

М/4888/2
Государственный Комитет СССР по народному образованию

Московское ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени высшее техническое
училище имени Н.Э.Баумана

на правах рукописи

УДК 621.730.6:658.512.4

КУРДИК СЕРГЕЙ АСКОЛЬДОВИЧ

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РАСЧЕТА
ДОЛГОВЕЧНОСТИ ПО УСЛОВИЯМ ПРОЧНОСТИ ТЯЖЕЛОНАГРУЖЕННЫХ
ЭЛЕМЕНТОВ МНОГОКРИВОЛИННЫХ ЛИСТОВТАМПОВЫХ ПРЕССОВ

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

Москва - 1989

Работа выполнена в Московском высшем техническом училище
имени Н.Э.Баумана

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

Официальные оппоненты : Д.т.н., профессор Живов Л.И.

К.т.н., с.н.с. Еабин Н.Б.

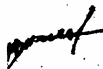
Ведущее предприятие - ЗИИ

Защита состоится "29" мая 1989 г. в 14³⁰ час.
на заседании специализированного Совета К 053.15.13 в Москов-
ском высшем техническом училище им. Н.Э.Баумана по адресу:
107005, Москва, 2-я Бауманская ул., д.5.

Ваш отзыв в одном экземпляре, заверенный печатью, просим
выслать по указанному адресу.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МВТУ

4 _____ 1989 г.

 ЕАБИН Н.Б.

МН/888/2

Зак. 478 объем I п.л.
Н.Э.Баумана

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. В соответствии с "Основными направлениями экономического и социального развития СССР на 1986 - 1990 годы и на период до 2000 года" среди важнейших задач экономического и социального развития страны отмечена необходимость ускоренного экономического развития на базе интенсификации общественного производства и повышения его эффективности.

Решение этих задач невозможно без дальнейшего совершенствования технологии и оборудования листоштамповочного производства. В настоящее время листовая штамповка является одним из перспективных и незаменимых видов обработки металлов, который особенно широкое распространение получил в таких современных машиностроительных отраслях промышленности, как автомобилестроение и авиастроение. Повышение точности производимых поковок и производительности листоштамповочного оборудования в настоящее время связывается с широким использованием автоматических и автоматизированных линий на базе современных многокровошипных листоштамповочных прессов.

Однако надежность отечественных листоштамповочных прессов в настоящее время не удовлетворяет высоким требованиям современного производства. Нарботка на отказ современного листоштамповочного пресса составляет 60 ... 12 часов при среднем восстановлении 2 ... 0,5 часа (худшие показатели относятся к прессам с большим номинальным усилием). При этом до 37 % всех случаев поломок всех многокровошипных листоштамповочных прессов носят усталостный характер.

Применяемые в настоящее время методы расчета элементов многокровошипных листоштамповочных прессов на долговечность по условиям прочности не учитывают динамический характер нагружения машины и основаны на детерминистских представлениях. Их применение в каждом конкретном случае может приводить к довольно значительным ошибкам.

В связи с этим разработка и внедрение методики расчета на долговечность по условиям прочности элементов многокровошипного пресса на основе анализа динамики и вероятностных

I

НТБ МГТУ им. Н.Э. Баумана



1488812

Курдюк С.А. Разработка мето

представлений является одной из актуальных проблем, решение которой позволит повысить характеристики надежности проектируемого оборудования. Автоматизация расчетов на долговечность позволит ускорить принятие проектных решений при одновременном повышении их качества.

Настоящая работа является составной частью исследований, проводимых в МВТУ имени Н.Э.Баумана в соответствии с программой ГХНТ ОI6.Ю по разделу ОI.12.Н "Разработать принципы моделирования, методы и средства программного математического обеспечения для анализа и синтеза ГПС и его подсистем, включая роботизированные комплексы".

Цель работы: Целью работы является повышение надежности и долговечности многокривошипных листоштамповочных прессов.

Методы исследования. Применялись теоретические и экспериментальные методы исследования.

