

1544733

Московский ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и
ордена Трудового Красного знамени
государственный технический университет
имени Н.Э.БАУМАНА

На правах рукописи

Мезенцев Андрей Андреевич

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО
РАСЧЕТА ТОЧНОСТИ ЧЕТЫРЕХКРИВОШИПНЫХ ЛИСТОПТАМПОВЧНЫХ
ПРЕССОВ ПРОСТОГО ДЕЙСТВИЯ
Специальность 05.03.05 - Процессы и машины обработки
давлением

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

А.м.з

Москва - 1994

Работа выполнена в Московском Государственном Техническом
Университете имени Н.Э. Баумана.

Научный руководитель - кандидат технических наук, доцент
Складчиков Е.Н.

Официальные оппоненты: д.т.н., профессор Мировольский Ю.А.

к.т.н. Боков А.А.

Ведущее предприятие - Воронежское АО "ТЯЖМЕХПРЕСС"

Защита состоится " 13 " июня 1994 г. в час.
на заседании Совета К 053.15.13 в
Московском Государственном Техническом Университете им. Н.Э.
Баумана по адресу: 107005,
Ваш отзыв в 1-ом экзе
высылать по указанному ад
С диссертацией можнс
Н.Э. Баумана.

Автореферат разосла

Ученый секретарь Сс
К.053.15.13 к.т.н.,

Объем 1 п.л. Тираж

1544733

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Одним из широко используемых и перспективных видов кузнечно-штамповочного оборудования являются многокривошипные листоштамповочные прессы простого действия, используемые как универсальное оборудование и в составе автоматизированных линий листовой штамповки. Одним из факторов, существенно влияющих на качество штампуемых изделий, является точность прессов. Перекос и боковое смещение ползуна может изменить величину технологического зазора между матрицей и пуансоном при разделительных операциях, перераспределить усилие прижима фланца заготовки при вытяжных операциях. Пониженная точность прессов уменьшает их собственную долговечность и долговечность штампов. Остановка для ремонта или замены штампа на одном из прессов приводит к простоям всей линии.

В настоящей работе рассматриваются вопросы влияния динамики прессов на инструментальную точность. Поставленные задачи решаются средствами математического моделирования. Под точностью понимается разность фактических и заданных координат ведомого звена пресса. При этом вводится понятие идеального пресса, когда машина имеет полную симметрию рабочих зазоров в кинематических парах ветвей исполнительного механизма и нулевые первичные размерные ошибки звеньев. Разница в положениях ведомых звеньев реального и соответствующего ему идеального пресса принимается за ошибку положения пресса.

Исследования российских и зарубежных ученых показали, что для сложных механических систем прессов неочевидный динамический характер взаимодействия элементов Главного исполнительного механизма (ГИМ) при анализе рабочих процессов вообще, и точности в частности, в сочетании с пространственным расположением первичных ошибок в его ветвях часто приводит к непреодолимым сложностям в применении отработанных расчетных методик классической теории точности для анализа ошибки положения ползуна.

Из-за недостаточного изучения вопросов влияния динамики прессов на точность и отсутствия систематического обобщения, сравнительного анализа первичных ошибок на вторичные, вопросы точности рассматриваются в применяемых расчетных методиках в статической постановке и носят оценочный характер.

Таким образом, для повышения достоверности расчета точности

НТБ МГТУ им. Н.Э. Баумана



1544733

Мезенцев А.А. Разработка

прессов необходима автоматизированная, основанная на современных подходах к многовариантному анализу методика расчета вероятностных параметров точности с учетом динамических факторов.

Цель работы. Изучение динамики инструментальной точности многокривошипных прессов простого действия. Разработка методики и средств автоматизированного расчета точностных характеристик многокривошипных листоштамповочных прессов простого действия, обеспечивающей методами селективной сборки улучшение точностных характеристик прессов, повышение достоверности точностного расчета и снижение трудоемкости динамического расчета точности.

