

ТУЛЕШОВ А.К., ДРАКУНОВ Ю.М., ДЖОМАРТОВ А.А.,
СЕЙДАХМЕТ А.Ж., ДЖАМАЛОВ Н.К., ТУЛЕШОВ Е.А.,
КУАТОВА М.Ж.

КРИВОШИПНЫЕ РЫЧАЖНЫЕ ПРЕССЫ НА ОСНОВЕ МЕХАНИЗМА СТЕФЕНСОНА



**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
ИНСТИТУТ МЕХАНИКИ И МАШИНОВЕДЕНИЯ ИМЕНИ
АКАДЕМИКА У.А. ДЖОЛДАСБЕКОВА**

**Тулешов А.К., Дракунов Ю.М., Джомартов А.А.,
Сейдахмет А.Ж., Джамалов Н.К.,
Тулешов Е.А., Куатова М.Ж.**

**КРИВОШИПНЫЕ РЫЧАЖНЫЕ
ПРЕССЫ НА ОСНОВЕ
МЕХАНИЗМА СТЕФЕНСОНА II**

**АЛМАТЫ
2020**

УДК 621.7 (035. 3)

ББК 34.5

К 82

Рецензенты:

доктор технических наук, профессор Пановко Г.Я.

доктор технических наук, профессор Абдраимов Э.С.

**Тулешов А.К., Дракунов Ю.М., Джомартов А.А., Сейдахмет А.Ж.,
Джамалов Н.К., Тулешов Е.А., Куатова М.Ж.**

**К82 Кривошипные рычажные прессы на основе механизма Стефенсона
II: Монография/ Тулешов А.К., Дракунов Ю.М., Джомартов А.А.,
Сейдахмет А.Ж., Джамалов Н.К., Тулешов Е.А., Куатова М.Ж.- Алматы,
2020. - 240 с.**

ISBN 978-601-332-973-4

Монография посвящена разработке методов математического моделирования кинематики, кинетостатики и динамики главных рабочих механизмов кривошипных прессов на базе четырехзвенных структурных групп. Предлагаются новые методы решения уравнений кинематики рычажных механизмов на базе четырехзвенных структурных групп. На их основе решены анализ и синтез новых схем главных рабочих механизмов Стефенсона для кривошипных прессов. Задача силового анализа учетом и без учетом сил трения, оценка КПД ГРМ кривошипного механизма решена на основе векторного метода. Рассматриваются задачи динамики кривошипных прессов: определение средней скорости, оценка виброактивности и динамического синтеза ГРМ. Рассматриваются разработка ПКД опытного образца кривошипного пресса и основы САПР кривошипных прессов в качестве инструмента для потенциальных производителей таких машин. В разработке САПР широко используются программные комплексы ANSYS, Simulation X, Maple и Matlab, а также Autodesk Inventor, APM Winmachine.

УДК 621.7 (035. 3)

ББК 34.5

ISBN 978-601-332-973-4

©Тулешов А.К., Дракунов Ю.М., Джомартов А.А., Сейдахмет А.Ж.,
Джамалов Н.К., Тулешов Е.А., Куатова М.Ж. 2020

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
1 КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ КРИВОШИПНЫХ ПРЕССОВ. СТРУКТУРА И КИНЕМАТИКА ГЛАВНОГО РАБОЧЕГО МЕХАНИЗМА.....	10
1.1 Особенности конструирования кривошипных прессов.....	10
1.2 Структура главных рабочих механизмов кривошипных прессов.....	13
1.3 Преимущество применения механизмов с четырехзвенными группами в кривошипных прессах.....	19
1.4 Характер изменение скорости рабочего ползуна механизма Стефенсона II кривошипного пресса.....	22
1.5 Кинематического анализ и синтез механизма Стефенсона II кривошипного пресса.....	29
1.6 Моделирование кинематики механизма кривошипного пресса в среде программирования ANSYS.....	37
2 СИЛОВОЙ АНАЛИЗ ГЛАВНОГО РАБОЧЕГО МЕХАНИЗМА КРИВОШИПНОГО ПРЕССА.....	41
2.1 Технологические процессы и силовые характеристики кривошипных прессов.....	41
2.2 Кинетостатический анализ механизма Стефенсона II кривошипного пресса.....	48
2.3 Силовой анализ механизма Стефенсона II кривошипного пресса с учетом сил трения.....	55
2.4 Оценка КПД механизма Стефенсона кривошипного пресса и выбор двигателя	61
2.5 Моделирование силового расчета механизма интегрированной среде Maple	65
3 ДИНАМИКА ГЛАВНЫХ РАБОЧИХ МЕХАНИЗМОВ СТЕФЕНСОНА КРИВОШИПНЫХ ПРЕССОВ.....	74
3.1 Анализ внутренней виброактивности, определение средней скорости и момента инерции маховика кривошипного пресса.....	74
3.2 Метод динамического синтеза кривошипно-ползунного механизма Стефенсона.....	85
3.3 Динамический синтез механизма Стефенсона кривошипного пресса.....	91

