М372170

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ СССР

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

ИЗЪЯТО ИЗ ФОНДОВ ЧЕРТ. ВЕД. ЕТОЯ

На правах рукописи

ФРЕЙНД Анна Игоревна

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ПРИВОДА КРИВОШИПНЫХ ГОРЯЧЕШТАМПОВОЧНЫХ ПРЕССОВ

(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, 1980

Работа выполнена в Московском ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени высшем техническом училище им. Н.Э.Баумана.

Научный руководитель: - кандидат технических наук, доцент Богданов Э.Ф.

Официальные оппоненты: - доктор технических наук, профессор Живов Л.И.

кандидат технических наук, Механик В.П.

Ведущее предприятие - Воронежский завод кузнечно-прессового оборудования

Защита диссертации состоится " " _____ I98 г. на заседании специализированного Совета К 053.I5.I3 по металловедению и горячей обработке металлов Московского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени высшего технического училища им. Н.Э.Баумана по адресу: [illegible] 5.

[illegible]лярах, заверен-
ны[illegible]азанному адресу.

[illegible]иотеке МВТУ им.
Н.[illegible]

[illegible] I980 г.

[illegible] БЕЛИКОВ О.А.

Л[illegible]

Пс[illegible] I п.л. тип.МВТУ
Ти[illegible]

М372170

Актуальность. В соответствии с задачами, поставленными на XXV съезде КПСС и на ноябрьском (1979 г.) Пленуме ЦК КПСС важное значение придается значительному повышению технического уровня и конкурентноспособности металлообрабатывающего оборудования, в том числе кузнечно-штамповочных машин.

Современный уровень машиностроения выявил необходимость создания тяжелых кривошипных горячештамповочных прессов (КГШП). Воронежским производственным объединением по выпуску тяжелых механических прессов (ПО Воронежтяжмехпресс) изготовляются КГШП номинальным усилием до 63 МН (6 300 тс), заканчивается разработка пресса номинальным усилием 125 МН (12 500 тс).

Энергетические показатели кривошипного пресса, его производительность определяются системой главного электропривода. Главный электропривод КГШП, работая в непрерывном переходном режиме потребляет значительное количество электроэнергии. Мощность электропривода существующих КГШП достигает 400 кВт.

В связи с повышенными в последнее время требованиями к экономии энергоресурсов вопросы исследования динамики электропривода с целью создания научно-обоснованных методик расчета оптимальных параметров привода, обеспечивающих наиболее эффективную работу пресса, приобретают особую актуальность.

Движение привода описывается системой нелинейных дифференциальных уравнений, что приводит к большим трудностям решения. Применяемые методики расчета, основанные на многочисленных допущениях и упрощениях, принятых с целью получения конечных аналитических зависимостей, позволяют определить мощность двигателя и момент инерции маховика, обеспечивающие работоспособность системы. Но задача выбора оптимальных параметров электропривода, в том числе и выбора механической характеристики электродвигателя остается нерешенной.

Одним из эффективных направлений при решении этой проблемы является комплексное исследование с помощью математического моделирования переходных процессов в электроприводе КГШП, позволяющее определить (синтезировать) и проанализировать возможные варианты системы привода по энергетическим показателям.

Цель данной работы формулируется следующим образом: на основании комплексного исследования переходных процессов в приводе КГШП разработать методику оптимизации основных параметров

НТБ МГТУ им.Н.Э.Баумана
1372170
Фрейнд А.И.Исследование ра

электропривода согласно выбранным критериям оптимальности.

Научная новизна. Исследование работы главного электропривода кривошипных горячештамповочных прессов проведено на базе математического моделирования переходных процессов в приводе при установившемся режиме одиночных ходов для одно- и двухпереходной штамповки.

Исследовано влияние изменения основных параметров электропривода (номинальная мощность двигателя - $N_н$, момент инерции маховика - $J_{маx}$, критическое скольжение двигателя - $S_к$) на характер движения привода, электрические потери в двигателе, к.п.д. двигателя и эффективный к.п.д. пресса.

Оптимизация основных параметров электропривода гаммы КГШП проведена согласно разработанной системе условий ограничени и критериев оптимальности. В качестве основной целевой функции установлена функция эффективного к.п.д. пресса.