Задачи работы. Повышение значимости выборок входных точностных параметров многокривошипных прессов простого действия;

- определение вероятностных выходных параметров точности прессов;

- повышение инструментальной точности четырехкривошипных закрытых листоштамповочных прессов простого действия на основе точностного расчета с последующей оптимальной селективной сборкой;

- разработка программных средств для аналитического определения вероятностных параметров точности на основе математического моделирования;

Научная новизна. Разработана методика таксономии пространства параметров прессов. На основе применения методов таксономии обоснована возможность рассмотрения прессов ряда К4036, К4037, К4039А, К4040 как относительно изолированной группы среди рассмотренного пространства типоразмеров прессов - К43540, К3542, КБ3544, К3546, К3040, К4036, К4037, К4537, К4039А, К4040, К4540, К4542, К4546, К6037, К7538, К7039, К47040 - с центром в точке, соответствующей прессу К4037.

Разработаны типовые обобщенные математические модели для рас четного определения точности четырехкривошипных прессов простого действия для программного комплекса ПА7.

Разработаны специализированные математические модели узлов четырехкривошипных листоштамповочных прессов - гидроопоры, плунжерной направляющей, ползунов прессов.

Выявлен реальный характер траектории рабочего органа четырехкривошипных прессов простого действия.

Идентифицированы ошибки ветвей исполнительного механизма по

виду кривых выходных параметров точности.

Произведено ранжирование первичных ошибок точности прессов и их пространственных сочетаний по степени влияния на вторичные ошибки точности.

Практическая ценность. Разработана методика автоматизированного расчета точности прессов с использованием вероятностных параметров точности, предложена новая апробированная методика оптимальной сборки и доводки четырехкривошипных листоштамповочных прессов простого действия, повышающая инструментальную точность в среднем на 50 - 70 процентов, разработано программное обеспечение для исчерпывающего динамического анализа и расчетного определения точности четырехкривошипных закрытых листоштамповочных прессов простого действия, позволяющее ускорить и упростить процесс сборки и принятия решений с учетом реальных ошибок изготовления различных деталей прессов в 2 - 3 раза, программное обеспечение по автоматизированному многовариантному динамическому анализу прессов. Приводятся подробные данные о сравнительном влиянии на точность прессов К4036 - К4040 различных факторов из числа первичных ошибок точности.

Апробация работы. По основным разделам работы сделано два доклада на научных семинарах кафедры МТБ "Физико - технологических процессов и оборудования автоматизированной обработки давлением" МГТУ им. Н.Э. Баумана в 1990 и 1992 годах.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 3 статьи.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, 6 глав, заключения, общих выводов, списка литературы и приложений. Она изложена на 170 страницах машинописного текста, содержит 38 рисунков, 1 таблицу, список литературы из 84 наименований, 145 страниц приложений.

Внедрение результатов. Методика расчета точности и селективной сборки прессов применяется в проектировании многокривошипных прессов ГKB Воронежского АО ТЯЖМЕХПРЕСС. Разработанные типовые модели многокривошипных листоштамповочных прессов простого действия и программное обеспечение по многовариантному динамическому анализу используются в конструкторской подготовке производства на АО "ТЯЖМЕХПРЕСС".

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы, ее цель, науч-

ная новизна, приведены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе рассмотрено современное состояние проблемы расчета точности многокривошипных листштамповочных прессов простого действия и моделирования данного класса Кузнечно - прессового оборудования (КПО).

Общему расчету и конструированию многокривошипных машин посвящены работы Ю.А. Бочарова, А.Г. Овчинникова, Л.И. Живова, В.И.Власова, А.Ф. Нистратова, Г.Н. Ровинского, и др.

Работы, непосредственно посвященные методике расчета точности прессов и месту этого расчета в процессе конструкторской подготовки производства, достаточно редки (работы Е.Н. Ланского, В.И. Балаганского), хотя в доступной для конструктора общей литературе вопросы точности прессов отмечаются как важные, с некоторыми рекомендациями, носящими как правило постановочный характер. Классическая теория точности (Н.Г.Бруевич и др.) не рассматривает без серьезных упрощений класс объектов высокой сложности с векторными размерными первичными ошибками, каким являются механические прессы. В связи с этим актуальна постановка прямой задачи точности многокривошипного прессы, которая по своей сути является задачей анализа - определения выходных точностных характеристик прессы по известным первичным ошибкам звеньев механизма. В литературе отсутствуют данные о систематизированном анализе первичных и вторичных ошибок точности, что осложняет решение прямой задачи точности прессов.