3.4	Моделирование динамики двигателей кривошипных прессов.....	95
3.5	Моделирование шагового серводвигателя для управления кривошипным прессом.....	104
3.6	Динамический анализ и синтез штамповочного механизма пресса с упругим звеном.....	111
3.7	Модерирование динамики кривошипного пресса на основе платформы SimulationX.....	121
4	ПРОЕКТИРОВАНИЕ КРИВОШИПНЫХ ПРЕССОВ НА БАЗЕ ГЛАВНЫХ РАБОЧИХ МЕХАНИЗМОВ СТЕФЕНСОНА.	130
4.1	Способы управления кривошипными прессами.....	130
4.2	Муфты и тормоза кривошипного пресса.....	132
4.3	Разработка 3D модели и проектно-конструкторской документации главного рабочего механизма Стефенсона кривошипного пресса.....	139
4.4	Основы САПР кривошипного пресса с ГРМ на базе четырех и шестизвенных групп.....	142
	СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	147
5	ПРИЛОЖЕНИЯ.....	151
5.1	Приложение А. Программа в системе MAPLE: Кинематика и кинетостатика механизма на базе четырехзвенной структурной группы (механизма Стефенсона II).....	151
5.2	Приложение Б. Программа в системе MAPLE на основе уравнений силового анализа ГРМ кривошипного пресса на базе механизма Стефенсона II.....	173
5.3	Приложение В. Моделирование динамики кривошипного пресса на основе механизма Стефенсона II в среде Simulation X.....	187
5.4	Приложение Г. Комплекс программ автоматизированного синтеза и анализа рычажных механизмов ASYAN.....	213
5.5	Приложение Д. Проектно-конструкторская документация опытного образца кривошипного пресса на базе механизма Стефенсона II.....	236

СОКРАЩЕНИЯ И УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

АПК – агропромышленный комплекс
КШМ – кузнечно-штамповочные машины
КШО – кузнечно-штамповочное оборудование
ГРМ- главный рабочий механизм
КПД – коэффициент полезного действия
В – вращательная пара
П – поступательная пара
ККПД – критерии качества передачи движения
КПС – критерии передачи сил
ЧПУ – частотно-параметрическим управлением
МВК – механизмы высоких классов
2 DOF – с двумя степенями свободы
3D – модели в трехмерном пространстве
САПР – система автоматизированного проектирования

ВВЕДЕНИЕ

В продукции машиностроения нуждаются АПК и горно-металлургическая промышленность, технология атомной и возобновляемой энергетики. Например, в этих отраслях широко используются кузнечно-штамповочное оборудование (КШО) и кузнечно-штамповочные машины (КШМ) на основе рычажных конструкции, предназначенные для формоизменения металлов и неметаллических материалов под действием давления. В последние десятилетия в мировой практике произошел качественный сдвиг в структуре и техническом уровне КШО в сторону применения лазерных, вибрационных, импульсных и цифровых технологии проектирования, компьютерного управления, мониторинга и технической диагностики.

подавляющая часть кривошипных прессов выполняется на базе кривошипно-ползунного механизма на базе двухзвенных структурных групп. Исследования плоских рычажных механизмов показывают, что вариантов их структуры бесконечное множество и можно образовать рычажных механизмов в различной конструкции для реализации определенного процесса. Чем сложнее структура рычажного механизма, тем сложными будут анализ и синтез таких механизмов. Следующей структурной группой, которая может составить основу рычажного механизма, являются два вида четырехзвенных структурных групп. Образованные на базе этих структурных групп механизмы называются механизмами Стефенсона II. Механизмы Стефенсона II намного реже используются в технике. Причиной тому сложность существующих методов исследования и проектирования механизмов на базе четырехзвенных структурных групп, которые широко не вошли в практику инженеров-конструкторов. Автоматизация процесса проектирования и расширение функциональных возможностей исполнительных кривошипных механизмов пресс-автоматов является привлекательным для разработки новых конструкции штамповочно-ковочных машин на базе четырехзвенных структурных групп.

Разработка новых конструкции механизмов машин, в том числе кривошипных прессов [1], начинается решения задач анализа и синтеза на основе математического моделирования. При реализации технологического процесса в кривошипных прессах нужно обеспечить заданную циклограмму перемещения рабочего ползуна: быстрый подъем, выстой, медленное опускание. В исследованиях кривошипных прессов рассмат-

риваются два способа достижений этой цели, первое - синтез механизма с одной степенью свободы [2,3,4,5], где эти свойства закладываются в свойства кинематической цепи, второе – решение этой задачи за счет дополнительной свободы кинематической цепи, которые получили названия гибридная пресс-система [6].

В работе [6] рассматривается семизвенный рычажный механизм с двумя степенями свободы (2 DOF), на котором одна обобщенная координата изменяется на основе силового двигателя постоянного тока (для реализации основного технологического процесса), вторая - на основе серводвигателя для обеспечения циклограммы технологического процесса.