Теоретические исследования проводились в направлении создания аппарата динамического моделирования многокривошипных листоштамповочных прессов и расчета долговечности прессов и их элементов. Созданные средства позволяют получать в сжатые сроки математические модели, описывающие расчетные схемы прессы с десятками и сотнями степеней свободы. Разработаны математические модели многокривошипного прессы, отражающие все его существенные свойства и позволяющие проводить анализ нагружения элементов привода и исполнительного механизма.

В рамках теоретических исследований была проведена адаптация существующих вероятностных методов расчета на долговечность к области многокривошипных листоштамповочных прессов. Разработаны методы расчета коэффициентов вариации нагрузки на элемент для каждого закона нагружения, учитывающие возможное изменение формы распределения амплитуд закона нагружения. Предложен способ учета начального положения сечения вала на повреждающий эффект процесса нагружения.

Экспериментальные исследования проводились с использованием электрических методов измерения механических величин, с применением приборов, электронно-усилительной и регистрирующей аппаратуры.

Кроме того, в работе были проведены численные эксперименты, подтверждающие правомерность предложенных усовершенствований вероятностных методов расчета долговечности.

Научная новизна. Научную новизну настоящей диссертационной работы составляет:

- методика динамического моделирования многокривошипных листоштамповочных прессов на основе программных комплексов анализа динамики типа ПА-6;
- разработанная библиотека математических моделей типовых элементов многокривошипных листоштамповочных прессов;
- модели однокривошипного пресса с разветвляющимися потоками энергии и четырехкривошипного листоштамповочного пресса, предназначенные для анализа процесса нагружения тяжелонагруженных элементов привода и исполнительного механизма (модель четырехкривошипного пресса обеспечивает возможность учета внецентрального приложения технологической нагрузки;
- методика расчета долговечности тяжелонагруженных элементов многокривошипных листоштамповочных прессов на основе существующих вероятностных методов расчета долговечности по условиям прочности;
- методы расчета коэффициентов вариации напряжений от нерегламентируемых факторов для каждого класса процесса нагружения с учетом возможного изменения формы распределения амплитуд напряжений закона нагружения;
- учет влияния вероятностного характера нерегламентируемых факторов (усилие операции, эксцентриситет приложения технологической нагрузки) на вероятностный характер нагружения элементов пресса на основе данных моделирования работы пресса с варьированием значений нерегламентированных факторов;
- учет влияния начального положения элементов привода на повреждающий эффект процесса нагружения.

Практическая ценность. Методика автоматизированного расчета долговечности может применяться в практике проектирования благодаря программному обеспечению, поддерживающему основные стадии расчета. Разработаны программы, реализующие математические модели основных типовых элементов многокривошипных прессов, программы записи процесса нагружения валов, зубчатых колес и шатунов, программный комплекс анализа долговечности по условиям

прочности. Все указанные части программного обеспечения имеют согласованные интерфейсы, что позволяет в автоматизированном режиме стыковать все расчеты на отдельных этапах реализации методики без разработки какого-либо дополнительного программного обеспечения. Разработанное программное обеспечение ориентировано на использование в вычислительной среде ОС ЕС и поддерживается разветвленной сетью каталогизированных процедур, позволяющих строить гибкие пакеты заданий на расчет долговечности.

Разработанное программное обеспечение не требует высокой квалификации пользователя и сопровождается подробной документацией. Практика показывает, что обучение использованию разработанного программного обеспечения не требует больших затрат времени.

Путем многократного повторения процесса анализа долговечности для прессы К4037 получена матрица чувствительности долговечности от основных конструктивных и технологических параметров, которая может послужить основой для целенаправленного улучшения конструкции прессы при проектировании, а также обоснованному выбору режимов его эксплуатации. Результаты работы могут быть использованы при анализе других механических систем.

Автор защищает - методику динамического моделирования многокривошипных прессов на основе комплекса ПА6;

- библиотеку математических моделей типовых элементов многокривошипных листоштамповочных прессов;

- модели однокривошипного прессы с разветвляющимся потоком энергии и четырехкривошипного листоштамповочного прессы, предназначенных для анализа процесса нагружения элементов привода и исполнительного механизма;

- методику автоматизированного расчета долговечности по условиям прочности тяжело нагруженных элементов многокривошипных прессов на основе вероятностных методов.