В практике прессостроения известны случаи, когда собранные из годных в размерном смысле деталей прессы в отдельных случаях не соответствовали нормам точности по ГОСТ 23794-84 , причем степень такого несоответствия может достигать 3-5 кратного значения. В связи с этим правомерна постановка и обратной задачи - по известным выходным параметрам точности определить детали или группу деталей, приводящих к потере прессами точности.

В литературе по экспериментальному определению точности прессов отмечается (Т.Мартон), что детерминированные параметры точности по ГОСТ 23794-84 иногда не в полной мере характеризуют положение ползуна в любой момент времени, а ряд авторов (Е.Н.Ланской и др.) предлагают использование вероятностных параметров (типа наибольшего вероятного перекоса ползуна на рабочем ходе) для описания ошибок точности прессов. Однако в

условиях отсутствия данных об особенностях распределения вторичных ошибок точности прессов применение вероятностного аппарата затруднительно.

Методика многовариантного анализа для получения вероятностных характеристик распределения рабочих параметров применяется для анализа электронных схем с использованием математического моделирования. Использование аналогичного подхода к сложным механическим системам, являющимся совокупностью подсистем разной физической природы - механических, пневматических, гидравлических, электрических, информационных - сдерживалось отсутствием соответствующих средств создания моделей таких систем, адаптированных к конкретным предметным областям.

Методы классической теории точности (Н.Г.Бруевич, Е.А. Правоторова и др.) используют для расчета точности аналитически получаемые на основе принципа Даламбера или уравнения Лагранжа 2-го рода зависимости, связывающие между собой первичные ошибки размеров и положений звеньев механизмов и вторичные ошибки положения ведомых звеньев. Исследователями предпринимались попытки получения таких зависимостей, однако даже в случае успешного аналитического решения для сложной пространственной системы механизма многокривошипного пресса с векторными первичными ошибками звеньев, зазорами и учетом динамических факторов, такие решения при попытке линеаризации получаемой системы уравнений требуют упрощений, вносящие искажения в модели. Для таких моделей трудоемко и изменение параметров, что неприемлемо для статистических многовариантных методов.

Таким образом для успешного решения прямой и обратной задачи точности многокривошипных прессов необходима методика, одним из основных положений которой должна стать доступная и эффективная процедура создания динамической математической модели пресса; учитывая сложность проблемы точности прессов даже в части постановки (что следует из работ В.И. Власова, Л.И. Живова в области листштамповочных прессов, А.А. Игнатова в области кривошипных горячештамповочных прессов и др.) необходимы также и рекомендации по применению такой методики.

Анализ литературы (Edward J. Haug, В.Г. Федорук и др.) показал высокую эффективность программных комплексов динамического анализа, использующих узловый метод автоматизированного

генерирования систем дифференциальных уравнений. В частности, доказана эффективность применения программных комплексов типа ПА6 и ПА7, адаптированных к области прессостроения, для решения разнообразных задач динамики кузнечно-прессового оборудования (работы Е.Н. Складчиков, Анд. В. Власова). Это позволяет сделать вывод о возможности применения подобного программного обеспечения и для анализа точности прессов с соответствующей адаптацией библиотек моделей и программ обработки данных.

Таким образом задачами данного исследования являются:

1. Разработать на примере выделенной в области много-кривошипных листоштамповочных прессов простого действия изолированной группы прессов подобной конструкции научно-обоснованную автоматизированную методику анализа точности прессов с использованием программного комплекса ПА7.

2. Адаптировать программный комплекс динамического анализа ПА7 к области исследования точности многокривошипных прессов путем создания недостающих математических моделей типовых элементов многокривошипного пресса, влияющих на точность, а также пре- и постпроцессорной надстроек для многовариантного анализа прессов с использованием статистических методов.

3. Разработать типовые обобщенные математические модели для анализа точности прессов.

4. Разработать вероятностные параметры точности, дополняющие величины ГОСТ 23794-84, адекватно отражающие движение ползуна пресса, доступные в практическом использовании.

5. Экспериментально проверить адекватность разработанных обобщенных моделей прессов.

6. На основе результатов динамического моделирования разработать комплекс мероприятий по снижению динамических нагрузок в системе пресса за счет рационального распределения зазоров и допусков в системе ГИМ для повышения точности прессов.