Повышение эффективности применения кривошипных прессов, в частности, за счет увеличения производительности и качества поковки, расширения области применения (например, в мелкосерийном производстве, при производстве особо крупных изделий, при горячей штамповке 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.

Одной из важнейших характеристик прессы является жесткость его конструктивных элементов [3,5]. Жесткость прессы существенно влияет на продолжительность нагрузочной и разгрузочной фаз: чем больше жесткость звеньев, тем меньше время контакта штампа с поковкой. Это особенно важно для увеличения стойкости штампов в процессах горячей штамповки [5]. Однако увеличение жесткости конструкции прессы приводит к повышению ее металлоемкости, что не всегда экономически целесообразно. Так, например, для ряда технологических операций, в частности, для повышения качества поковки при холодной штамповке, желательно, наоборот, увеличивать продолжительность контакта штампа с заготовкой [5].

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.

Исследования показали [3,4,5], что более широкие функциональные возможности механизмов Стефенсона на базе четырехзвенных структурных групп позволяет создавать совершенно новые исполнительные кривошипно-ползунные механизмы кривошипных прессов

[16,17]. Они устраняют такие недостатки существующих кривошипных прессов, как перекосящий рабочий ползуна в процессе движения и наличие зубчатых механизмов передач, которые вводятся в конструкции исключения этого перекосящего [7]. На базе структуры механизмов Стефенсона можно синтезировать исполнительные механизмы кривошипных прессов, обеспечивающие нужные выстой рабочего органа, коэффициент изменения средней скорости как кривошипа, так и рабочего ползуна. Все это нужно для точной реализации циклограммы технологического процесса кривошипного пресса.

В первом разделе рассматриваются особенности конструкции кривошипных прессов, структура главных рабочих механизмов и перспективы использования механизмов Стефенсона с четырехзвенными структурными группами. Предлагается векторный метод кинематического анализа механизма Стефенсона II, аналитическое и численное решение задачи положения, скорости и ускорения. Определяется характер изменения скорости рабочего ползуна механизма Стефенсона II кривошипного пресса. На основе метода среднеквадратического приближения решена задача кинематического синтеза рабочего механизма пресса. Моделирование кинематики механизма кривошипного пресса проводится в среде программирования ANSYS, разработанная авторами данной книги [43].

Во втором разделе рассматриваются задачи силового анализа механизма Стефенсона II, проводится анализ различных технологических нагрузок в кривошипных прессах. На основе нового векторного метода решается задача кинетостатического анализа механизма с учетом и без учета сил трения. Приводится методика оценки КПД механизма Стефенсона и выбор двигателя. Моделирование силового расчета механизма проводится в интегрированной среде MAPLE [56].

В третьем разделе проводится моделирование задач динамики кривошипных прессов. Решается задача оценки внутренней виброактивности рычажного механизма пресса, определена средняя скорость кривошипа в установившемся режиме и момент инерции маховика с учетом конструктивной особенности главного рабочего механизма. На основе метода среднеквадратического приближения решена задача динамического синтеза механизма, на основе которого определены массы и моменты инерции подвижных звеньев, параметры нужного электродвигателя. Приводится методика моделирования динамических и статических характеристик двигателя внутреннего сгорания, асинхронного двигателя и шагового двигателя, которые часто применяются в

КШО. Динамический анализ и синтез штамповочного механизма прессы с упругим шатуном позволяет установить связь между параметрами упругих шатуна и обрабатываемого материала. На основе этого анализа решается возможность регулирования выстоя рабочего звена прессы.

Модерирование динамики кривошипного прессы проводится на основе платформы Simulation X. Simulation X [54] – это междисциплинарный программный комплекс для моделирования физико-технических объектов и систем. Основное достоинство программы Simulation X состоит в быстром построении моделей из интуитивно-понятных объектов механики: (масса, сила, момент, пружина, демпфер, трение, рычаг и т.д.), пневматики и гидравлики (пневмоцилиндр, клапан, дроссель и др.), машиностроения и электромеханики (моторы, муфты, сцепления, зубчатая и другие передачи, карданный вал, дифференциал и т.д.) и управления (датчики-измерители, управляющие сигналы и пр.).

В четвертом разделе рассматриваются вопросы моделирования и проектирования основных частей и деталей кривошипных прессов на базе механизма Стефенсона II. Рассматриваются муфты и тормоза кривошипного прессы, разработка 3D модели и проектно-конструкторской документации главного рабочего механизма Стефенсона. Основы САПР кривошипного прессы с ГРМ на базе четырех и шестизвенных групп предусматривает концепцию создания рабочего инструментария для конструктора производителей. Расчеты на прочность, проектные расчеты деталей и узлов, конструирования прессы, разработка 3D модели и проектно-конструкторской документации главного рабочего механизма Стефенсона проводятся в среде Autodesk Inventor [38], APM Winmachine [41,42].