Апробация работы. По основным разделам работы, а также по законченной диссертации сделаны доклады на научных семинарах кафедры "Машины и автоматизация процессов обработки металлов давлением" МВТУ им. Н.Э.Баумана (1985 - 1988) и доклады на межвузовской научно-технической конференции в г. Калуга (1987), Всесоюзном семинаре передового опыта в МДТП (1988), техсоветах на ВЗТП (1987 - 1988).

Публикации. По теме диссертационной работы опубликовано 4 печатных труда.

Объем работ. Диссертационная работа содержит введение, пять глав, общие итоги и выводы по работе, список литературы из 85 наименований, 8 приложений и акты внедрения результатов работы. Работа изложена на 96 страницах машинописного текста, включает 65 рисунков.

Внедрение. Результаты работы внедрены на ПО "ВОРОНЕЖТЖ-МЕХПРЕСС". Экономический эффект от внедрения составляет 21 558 рублей.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ.

Введение. Во введении обосновывается актуальность темы, сформулирована цель исследования а также научная новизна работы.

В первой главе приводится выполненный по литературным источникам анализ существующей методики расчета на долговечность по условиям прочности.

Отмечаются следующие основные недостатки методики:

- отсутствие учета динамического характера большинства процессов, протекающих в прессе во время работы;
- отсутствие учета вероятностного характера нагружения элементов пресса, характеристик сопротивления усталости рассчитываемых элементов пресса, либо одного из этих пунктов;
- большое количество допущений при расчете по коэффициентам запаса прочности, отсутствие реальной возможности для каждого конкретного случая достоверно определить требуемую величину коэффициента запаса.

Дальнейший обзор проводился в направлении анализа особенностей работы многокривошипных листоштамповочных прессов, выявления основных перспектив в части развития методов и средств определения рабочих нагрузок на элементы пресса, а также развития методов расчета на долговечность по условиям прочности.

Многокривошипные листоштамповочные прессы в силу разветвленности главного исполнительного механизма и связанной с ней возможностью его внецентренного нагружения имеют особенности в части определения нагрузок, действующих на элементы исполни-

тельного механизма и примыкающей к нему части привода. Эти особенности осложняют проведение расчетов по традиционной методике расчета на долговечность.

В литературе отмечается, что при определении нагрузок на элементы исполнительного механизма многокривошипного пресса используются различные упрощающие предположения. При этом, если рекомендации для двухкривошипного пресса, приведенные в различных источниках, практически совпадают, то для четырехкривошипных прессов они весьма противоречивы. Это может привести к различным подходам в проектировании исполнительного механизма и использовании пресса, стать дополнительным источником снижения долговечности и надежности.

Существующие методы расчета многокривошипного исполнительного механизма сводятся к статическому определению нагрузок из предположения центрального приложения усилия операции. Возможная неравномерность нагружения ветвей исполнительного механизма учитывается введением дополнительного коэффициента запаса. В ряде величин этого коэффициента упрощает процесс проектирования технологической операции, но не решает проблему рационального использования оборудования - в данном случае пресс будет недогружен при центральном приложении номинальной технологической нагрузки.

При рассмотрении методов и средств определения нагрузок на элементы пресса было отмечено, что наилучшие результаты в настоящее время получаются в случае расчетов по уточненной динамической модели пресса. Методика синтеза таких моделей впервые разработана Л.И.Живовым. Эта методика не предполагает автоматизированного синтеза математической модели, т.е. является "ручной". Однако, анализ динамики многокривошипного листоштамповочного пресса для решения задачи расчета долговечности должен проводиться по математической модели, описывающей большое количество степеней свободы. Получение такой модели с использованием названной методики динамического анализа в приемлемые сроки, определяемые временем проектирования пресса, не представляется возможным. При этом в настоящее время нет методов упрощения математической модели пресса, приемлемых с практической точки зрения.