Вторая глава посвящена разработке методики анализа точности четырехкривошипных листоштамповочных прессов простого действия.

В связи с тем, что в литературе не приводится строгих формальных ограничений на построение математической модели методами классической линейной и нелинейной теории точности, для выбора средств создания такой модели необходимо проведение исследования возможности явного аналитического подхода.

Исследуется механизм многокривошипного прессы. Установлено, что теоретически механизм прессы имеет одну свободу движения в направлении рабочего хода. Далее показано, что даже для самых простейших размерных ошибок кривошипно - ползунного механизма, выражение, связывающее пространственное сочетание четырех плоских механизмов с низшими кинематическими парами 5 класса, закрепленных на общем ползуне без направляющей системы приводит к непреодолимым трудностям в попытке получения выражения для ошибки положения и не позволяет использовать методы теории точности при реализации статистических методов многовариантного анализа. Этим обосновывается необходимость применения матрично - топологических методов для автоматизированного создания математических моделей прессов. При этом методика анализа точности механизмов с использованием расчетных подходов, изложенная в теории точности, может использоваться в качестве методической основы анализа точности прессов после необходимой доработки.

Для повышения статистической значимости данных по многокривошипным листоштамповочным прессам простого действия в условиях малосерийного производства и упрощения описания пространства прессов путем указания центральной точки какой-либо области и радиуса гиперсферы в пространстве рассматриваемых параметров, в работе проводится таксономия пространства ряда конструктивных параметров прессов. Параметры выделены на основе представления свойств конструктивных узлов, которые описаны в литературе как влияющие на точность. В результате применения алгоритмов таксономии получены устойчивые сферические таксоны и на примере одного из таких таксонов, включающих прессы ряда К4036 - К4040, продолжено рассмотрение закономерностей точностного многовариантного анализа прессового оборудования.

Сделан вывод о том, что проведение анализа точности прессов как сложных механических систем, должно строиться на основе реализации поэтапного подхода, когда информация, полученная на предыдущем этапе анализа, служит основой для проведения последующего этапа. Этим обоснована целесообразность проведения предварительного моделирования центральной точки выделенного таксона с использованием относительно простой модели для сопоставления экспертных оценок входных параметров точности с результатами решения известной из теории графов (К.Берж) "задачи о лидере" для "сильных" входных параметров точности прессов.

В качестве входных параметров точности (первичных ошибок звеньев) в работе рассматриваются размерные ошибки элементов ГИМ и их пространственные сочетания (рис. 1):

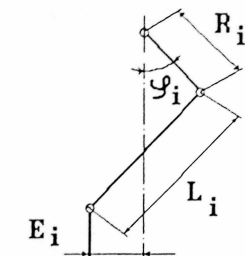


Рис. 1

Первичные ошибки точности прессов

ΔR_i - ошибка радиуса кривошипа;
 $\Delta \varphi_i$ - ошибка начального углового положения кривошипа;
 ΔL_i - ошибка длины шатуна;
 ΔE_i - ошибка дезаксиала;
 ΔZ_i - суммарный зазор в i кинематической цепи

(Где $i=1 \dots n$, а n - число ветвей исполнительного механизма пресса).

В качестве выходной детерминированной характеристики точности принят перекося ползуна пресса в двух взаимоперпендикулярных направлениях, параллельных осям симметрии ползуна, а в качестве вероятностного параметра - наибольший вероятный перекося ползуна в тех же направлениях на нижнем участке траектории ползуна, составляющим 25 процентов хода пресса.

В третьей главе производится разработка средств для реализации предложенной методики автоматизированного многовариантного анализа листоштамповочных прессов простого действия.

С использованием существующих моделей программного комплекса ПА7, адаптированного к области прессостроения, создана типовая упрощенная модель для центральной точки ряда К4036-К4040 - пресса КА4037, отображающая свойства этого пресса в первом приближении для анализа необходимости дополнительного создания моделей узлов пресса с более детализированным представлением свойств. На основе анализа полученных функций влияния входных параметров на выходные и тестирования упрощенной модели с различной степенью детализации представления свойств узлов принято решение о дополнительной разработке моделей следующих сборочных единиц и узлов: ползуна для предварительного моделирования точности, гидропоры пресса, плунжерной направляющей, ползуна четырехкривошипного пресса.