Практическая ценность. Разработанные алгоритм и программа расчета позволяют определить на стадии проектирования оптимальные основные параметры электропривода, обеспечивающие эффективную работу пресса.

Приведенная в реферируемой работе программа была использована при выполнении хоздоговорной темы с ПО Ворснехтяхмехпресс для расчета электроприводов гаммы КГШП типовой конструкции с промежуточным валом. На основании расчетов, проведенных для однопереходной штамповки, даны рекомендации, реализация которых обеспечивает годовой экономический эффект 60 тыс. руб. за счет уменьшения расхода электроэнергии.

Расчет параметров электропривода для двухпереходной штамповки дает возможность рекомендовать снижение установочной мощности двигателей и значительную экономию электроэнергии.

Результаты исследований динамики электропривода были использованы при разработке РТМ "Расчет динамических нагрузок в ременной передаче привода кривошипных прессов".

Методы исследований. В работе использовались теоретические и экспериментальные методы исследования. Теоретическое исследование проводилось при помощи математического моделирования переходных процессов в приводе пресса. В качестве математической модели была разработана попериодная система дифференциальных уравнений движения, которая решалась численными методами Рунге-Кутта на

МЕНТ/ЦНИА
М В Т У

ЭВМ "Наири-К и методом Хемминга (метод предиктор-корректор) на ЭВМ ЕС 1020.

Апробация результатов работы. Результаты работы докладывались на научных семинарах кафедры АМ-6 МВТУ им. Н.Э.Баумана в 1977-1980 гг., на Шестом совещании по автоматизации процессов машиностроения (г.Москва) в 1976 г., на техническом совете ПО Воронежтяжмехпресс.

По работе опубликовано три статьи, выпущен проект ТМ, сделан отчет по хоздоговорной теме.

Работа состоит из введения, четырех глав, общих выводов и приложения. Диссертация изложена на 98 страницах машинописного текста, содержит 6 таблиц, два текста программ для ЭВМ и 43 рисунка. Объем приложения - 25 страниц. Библиография состоит из 100 наименований.

Во введении сформулированы актуальность проблемы и цель работы, приведены основные результаты работы.

Первая глава посвящена обзору литературы и определению задач исследования. В обзоре обращается внимание на большое количество работ по исследованию электропривода кривошипных прессов, проведенных Гейлером Л.Б., Харизоменовым И.В., Ремихом И.А. Механиком В.П., Сосниным О.М., Банкетовым А.Н., Боковым А.А. и многими другими учеными.

К настоящему времени разработано более двадцати методик расчета параметров электропривода. При рассмотрении существующих методик выделено два подхода к решению проблемы. Первый заключается в определении мощности двигателя по сумме работ за цикл, а момента инерции маховика по избыточной работе, совершаемой маховиком. Второй подход основан на решении дифференциального уравнения движения электропривода

$$J\frac{d\omega}{dt} = M_{дв} - M_{ст}, \qquad (1)$$

где J - момент инерции маховых масс;
ω - угловая скорость привода;
$M_{дв}$ - момент движущих сил;
$M_{ст}$ - момент статических сил;
t - время.

Этот подход, выявляя характер переходных процессов в электроприводе при работе пресса, является более обоснованным. Од-

Явно сложность и нелинейность зависимостей, входящих в дифференциальное уравнение движения привели к возникновению методов и приемов, упрощающих решение. Многочисленные допущения, принимаемые в целях получения аналитического решения приводят к значительному разбросу значений параметров, рассчитываемых по различным методикам, причем, если по определению величины мощности двигателя разброс составляет 50%, то по величине момента инерции маховика разброс достигает до 640%.

В обзоре указано на особое внимание, уделяемое в некоторых работах Голована А.Т., Гейлера Л.Б., Меклера Л.И., Механика В.П. выбору механической характеристики двигателя. На основании рассмотренных работ по исследованию влияния величины критического скольжения $S_к$, определяющего наклон механической характеристики двигателя, на работу электропривода сделан вывод о необходимости выбора оптимальной величины $S_к$ в каждом конкретном случае. Тем не менее в используемых методиках расчета электропривода номинальное скольжение двигателя либо определяется каталожными данными двигателя, либо увеличивается до 10% при необходимости уменьшить величину момента инерции маховика, либо определяется по таблице в зависимости от числа ходов.