Поэтому автоматизация синтеза математической модели пресса

по его описанию является необходимой. Она может быть решена на пути использования программных комплексов анализа динамики (например, комплекса ПА-6 в исходном ориентированного на широкий класс задач автоматизированного синтеза математической модели и анализа объектов, описывающихся системами ОДУ, во временной области). Комплекс ПА-6 может быть адаптирован к каждой предметной области путем разработки и включения в его библиотеки математических моделей типовых элементов многокривошипного пресса и подпрограмм расчета выходных параметров.

На основании проведенного анализа состояния вопроса поставлены следующие задачи исследования:

1. Адаптировать программный комплекс анализа динамики ПА-6 к области анализа многокривошипных листоштамповочных прессов путем разработки и включения в библиотеки комплекса моделей типовых элементов многокривошипного пресса и подпрограмм расчета выходных параметров.

2. Разработать математическую модель многокривошипного листоштамповочного пресса для анализа процессов нагружения элементов исполнительного механизма и смежной с ним части привода.

3. Проверить адекватность полученной математической модели четырехкривошипного листоштамповочного пресса.

4. Разработать методику автоматизированного расчета долговечности по условиям прочности тяжело нагруженных элементов многокривошипного листоштамповочного пресса и поддерживающее ее программное обеспечение.

5. Применить разработанные средства в практике проектирования многокривошипных листоштамповочных прессов.

Во второй главе рассматривается адаптация программного комплекса анализа динамики ПА-6 к области многокривошипных листоштамповочных прессов. На основе структурного анализа расчетной схемы типовой конструкции пресса, составленной с учетом его основных особенностей, в том числе с учетом возможности внецентренного приложения технологической нагрузки, выделены типовые элементы многокривошипных листоштамповочных прессов. В работе над типовыми элементами понимаются элементы, повторяющиеся в рамках одного пресса или в прессах данного типа. В результате выделены типовые элементы:

- двигатель асинхронный;

- двигатель постоянного тока с системой управления, обеспечивающей отсечку по максимальному моменту;
- клиноремная передача;
- зубчатая передача;
- пневматическая муфта включения пресса;
- пневматический фрикционный тормоз;
- система управления муфтой и тормозом;
- фрагмент вала;
- зубчатое зацепление;
- шарнирная опора с потерями;
- стержневые растяжимые - сжимаемые элементы (плоский и пространственный);
- плоский стержневой растяжимый - сжимаемый и изгибаемый элемент;
- одномерный инерционный элемент;
- одномерный упругий элемент;
- модели, реализующие одномерные зазоры (упоры);
- модель технологической нагрузки;
- модель нелинейного упора.

Приводится краткое описание разработанных математических моделей типовых элементов многокривошипного пресса, рисунки физических моделей и изображения каждого из элементов на топологии.

В основу формирования математической модели пресса из математических моделей элементов положен постулат, что в случае, если математические модели элементов адекватно отражают свойства элементов пресса, а связи между этими элементами соответствуют связям между элементами пресса, то математическая модель пресса, построенная таким образом, будет адекватно отображать свойства пресса.

При использовании комплекса ПА-6 для анализа динамики многокривошипного пресса целесообразно использовать возможности комплекса в части формирования математической модели системы из математических моделей ее сборочных единиц (фрагментов). При этом фрагмент может быть отложен отдельно и использоваться в качестве унифицированного фрагмента в нескольких математических моделях.

В работе разработаны фрагменты следующих узлов пресса:

- узел муфты - тормоза с системой управления;

- узел промежуточного вала и блоков реверс-шестерни;
- фрагмент исполнительного механизма;
- фрагмент ползуна с четырьмя точками подвески и направляющими;
- фрагмент привод-станина.

Описана математическая модель пресса, сформированная из разработанных моделей. Для описания модели пресса и описания моделей сборочных единиц пресса используется топологическая схема модели, удобная для преобразования в описание модели на языке описания объекта (ЯОО) комплекса ПА-6.