Модель гидропоры (рис. 2) воспроизводит свойства гидравлического цилиндра одинарного действия при движении поршня гидропоры в отрицательном направлении при закрытом запорном

клапане 4 и в положительном направлении при открытом. Модель отображает различную жесткость узла в различных направлениях, что соответствует контакту по запорному кольцу 1 или по рабочей жидкости 2, а также сложный закон передачи изгибающего момента, когда гидроопора не передает момент относительно оси, перпендикулярной главному движению до выбора зазора Δ между поршнем гидроопоры 2 и ее корпусом 1, а после его выборки момент передается по законам для физического тела с линейной жесткостью точечного контакта. Сила, возникающая в гидроопоре во время ее работы в случае выборки зазора определяется из выражения:

$$N = c \delta_k \quad (I)$$

где: c - жесткость точечного контакта;

δ_k - текущая деформация контактирующих поверхностей.

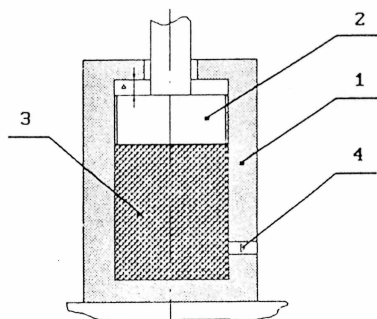


Рис. 2

Схема модели гидроопоры

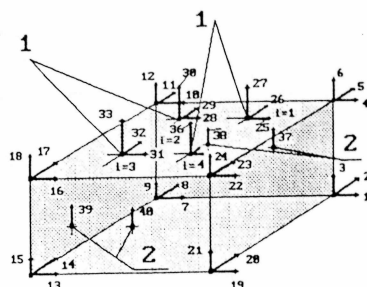


Рис. 3

Схема модели ползуна

Модель ползуна (рис. 3) отображает свойства ползуна четырехкривошипного листоштамповочного пресса с восьмикратными направляющими конструктивно выполненными на теле ползуна с четырьмя точками подвески (1), уравнивателями (2) и точкой для подсоединения модели технологической нагрузки и является супер-элементным параллелепипедом с габаритами ползуна пресса. Модель использует для расчета узловых сил и коэффициентов проводимости и составления матрицы проводимости, со следующими коэффициентами:

$$Y_{ij} = \frac{\partial F_i}{\partial v_j}, \quad i=1...40, j=1...40 \quad (2)$$

известные из теории супер - элементного подхода зависимости.

Модель плунжерной направляющей воспроизводит контактное взаимодействие твердых тел с постоянной величиной поверхности контактирования при относительном движении элементов кинематической пары и реализует известную формулу, связывающую силу трения с коэффициентами сухого, вязкого и квадратичного трения k_1, k_2, k_3 и нормальной реакцией в плунжерной направляющей R :

$$F_{TP} = -R(k_1 \text{sign } \dot{\gamma} + k_2 \dot{\gamma} + k_3 \dot{\gamma}^2), \quad (3)$$

где: $\dot{\gamma}$ - скорость относительного движения вала плунжера в направляющей, определяемая из решения уравнения движения плунжерного вала в обобщенной модели пресса.

Модели плоского ползуна для предварительного моделирования прессов и модель ползуна многокривошипного пресса из стержневых элементов являются моделями разной степени детализации его свойств, реализующими предложенный поэтапный подход к динамическому анализу точности. Модель стержневого ползуна состоит из моделей стержневых элементов.

В связи с большим количеством расчетных вариантов при статистическом исследовании групп прессов возможность ручной обработки полученных результатов отсутствует, поэтому в работе создано программное обеспечение в виде пре- и постпроцессорных надстроек, совместимых с вычислительным ядром комплекса ПА7. Препроцессорная надстройка предназначена для автоматизированного формирования параметров в текстах обобщенных моделей прессов на языке комплекса ПА7 по заданному закону распределения первичных ошибок. Постпроцессорная надстройка предназначена для автоматизации хранения и обработки полученных файлов результатов, осуществляет расчет вероятностных характеристик выходных параметров точности прессов, функций влияния первичных ошибок на вторичные и ранжирование первичных ошибок.