В обзоре показано, что существует бесчисленное множество сочетаний основных параметров привода, удовлетворяющих заданному режиму работы пресса, но ни одна из методик не позволяет определить оптимальные параметры, так как предполагают однозначный расчет без сопоставления возможных вариантов по критерию, обеспечивающему эффективную работу пресса.

Для более четкого выявления отличия и подобия существующих методов расчета и исследований электропривода, для определения задач исследования в работе сделана попытка классификации известных методов и рекомендаций по разным основаниям: по выбору расчетной схемы; по способу решения; по допущениям, принимаемым при решении дифференциального уравнения движения; по определению мощности двигателя; по определению момента инерции маховика.

На основании обзора исследований и методов расчета электроприводов в работе были поставлены следующие задачи:

1. Разработать математическую модель переходных процессов в электроприводе при работе пресса в режиме одиночных ходов с установившимся циклом.

2. Проанализировать при помощи математического моделирования влияние величин основных параметров электропривода на характер переходных процессов в приводе кривошипного пресса.

3. Провести эксперимент с целью обоснования принятых допущений и проверки соответствия математической модели реальным переходным процессам.

4. Исходя из требований, предъявляемых к электроприводу выбрать критерии оптимальности и условия ограничения области допустимых соотношений параметров электропривода.

5. Определить характер изменения критериальных функций в допустимой по условиям ограничения области вариантов соотношений основных параметров.

6. Провести расчет оптимальных параметров электропривода гаммы КГШП, выпускаемых ПО Воронежтяжмехпресс.

Во второй главе проведено теоретическое исследование электропривода кривошипных горячештамповочных прессов при установившемся цикле работы в режиме одиночных ходов. В начале главы рассмотрены особенности работы привода кривошипного пресса и выбор расчетной схемы. В качестве расчетной схемы принята двухмассовая модель с жестким разделяющимся звеном, позволяющим рассматривать привод как систему с двумя степенями свободы в период проскальзывания дисков муфты. Скорости, моменты инерции и моменты сил, действующих в приводе приводятся к звену приведения, за которое выбрано звено муфты. Рассмотрены пять последовательных периодов цикла, определяемых характером действия момента статического сопротивления.

При разработке математической модели на основании обзора литературных источников приняты допущения постоянного момента инерции ведущей и ведомой частей привода, постоянного момента сопротивления холостого хода ведомой части привода.

Рассмотрены действующие в приводе моменты:

а) приведенный момент двигателя

$$M_\partial = \frac{2 M_к S_{кп} S(1+e)}{S_{кп}^2 + S^2 + 2e S_{кп} S}, \qquad (2)$$

где $M_к$ – приведенный критический момент двигателя;

$S, S_{кп}$ – текущее и критическое скольжения привода;

$S_{кп} = S_к + S_{ск}$;

$S_к$ – критическое скольжение двигателя;

$S_{кр}$ – проскальзывание клиноременной передачи при критическом моменте двигателя;

$$e = 2 S_{кп} \frac{r_1}{r_2'}$$

r_1, r_2' – активное сопротивление статора и приведенное активное сопротивление ротора двигателя;

б) момент трения в муфте

$$M_м = M_р \left(\frac{t}{t_в}\right)^{\alpha}, \qquad (3)$$

где $M_р$ – расчетный момент пресса;

$t_в$ – время включения муфты;

α – показатель степенной аппроксимации ($\alpha = 0{,}6 \div 0{,}8$)

в) относительные моменты сопротивления ведущей и ведомой частей привода

$$M_{c_1} = \psi_1 M_р; \qquad M_{c_2} = \psi_2 M_р; \qquad (4)$$

г) момент технологической нагрузки

$$M(\varphi) = P(\varphi)\left[m_к^u(\pi - \varphi) + m_к^f\right], \qquad (5)$$

где $P(\varphi)$ – усилие на ползуне пресса с учетом упругости системы пресс–штамп;

$m_к^u, m_к^f$ – идеальное плечо и плечо трения;

φ – угол поворота кривошипа.