В третьей главе описан эксперимент по проверке адекватности представления исполнительного механизма математической моделью четырехкривошипного пресса. Проверялась правильность отображения моделью перераспределения нагрузок на элементах исполнительного механизма при внецентренном приложении технологической нагрузки. В качестве объекта экспериментального исследования выбран пресс двойного действия модели К460 усилием на наружном ползуне 40 тс. Наружный ползун пресса имеет четыре точки подвески, что позволяет использовать его в качестве объекта экспериментального исследования.

Тензометрические датчики были наклеены на элементы исполнительного механизма, выполняющие функции шатунов. Нагружение наружного ползуна проводилось с помощью алюминиевых крешеров высотой 20...22 мм и такого же диаметра путем осадки крешеров на высоту 5...7 мм. Это обеспечивало усилие деформирования 8...12 тонн. Измерение усилий на шатунах проводилось в серии опытов при смещении центра приложения нагрузки в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Теоретические расчеты проводились с помощью специально разработанной математической модели пресса К460, включавшей фрагмент ползуна с четырьмя точками подвески.

Получено количественное и качественное соответствие между данными эксперимента и расчетов по модели. Максимальное расхождение между данными не превышало 12% и в большинстве случаев величина усилия на шатуне, найденная при моделировании, находилась в пределах ошибки эксперимента. Делается вывод об адекватности представления объекта в математической модели, полученной на основе описанного подхода.

В четвертой главе разрабатывается методика автоматизированного расчета долговечности по условиям прочности тяжело-нагруженных элементов многокривошипных прессов.

В основу методики положено:

- моделирование работы пресса, как основной источник информации о процессах нагружения элементов пресса;
- определение долговечности по линейной скорректированной гипотезе суммирования усталостных повреждений;
- определение характеристик сопротивления усталости по статистической теории подобия усталостного разрушения;
- определение формы законов распределения ресурсов элементов по методу статистических испытаний.

Все перечисленные пункты подробно описаны в специальной литературе.

Схематизация процессов нагружения элементов пресса, полученных при моделировании, проводилась по методу "дождя". Весь полученный диапазон нагрузок разбивался на равные классы, каждый из которых характеризовался средним значением напряжения и относительной частотой напряжения в процессе нагружения.

Долговечность рассчитывается для большого периода работы пресса (5...20 лет). Сделано предположение, что за это время усилие технологической операции, определяемое колебанием не-регламентируемых факторов, при своем изменении полностью реализует принятый закон распределения усилия (этот закон выбирается из общих соображений или исходя из имеющегося экспериментального материала). Это приводит к необходимости использования зависимостей для определения долговечности как в непрерывной (при описании формы распределения нагрузки в пределах класса), так и в дискретной форме (при переходе от класса к классу и от операции к операции).

При определении долговечности в каждой из реализаций случайных значений величин σ^{-1}_i, m, N_g в методе статистических испытаний использована зависимость линейной скорректированной гипотезы суммирования усталостных повреждений

$$\lambda = \frac{\sigma_p \cdot \sigma^{-1}_i \cdot N_g}{\sqrt{\sigma_i \cdot \sum \sigma_i \cdot t_i}},$$

где λ - долговечность, соответствующая пределу выносливости

детали σ^{-1A} , показателю степени наклона кривой усталости m при заданном уровне нагрузки; σ_i - среднее напряжение i -го класса процесса нагружения; t_i - относительная частота нагружения; $\sum \sigma$ - общее количество амплитуд напряжений в законе нагружения; N_d - число циклов напряжений, соответствующее пределу выносливости; α_p - корректирующий коэффициент.

Величина α_p определяется по зависимости

$$\alpha_p = \frac{\sigma_{\max} \xi - K \sigma^{-1A}}{\sigma_{\max} - K \sigma^{-1A}},$$

где
$$\xi = \sum \frac{\sigma_i}{\sigma_{\max}} \cdot t_i.$$

В приведенной зависимости $\sigma_{\max}$ - максимальное значение напряжений в блоке нагружения; K - порог повреждающих напряжений; ξ - корректирующий коэффициент, учитывающий форму распределения амплитуд напряжений.

Характеристики закона распределения амплитуд нагрузок определяются по результатам моделирования с величиной технологической нагрузки, превышающей номинальную на одно среднеквадратичное отклонение.