Важной особенностью разработанного программного обеспечения является узкая ориентация системы команд на решение задач точности прессов.

В четвертой главе анализируются результаты теоретического исследования точности прессов ряда К4036-К4040.

При точностном анализе были приняты следующие исходные допущения, основанные на обобщении экспериментальных данных (АО ТМП), проверяемые в теоретическом исследовании:

- положение ползуна пресса определяется в любой момент времени координатами трех ветвей ГИМ, имеющих силовое взаимодействие с ползуном;

- деформация элементов конструкции пресса мала по сравнению с погрешностями, вносимыми за счет размерной асимметрии ветвей привода;

Указанные положения проверялись с помощью тестовых примеров и в процессе многовариантного анализа прессов исследуемого ряда. При этом не выявлено противоречий принятым положениям, на основании чего был сделан вывод о правомерности данных положений.

В результате проведенного анализа установлено:

1. Выходные перекосы ползуна пресса в направлении 1-4 - D_1 и в направлении 1-2 - D_2 (рис. 4) имеют нормальный закон распределения и при расчете максимального вероятного перекоса ползуна справедливо следующее преобразование:

$$M[D_1] \approx 0, \quad M[D_2] \approx 0 \text{ и } D_m \approx 0, \quad (4)$$

где: $M[D_1]$, $M[D_2]$ и D_m - средние значения и корреляционные моменты компонентов перекоса. В этом случае наибольшая вероятная величина перекоса составит:

$$N = \max(3\sigma[D_1], 3\sigma[D_2]) \quad (5)$$

где: σ - дисперсия соответствующего перекоса ползуна на рассматриваемом отрезке хода.

2. Система четырехкривошипного пресса обладает значительными резервами по компенсации ошибок положения ползуна за счет внутренних факторов - наличия избыточной связи и возможности изменения положения в пространстве связей, имеющих силовое взаимодействие с ползуном в данный момент времени; потеря способности к компенсации ошибок положения ползуна наступает при определенных неблагоприятных пространственно - размерных сочетаниях первичных ошибок ГИМ пресса. Наиболее динамически неустойчивое положение ползуна имеет место, когда пара активных, недиагонально расположенных связей имеет следующее пространственное расположение и размерные параметры:

5 баллов (наилучший случай): в ветвях (рис. 4) 2 и 4, 1 и 3, незначительные (менее 20 процентов допуска на суммарный зазор в цепи) различия в величинах суммарного зазора (азор велик), а две другие связи в свою очередь также имеют незначительные (менее 20 процентов) различия в величинах суммарного зазора

(мал); либо различия в величинах суммарного зазора сопоставимы (в пределах 20 процентов допуска на суммарный зазор во всех

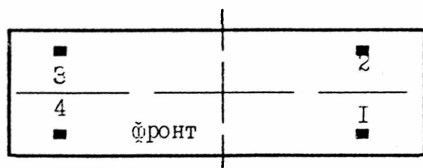


Рис.4. Схема нумерации ветвей исполнительного механизма прессы (кинематических парах цепи) для всех четырех ветвей.

4 балла: в ветвях 1,2 и 3, 1 и 4, незначительные (менее 20 процентов допуска на суммарный зазор в цепи) различия в величинах суммарного зазора (зазор велик), а другая (две другие) связи также имеют незначительные (менее 20 процентов) различия в величинах суммарного зазора (мал);

3 балла: в ветвях 1,2, 4, зазор мал, в остальных – велик; в ветвях 1 и 4, незначительные (менее 20 процентов допуска на суммарный зазор в цепи) различия в величинах суммарного зазора (зазор мал), а две другие связи в свою очередь также имеют незначительные (менее 20 процентов) различия в величинах суммарного зазора (велик);

2 балла: в ветвях 2, 3, 4 зазор мал, в ветви 1 – велик.

1 балл (наихудший случай): в ветвях 3 и 4, 3, 1, 1 и 2 зазор сопоставимо мал, а в остальных – сопоставимо велик.

В случае оценки пространственного сочетания в 1-2 балла полностью теряется компенсационная способность четырехточечной подвески ползуна и наличие избыточной связи является дестабилизирующим фактором. При этом наблюдается динамически неустойчивое равновесие ползуна относительно его диагонали в горизонтальной проекции и создаются условия для колебательных процессов при технологической нагрузке прессы.