Усилие на ползуне определяется типовым графиком усилий. Однопереходная штамповка является наиболее тяжелым режимом работы пресса. Рассмотрение ее в качестве типовой вполне обосновано для специализированных прессов и горячештамповочных автоматов. Для универсальных прессов в качестве расчетной предложена двухпереходная штамповка, изложен способ построения графиков усилий по переходам. Принятый график усилий корректируется с учетом упругости системы пресс–штамп.

Математическая модель переходных процессов представлена в виде поперiодной системы дифференциальных уравнений движения, записанных в относительных величинах.

Первый период – включение муфты:

$$\begin{aligned} T\frac{dS_1}{d\tau} &= m\left[\psi_1 + \left(\frac{\tau}{\tau_в} t_ц\right)^{\alpha}\right] - \frac{2 S_{кп} S (1+e)}{S_{кп}^2 + S^2 + 2 e S_{кп} S}; \\ T_j \frac{dS_2}{d\tau} &= m\left[\psi_2 - \left(\frac{\tau}{\tau_в} t_ц\right)^{\alpha}\right]; \\ \frac{d\beta}{d\tau} &= 1 - s; \end{aligned} \qquad (6)$$

$$S_{01} \le S_1 \le S_I$$
$$1 \le S_2 \le S_I$$
$$0 \le \beta \le \beta_I$$
$$0 \le \tau \le \tau_I$$

где $\beta = \frac{\varphi}{t_ц \omega_0}$; $m = \frac{M_р}{M_к}$; $\tau = \frac{J_1 \omega_0}{M_к t_ц}$;

$$S_{01} = S = \left[\frac{1+e}{\Psi_1 m} - e - \sqrt{\left(e - \frac{1+e}{\Psi m}\right)^2 - 1}\right] S_{кп}.$$

Второй период – холостой ход привода после включения муфты до начала рабочего хода:

$$T(1+j)\frac{dS}{d\tau} = m(\Psi_1 + \Psi_2) - \frac{2 S_{кп} S(1+e)}{S_{кп}^2 + S^2 + 2e S_{кп} S}; \quad S_I \le S \le S_{II}$$

$$\frac{d\beta}{d\tau} = 1 - S. \qquad \beta_I \le \beta \le \beta_{II}, \quad \tau \le \tau \le \tau_{II} \qquad (7)$$

Третий период – рабочий ход:

$$T(1+j)\frac{dS}{d\tau} = m(\Psi_1 + \Psi_2) + m_{тех} - \frac{2 S_{кп} S(1+e)}{S_{кп}^2 + S^2 + 2e S_{кп} S}; \quad S_{II} \le S \le S_{III}$$

$$\frac{d\beta}{d\tau} = 1 - S. \qquad \beta_{II} \le \beta \le \beta_{III}, \quad \tau_{II} \le \tau \le \tau_{III} \qquad (8)$$

Четвертый период – разгон привода после рабочего хода до отключения муфты:

$$T(1+j)\frac{dS}{d\tau} = m(\Psi_1 + \Psi_2) - \frac{2 S_{кп} S(1+e)}{S_{кп}^2 + S^2 + 2e S_{кп} S}; \quad S_{III} \ge S \ge S_{IV}$$

$$\frac{d\beta}{d\tau} = 1 - S. \qquad \beta_{III} \le \beta \le \beta_{IV}, \quad \tau_{III} \le \tau \le \tau_{IV} \qquad (9)$$

Пятый период – разгон ведущей части привода после отключения муфты:

$$T\frac{dS_1}{d\tau} = m\Psi - \frac{2 S_{кп} S(1+e)}{S_{кп}^2 + S^2 + 2e S_{кп} S} \qquad S_{IV} \ge S \ge S_I, \quad \tau_{IV} \le \tau \le 1 \qquad (10)$$

Математическое моделирование переходных процессов в приводе пресса позволило выявить характер изменения скольжения, угловой скорости и крутящего момента привода при последовательных одиночных ходах, определить величину просадки угловой скорости привода в начале цикла при установившемся цикле и просадке угловой скорости привода при совершении технологической операции; зависимость характеристик двигателя от величины основных параметров привода. Это было достигнуто решением поперидной системы дифференциальных уравнений при варьировании параметров электропривода.

