с другими научно-исследовательскими работами. Проекты AP05134959 «Разработка методов и технологии проектирования силовых пресс-автоматов на базе новых кривошипных исполнительных механизмов» на 2018-2020 годы и AP14972874 «Разработка методов исследования и дизайн кривошипно-коленного пресса с технологической остановкой (выстоем) рабочего ползуна» реализуется в рамках проекта «Жас ғалым» на 2022-2024 годы под руководством профессора Тулешова А.К.

Достоверность и обоснованность научных положений, выводов и результатов диссертации. Реализация проекта включает следующие основные этапы: математическое моделирование и определение основных входных параметров главного рабочего механизма пресс-автомата, деталей и узлов; создание инструмента для проектирования на основе существующей САПР и новых моделей ГРМ; проектирование и конструирование пресс-автомата (ПКД); испытание опытного образца ГРМ пресс-автомата с учетом технологических условий. На базе Института механики и машиноведения им. У.А.Джолдасбекова существует экспериментальный стенд и установки для испытания кривошипных прессов.

Публикации. По результатам научно-исследовательской работы были опубликованы 10 научных статей: 2 статьи в международных рецензируемых научных журналах с ненулевым импакт-фактором, входящих в базу данных Scopus (перцентиль 75%, 36%), 3 статьи в изданиях, рекомендованных КОКСОН МНВО РК, 1 статья в журнале “Вестник Национальной инженерной академии”, 4 статьи на других международных конференциях.

Апробация работы. Основные результаты диссертационного исследования было представлено и обсуждено на семинарах Института механики и машиноведения им. У.А. Жолдасбекова и кафедры “механика” Казахского национального университета им. Аль-Фараби; на VI Международной научно-практической конференции "GLOBAL SCIENCE AND INNOVATIONS 2019: Central ASIA", Казахстан, Нур-Султан; Международной научной конференции "ФАРАБИ ЭЛЕМІ", Алматы, Казахстан; "Фундаментальные и прикладные

научные исследования: актуальные проблемы, достижения и инновации в сборник статей XXXIII международной научно-практической конференции”, Россия, Пенза.

Структура диссертации и объем. Диссертационная работа состоит из введения, 4 частей, заключения, списка использованной литературы. Общий объем работы составляет 107 страниц, 49 рисунков, 4 таблиц, список использованной литературы состоит из 73 наименований.

Основное содержание работы:

Во введении приведена актуальность диссертационной работы, обозначены этапы постановки задачи и их решения.

В первом разделе представлен обзор конструктивных и технологических особенностей исполнительных механизмов кривошипных прессов, а также методов исследования кинематики и динамики. На основе анализа научных работ установлена тенденция на разработку исполнительных механизмов кривошипных прессов широкими функциональными возможностями по сравнению с четырехзвенным кривошипно-ползунным механизмом.

Во втором разделе был проведен геометрический (анализ положения) и кинематический анализ механизмов кривошипного пресса на основе кинематической цепи Стефенсона с двумя шатунами. Также, был проведен численный и функциональный анализ кинематики двухшатунных механизмов с выстоем звена на основе кинематической цепи Стефенсона с улучшенной компоновкой двигателя коленно-кривошипного пресса.

В третьем разделе разработан аналитический метод синтеза шестизвального механизма Стефенсона из условий экстремума угла давления. Разработан метод синтеза шестизвального механизма коленно-кривошипного пресса на основе квадратического приближения со множителями Лагранжа. Выполнен структурно-кинематический синтез двухшатунного восьмизвального механизма кривошипно-коленного пресса с длительным выстоем, коэффициенту изменения средней скорости и допустимым углом передачи. Кроме того, механизмы пресса предварительно оценивались по динамическим критериям.

В четвертом разделе был разработан метод силового анализа штамповочного механизма кривошипного коленного пресса и проведен анализ технологических сил. Определены средняя скорость установившегося режима кривошипных прессов, коэффициент неравномерности хода, момент инерции маховика. Также, был смоделирован процесс штамповки двухшатунного шестизвального механизма кривошипного пресса с учетом упругости шатунов и поковки. Постановлено и проведено экспериментальное исследование кривошипных прессов на базе шестизвального механизма.

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

Благодарность. Автор выражает благодарность своим научным консультантам профессору Тулешову Амандыку Куатовичу и профессору Гуськову Александру Михайловичу за их руководство, ценные советы, критику, поддержку и поддержку в ходе исследования.

Автор также выражает благодарность доктору Жомартову Асылбеку Абдразаковичу за ознакомление и поддержку с методами проведения эксперимента и профессору Пановко Григорию Яковлевичу за полезные предложения и комментарии, которые он дал во время стажировки.