Балльная оценка основана на соответствии максимального выявленного вероятного перекоса одному баллу и минимально выявленного пяти баллам в условиях установленного квазилинейного закона соответствия балл – случай.

3. По виду функциональных зависимостей между входными и выходными параметрами точности, первичные ошибки могут быть подразделены на линейные – имеющие линейную функцию влияния входных параметров на выходные – и нелинейные, имеющие

соответственно нелинейную. К линейным первичным ошибкам относятся ошибки радиуса эксцентрика, длины шатуна и начального углового положения эксцентрика; все прочие ошибки - зазоры в кинематических парах ГИМ, ошибки координат центров отверстий валов ГИМ, ошибки дезаксиала - являются существенно нелинейными.

4. Изменения размеров элементов прессов, линейно влияющих на точность, находящиеся в пределах до двух значений допусков на размер, не влияют на перекося ползуна на нижнем участке траектории в отсутствии асимметрии зазоров и дезаксиалов в кинематических парах ветвей исполнительного механизма.

5. Ошибки дезаксиала прессов ряда КА4037-КА4040 сопоставимы с асимметрией зазоров в ветвях ГИМ пресса по степени влияния на выходные параметры точности.

6. Чувствительность прессов ряда КА4037 - КА4040 к линейным входным ошибкам, особенно к ошибке радиуса эксцентрика, пропорциональна радиусу кривошипа.

7. При увеличении быстроходности прессов свыше 17 ходов в минуту и при массах ползуна свыше 25 000 килограммов, существенный вклад в точность вносят колебательные процессы, связанные с неравномерностями инерционно-массовых параметров ползунов и элементов ГИМ, а не с размерными ошибками. Для выявления закономерностей указанных процессов необходимо проведение исследования на третьем уровне детализации точностных процессов в кривошипных прессах при рабочих нагрузках.

В пятой главе проводится экспериментальная проверка адекватности модели пресса КА 4037 и моделей гидропор прессов через сопоставление экспериментальных данных об общей деформации пресса в различных режимах работы гидропоры с результатами, полученными в ходе математического моделирования с использованием разработанных обобщенных моделей прессов. В результате такого сопоставления установлено, что погрешность математического моделирования по сравнению с экспериментом составляет 8-10 процентов, в связи с чем сделан вывод об адекватности математического моделирования.

В шестой главе рассматривается точностной расчет в структуре процесса проектирования четырехкривошипных листоштамповочных прессов простого действия и непосредственно содержание точностного автоматизированного расчета прессов.

Методика точностного расчета состоит в следующем:

1. Выделение параметров, влияющих на точность области КПО для предстоящего многовариантного анализа, сведение данных о прессах в таблицу типа "объект - свойство".

2. Выделение групп близких по параметрам КПО, выделение центра рассматриваемой группы - наиболее "характерного" представителя группы методами таксономии.

3. Выделение входных и выходных параметров точности для полученных групп на основании экспертных оценок:

3.1. Внутренних входных, связанных с внутренними ошибками;

3.2. Внешних входных, связанных с внешними воздействиями - например, температурой, запыленностью, и т.д.

4. Создание предварительной упрощенной модели центров выделенных групп с использованием средств функционального проектирования (комплекса ПА7 или иного) на базе существующих моделей узлов в библиотеках используемого программного комплекса. При отсутствии таких библиотек в комплексе - использование примитивов: моделей массы, упругости, различных связей.

5. Предварительное моделирование и анализ полученных результатов с целью:

5.1. Уточнения входных параметров точности и сопоставления экспертных оценок с другими данными, полученными методами оценки значимости и ранжирования параметров;

5.2. Оценки требуемой степени детализации представления свойств основных узлов пресса, влияющих на точность.

5.3. Принятие решения о необходимости создания новых математических моделей узлов, без которых принципиально невозможно представление объекта моделирования;

6. Разработка недостающих математических моделей узлов, влияющих на точность в наибольшей степени, с высокой детализацией свойств, при моделировании не только процессов в механических подсистемах данных узлов, но и в гидравлических, пневматических и информационных их подсистемах.

7. Создание более детализированной математической модели пресса - центра данной группы для анализа на втором уровне детализации.