При помощи математического моделирования было проведено ис-

следование переходных процессов в электроприводе гаммы КГШП усилием 6,3–63 МН. Влияние изменения основных параметров на работу электропривода проанализировано на примере работы привода пресса с номинальным усилием $P_н$ = 25 МН, как среднего по номинальному усилию из рассмотренной гаммы. Приведены графики текущего скольжения привода и относительной величины крутящего момента на кривошипном валу для однопереходной штамповки при работе двигателя на разных характеристиках; график текущего скольжения привода для двухпереходной штамповки; график скольжения привода при варьировании параметра $T_{\text{}}$, определяемого моментом инерции ведущих частей привода и критическим моментом двигателя; кривые изменения неравномерности хода в зависимости от параметра $T_{\text{}}$, область изменения крутящего момента (амплитуда колебания момента) в зависимости от $S_к$ и $T_{\text{}}$; графики зависимости среднеинтегрального за цикл скольжения от параметров привода.

Установлено, что электродвигатель имеет максимальную загрузку по моменту в конце рабочего хода – на границе третьего и четвертого периодов, а по работе – в период разгона ведущих частей привода после отключения муфты.

Увеличение критического скольжения двигателя приводит к увеличению начального и максимального скольжений привода в течение цикла, увеличению отдачи маховиком энергии. Максимальный момент двигателя при этом уменьшается, увеличивается амплитуда изменения крутящего момента за цикл.

При увеличении критического момента двигателя амплитуда изменения крутящего момента возрастает, что объясняется увеличением жесткости механической характеристики с ростом критического момента.

При моделировании переходных процессов в электроприводе для однопереходной и двухпереходной штамповки установлено, что при двухпереходной штамповке работа технологической операции несколько больше, причем в первом переходе работа технологической операции больше, чем во втором.

В третьей главе приведено описание экспериментальных исследований. Целью экспериментальных исследований было обоснование принятых при теоретических исследованиях упрощающих допущений и проверка правомерности разработанной математической модели переходных процессов в электроприводе при работе пресса в

режиме одиночных ходов.

Экспериментальные исследования проводились в лаборатории МОССТАНКИНа на горячештамповочном прессе номинальным усилием $P_н$ = 10 МН, выпущенном ПО Ворснехтяжмехпресс.

В соответствии с поставленной целью в результате экспериментов были определены: постоянные величины, необходимые для цифрового моделирования – относительные коэффициенты моментов сопротивления ведущей и ведомой частей привода Ψ_1 и Ψ_2; величина активного сопротивления статора r_0; закон изменения угловой скорости привода при работе пресса в режиме одиночных ходов; потребляемая электродвигателем из сети активная мощность при холостом вращении маховика и холостых ходах пресса.

Для этого в процессе эксперимента регистрировались в режимах холостое вращение маховика, холостой ход пресса, одиночные рабочие хода пресса следующие величины: активная мощность двигателя, ток статора, угловая скорость вращения вала электродвигателя.

В работе приведены основные параметры исследуемого пресса и каталожные данные двигателя, дано описание приборов и устройств, использованных при экспериментах. Изменение угловой скорости вала электродвигателя определялось с помощью специально сконструированного для этой цели устройства. Работа устройства основана на рассогласовании двух частот, близких по величине, результатом взаимодействия которых являются биения, хорошо регистрируемые на осциллограмме.

Измерение потребляемой активной мощности проводилось с одной фазы электродвигателя, что является достаточным в силу практической симметрии нагрузки фаз. Запись осуществлялась с использованием трансформатора тока и преобразователя мощности. В качестве датчика тока применялся шунт, включенный в цепь вторичной обмотки трансформатора тока.

В работе приведены схемы подключения приборов при тарировке и в процессе работы привода, тарировочные графики мощности и тока.

Изменение степени загрузки привода осуществлялось осадкой одинаковых крешеров на разную высоту. Тарировка крешеров проводилась на гидравлическом прессе с помощью струнного ходографа, усилителя и месдозы.

В результате обработки осциллограмм получены графики мгно-

венной мощности и угловой скорости электродвигателя в исследованных режимах.

Эксперименты показали, что активная мощность двигателя и угловая скорость при холостом вращении маховика и холостых ходах пресса остаются практически постоянными, что позволило определить относительные коэффициенты моментов сопротивлений ведущей и ведомой частей привода через момент двигателя.