В этой же главе описаны и проверяются способы учета влияния начального положения сечения вала на повреждающий эффект процесса нагружения и расчета коэффициентов вариации для класса напряжений с учетом возможного изменения формы закона нагружения.

В пятой главе описано применение разработанной методики расчета долговечности по условиям прочности для четырехкривошипного пресса К4037 и однокривошипного пресса с разветвляющимся приводом К2039 по "ВОРОНЕЖТЯЖМЕХПРЕСС".

В качестве расчетной для этого пресса принята технологическая операция вырубki с характеристиками $P_{\max} = 3,8$ МН, $X_{\max} = 3$ мм.

Особенностью приводного вала пресса К4037 является его разгруженность от радиальных нагрузок за счет уравнивания

нагрузок в зацеплении от шестерен, находящихся в двойном зацеплении, по крайней мере при статическом нагружении ползуна прессы. При этом коэффициент запаса по выносливости для изгибных напряжений превышает 20. Однако, расчет долговечности показал, что вероятность разрушения приводного вала за срок службы прессы достаточно велика (7,8%). Детальное рассмотрение условий нагружения показало, что вал за счет динамических явлений, связанных с асимметрией многокривошипного исполнительного механизма, в действительности значительно нагружается, что и определяет вероятность поломки.

Изложенные результаты получены для случая центрального приложения нагрузки технологической операции. При смещении центра приложения усилия операции нагрузки на приводной вал прессы и элементы исполнительного механизма возрастают.

В работе определена матрица чувствительности долговечности элементов исполнительного механизма и прессы в целом к изменению конструктивных параметров и параметров технологической операции (подбора для данной технологической операции требуемого оборудования). В качестве примера использования матрицы чувствительности получена зависимость, связывающая допускаемое усилие технологической операции с эксцентриситетом приложения нагрузки в каждом из двух взаимно перпендикулярных направлений.

Метод анализа чувствительности может быть использован для улучшения конструкции прессы даже в тех случаях, когда проведение полной оптимизации невозможно из-за высокой сложности модели. Этот метод был использован для снижения динамических нагрузок на приводной вал прессы. Было высказано предположение, что возможно такое изменение относительного расположения шестерен, при котором изменение нагрузки в сторону увеличения во время приложения усилия операции, динамические нагрузки на приводной вал прессы в целом уменьшатся. В качестве целевой функции в данном случае был выбран максимальный размах изгибных колебаний приводного вала, определяющий его долговечность. Два шага поиска при вариации углов, характеризующих относительное положение зубчатых колес, сделали соотношение между нагрузками на вал во время приложения усилия операции и в период свободных колебаний близким к 1, а величина максимального размаха колебаний вала

составила 0,6 от первоначальной величины.

В заключении главы приводятся результаты расчета и модернизации прессы модели К2039 под новые, более тяжелые технологические операции. В результате расчетов предложены два возможных варианта изменения конструкции приводного вала прессы, которые решают вопрос обеспечения требуемого уровня надежности приводного вала прессы.

ОБЩИЕ ИТОГИ И ВЫВОДЫ.

1. Установлено, что применяемые в настоящее время традиционные методики расчетов на долговечность по условиям прочности тяжело нагруженных элементов прессов не обеспечивают высокой надежности кривошипных прессов.

2. Показано, что при расчете элементов прессов на долговечность целесообразно использовать вероятностный подход, что позволит учесть вероятностный характер механических свойств материалов элементов, колебания конструктивных параметров деталей и вероятностный характер технологической нагрузки.

3. Для комплексного учета факторов, влияющих на долговечность деталей прессы, в качестве источника информации о нагружении деталей прессы предложено использовать математические модели, максимально учитывающие конструктивные особенности прессы.

4. Впервые создана библиотека математических моделей элементов кривошипных прессов, позволяющая автоматизировать синтез математической модели прессы, описывающей десятки и сотни степеней свободы реального объекта.

5. Показано, что анализ разработанной математической модели многокривошипного прессы позволяет получать достаточный объем информации, позволяющей проводить научно-обоснованные расчеты на долговечность элементов прессы по условиям прочности.