8. Анализ информации о законах распределения и граничных условиях изменения уточненных входных параметров точности и выбор соответствующего закона распределения входных параметров

точности; при отсутствии информации о распределении параметров - принятие гипотезы о нормальном отнулевом распределении.

9. Автоматизированный многовариантный анализ с автоматической модификацией параметров наперед составленных моделей КПО и создание базы данных выходных параметров с автоматизированным хранением и обработкой получаемой информации. Выводы по обеспечению точности на ходе приближения.

10. Создание модели для рабочей точности центра группы и других её элементов с учетом ошибок распределения массово-инерционных и жесткостных параметров.

11. Многовариантный анализ с автоматической модификацией параметров наперед составленных моделей КПО и создание базы данных выходных параметров рабочей точности области прессов с автоматизированным хранением и обработкой получаемой информации. Выводы по обеспечению точности на рабочем ходе.

В Заключении рассматриваются пути развития разработанной методики, состоящие в рассмотрении на третьем этапе точностного анализа неравномерностей распределения массовых, инерционных, жесткостных параметров ГИМ на рабочую точность прессов.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ.

1. Установлено, что задача анализа точности прессов может быть решена только на основе применения поэтапного подхода, когда информация, полученная на предыдущем этапе вносит существенную ясность в постановку и выбор методов решения задачи на следующем; на этой основе разработана методика поэтапного автоматизированного точностного расчета многокривошипных листоштамповочных прессов на базе программного комплекса ПА7.

2. На основе использования методов таксономии пространства параметров многокривошипных прессов выявлена возможность формального выделения устойчивых групп близких по параметрам прессов - рядов; показана возможность математического моделирования таких относительно изолированных групп и анализа их особенностей в основном по свойствам центральной точки с проверкой выявленных закономерностей на периферийных точках ряда.

3. Выявлены первичные и вторичные размерные ошибки точности четырехкривошипных прессов простого действия; установлено, что в качестве вторичной ошибки может рассматриваться наибольший вероятный перекося ползуна на нижнем участке его траектории.

Первичные размерные ошибки могут быть подразделены по виду функции влияния на линейные и нелинейные. К линейным входным ошибкам относятся ошибки радиуса эксцентрика, длины шатуна и начального углового положения эксцентрика; все прочие первичные ошибки точности - зазоры в кинематических парах ГИМ, ошибки координат центров отверстий валов ГИМ, ошибки дезаксиала - являются существенно нелинейными.

4. Показана определяющая роль нелинейных ошибок при потере прессами точности.

5. Экспериментально подтверждена адекватность разработанных типовых обобщенных математических моделей прессов и их узлов.

6. Разработанная новая методика и пакет прикладных программ автоматизированного многовариантного анализа КПО на базе комплекса ПА7 позволяют производить сравнительную оценку распределения допусков и зазоров базовых деталей ГИМ при проектировании многокривошипных прессов и находят применение в конструкторской подготовке производства Воронежского АО "Тяжмех-пресс". Применение пакета программ позволяет ускорить и упростить процесс сборки прессы и принятия решений по пространственному расположению деталей с учетом их реальных ошибок изготовления в 2 - 3 раза. Рекомендации по селективной сборке четырехкривошипных прессов простого действия позволяют повысить их инструментальную точность в среднем на 50-70 процентов.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. E. Scladchicov, An. Vlasov, An. Mezentshev. ADVANCED ATTITUDE TO THE DYNAMIC SIMULATION AS A STAGE IN CAD OF FORGING EQUIPMENT//ADVANCES IN COMPUTER SCIENCE APPLICATION TO THE MACHINERY. -Beijing:IAP, 1991. -P.293-300.

2.Мезенцев А.А., Складчиков Е.Н. Применение кластерного анализа для выделения близких по конструктивным параметрам многокривошипных листоштамповочных прессов. - М.:МГТУ, 1993. -12с. (Деп. в ВИНТИ 20.01.1994, № 164В94).

3. В.И. Балаганский, Е.Н. Складчиков, А.А. Мезенцев. Методика автоматизированного расчета на точность многокривошипных листоштамповочных прессов простого действия//Вестник Машиностроения. -1994. -№4. -С.55-59.

А. Мезенцев