По результатам экспериментальных исследований и математического моделирования построена совмещенная циклограмма пресса.

Максимальное отклонение численных расчетов угловой скорости вала двигателя от результатов экспериментов составляет 3%, причем, значения угловой скорости привода, определенные по результатам эксперимента располагаются на графике скоростей ниже теоретических. Это объясняется недостаточным учетом технического состояния пресса, на котором проводился эксперимент.

Хорошее совпадение графиков угловой скорости привода пресса, построенных по результатам экспериментов и расчетов на ЭВМ говорит о корректности разработанной математической модели переходных процессов в электроприводе.

Четвертая глава посвящена оптимизации параметров электропривода кривошипных прессов. Оптимизация проведена на основании полного исследования области синтезируемых возможных по условиям ограничений вариантов сочетаний параметров электропривода с определением и построением критериальных функций в этой области.

Задача определения оптимальных параметров электропривода является многопараметрической нелинейной многокритериальной задачей оптимизации. Один из основных вопросов, возникающих при решении задач оптимизации является выбор критериев оптимальности и условий ограничения области варьируемых параметров. Из экономических соображений следует стремиться к уменьшению каждого из параметров . Вследствие неоднозначности взаимосвязи уменьшение одного из параметров приводит к необходимости увеличения других, что обуславливает противоречивость критериев. Исходя из требований, предъявляемых к электроприводу установлены следующие критерии оптимальности:

максимальный эффективный к.п.д. пресса;

минимальная мощность двигателя;

минимальные габариты и момент инерции маховика;

максимальный к.п.д. двигателя;

предельное использование двигателя по нагреву.

В качестве условий ограничения выбраны допустимый нагрев двигателя за установившийся цикл работы, устойчивость электропривода, ограничивающие область компромиссных решений "снизу" (по минимуму) и неформализуемые "конструктивные соображения" и "опыт эксплуатации", ограничивающие допустимую область "сверху" (по максимуму).

Функция условия допустимого нагрева определяется как относительная величина среднеинтегральных переменных потерь в меди ротора за цикл к величине мгновенных номинальных потерь

$$\frac{\int_0^t \Delta P_{2н}\, d\tau}{M_н S_н \omega_0 t_ц} = \frac{2\lambda S_к r_2' \left(1 + S_к \frac{r_1}{r_2' + r_\partial'}\right)}{S_н (r_2' + r_\partial')} \int_0^1 \frac{S^2}{S_к^2 + S^2 + 2 S_к \frac{r_1}{r_2' + r_\partial'} S}\, d\tau \leqslant 1.$$

Условие динамической устойчивости привода определяется в разработанном алгоритме знаком первой производной скольжения в начале четвертого периода

$$\frac{dS_{IV}}{d\tau} < 0.$$

Положительное значение соответствует потере устойчивости. (Скольжение после снятия нагрузки продолжает увеличиваться.)

Цикловой к.п.д. пресса определяется отношением работы пластической деформации к потребляемой энергии

$$\eta_{эф} = \frac{A_{пл}}{2 M_{кр} \omega_0 t_ц \int_0^1 \left[\frac{S_к S \left(1 + S_к \frac{r_1}{r_2' + r_\partial'}\right)}{S_к^2 + S^2 + 2 S_к \frac{r_1}{r_2' + r_\partial'} S} \left(1 + S \frac{r_1}{r_2' + r_\partial'}\right) + \frac{1}{2\lambda} \left(\frac{1 - S_н}{\eta_н} - 1 - S_н \frac{r_1}{r_2'} \right) \right] d\tau}.$$

Среднеинтегральная величина к.п.д. двигателя за цикл определяется отношением мощности на валу двигателя к потребляемой мощности

$$\eta_{дв} = \frac{1}{\int_0^1 \left[1 + \frac{S_к^2 + S^2 + 2 S_н S \frac{r_1}{r_2' + r_\partial'}}{2\lambda S_к S (1 - S) \left(1 + S_к \frac{r_1}{r_2' + r_\partial'}\right)} \left(\frac{1 - S_н}{\eta_н} - 1 - S_н \frac{r_1}{r_2'} \right) + \frac{S}{1 - S} \left(1 + \frac{r_1}{r_2' + r_\partial'}\right) \right] d\tau}.$$

Закон изменения скольжения двигателя в переходном процессе работы привода пресса в течение цикла определяется решением поперечной системы дифференциальных уравнений движения.