6. Установлено, что при проведении расчетов на долговечность элементов многокривошипных листоштамповочных прессов при разделительных операциях, необходимо учитывать изменение формы распределения амплитуд напряжений для деталей прессы при изменении величины внешней нагрузки.

7. В качестве источника информации о коэффициентах вариации внешней нагрузки для деталей в случае наличия информации о коэффициенте вариации усилия технологической операции, предложено использовать математическую модель прессы, что позволяет обосно-

ванно применять вероятностные методы расчета элементов конструкции пресса на долговечность.

8. В результате проведенных исследований на основе существующих методик и теоретических разработок автора создана методика вероятностного расчета на долговечность по условиям прочности, учитывающая конструктивные особенности и условия нагружения многокривошипного пресса.

9. На основе разработанной методики создан программный комплекс, позволяющий определять характеристики надежности и долговечности элементов пресса в отдельности и всего пресса в целом.

10. Динамическое моделирование работы четырехкривошипного листоштамповочного пресса модели К4037, представленного математической моделью, описывающей 83 степени свободы и дальнейший расчет приводного вала данного пресса на долговечность показал, что несмотря на 20-ти кратный запас по прочности, полученный из кинестатического расчета, вероятность разрушения этого вала за срок эксплуатации пресса достаточно велика (7,8%). Это обусловлено динамическими колебаниями в исполнительном механизме и приводе пресса после снятия технологической нагрузки.

11. Показано, что для целенаправленного улучшения конструкции пресса может быть применен метод анализа чувствительности. Впервые получена матрица чувствительности долговечности элементов пресса и всего пресса в целом от величины конструктивных параметров и условий эксплуатации пресса. На этой основе получена зависимость, связывающая максимально допустимое усилие технологической операции с эксцентриситетом его приложения для пресса модели К4037.

12. Применение метода анализа чувствительности для пресса К4037 позволило за счет подбора оптимального взаимного расположения элементов привода снизить величину максимального размаха изгибающего момента на приводном валу до 65% от первоначальной величины.

13. В результате экспериментальных исследований установлено, что математическая модель многокривошипного пресса адекватно отображает реальную картину распределения нагрузок на элементах исполнительного механизма. Максимальное расхождение между данными моделирования и натурного эксперимента составляет 11,4%.

14. Разработанная методика динамического моделирования работы пресса и расчета на долговечность по условиям прочности может быть использована для автоматизации проектирования листоштамповочных механических прессов. Результаты проведенных исследований широко использованы в учебном процессе кафедры МТ-6 МВТУ.

15. Разработанная методика и соответствующее программное обеспечение внедрено на ПО "ВОРОНЕЖМЕХПРЕСС". Модернизация пресса модели К2039 на основе проведенных исследований позволит получить экономический эффект в размере 21 558 рублей.

Основное содержание диссертации изложено в следующих работах:

1. Складчиков Е.Н., Курдюк С.А. О математическом моделировании работы муфты включения кривошипного пресса // Труды МВТУ.- 1986.- №41.- С.70-77.

2. Использование программных комплексов анализа динамических систем ПА-6 для моделирования работы кривошипных прессов / Складчиков Е.Н., Балаганский В.И., Власов А.В., Курдюк С.А. // Кузнечно-штамповочное производство.-1988.- №4.- С. 19-21.

3. Складчиков Е.Н., Курдюк С.А. Оценка долговечности валов и других тяжело нагруженных деталей прессов на стадии проектирования и выбора оборудования для ППМ // Гибкие производственные системы в штамповочном производстве: Материалы Всесоюзного семинара. - М.: МДНП, 1988. - С.55-59.

4. Складчиков Е.Н., Курдюк С.А. Использование программных комплексов анализа динамических систем для моделирования работы многокривошипных прессов // Прогрессивная технология и конструкции, механизация и автоматизация производственных процессов в машино- и приборостроении: Тез. докл. Всесоюзной межвузовской научно-технической конференции. - Калуга, 1987. - С.235-236,

Куз