На данном этапе работы считалось целесообразным полное исследование реальной области допустимых по условиям ограничения вариантов соотношений основных параметров электропривода, что позволяет не только дать рекомендации по выбору параметров, предоставляя в то же время полную информацию для принятия решения, но и определить пути дальнейших исследований.

Поставленная задача оптимизации в силу нелинейного характера системы дифференциальных уравнений и целевых функций не может быть решена аналитически и решена при помощи численных методов на ЭВМ. Программа расчетов составлена на языке Фортран -4 для ЕС ЭВМ. Программа предусматривает расчет параметров привода для многопереходной штамповки (от I-го до 4-х переходов) с любым видом графика технологического усилия на ползуне пресса при работе одиночными ходами в установившемся режиме переходных процессов. Как промежуточные результаты при расчете могут быть выведены на печать текущие значения угловой скорости привода, крутящего момента и к.п.д. двигателя за цикл, значения эффективного к.п.д. пресса в любой точке области допустимых соотношений основных параметров электропривода. В качестве примера на рис. I представлен график мгновенных значений к.п.д. двигателя за цикл при двухпереходной штамповке на КГШП номинальным усилием $P_н$ = 25 МН с оптимальными параметрами электропривода.

В результате анализа влияния параметров привода пресса на характер изменения переменных потерь в двигателе на нагрев установлено, что увеличение критического скольжения двигателя приводит к уменьшению потерь на нагрев в статоре, в меди ротора, к увеличению потерь мощности в цепи ротора за счет потерь в добавочном сопротивлении. Суммарные потери в двигателе имеют при некотором значении $S_к$ минимум, а на графиках к.п.д. двигателя и эффективного к.п.д. пресса имеет место максимум. Это объясняется тем, что сначала с увеличением критического скольжения уменьшение потерь в статоре преобладает над возрастанием потерь в цепи ротора, а затем наблюдается обратная картина. При

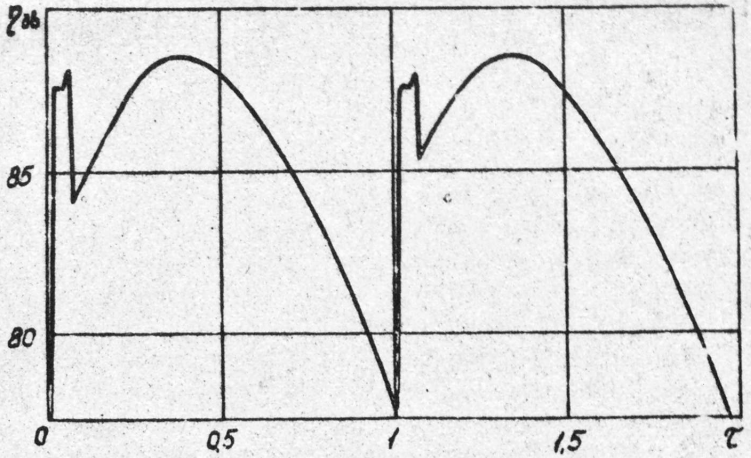

$\eta_{об}$
85
80
0
0,5
1
1,5
τ

Рис.I

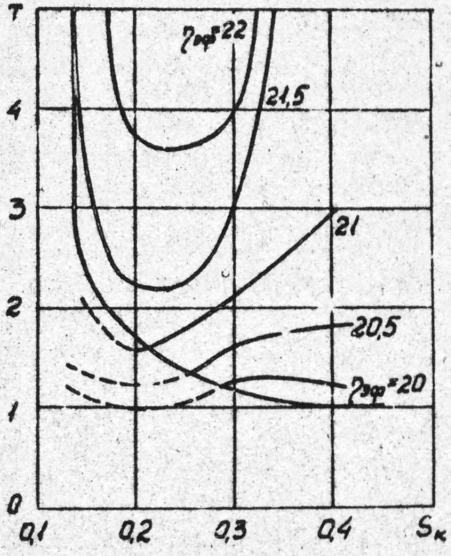

T
$\eta_{эф}$=22
21,5
21
20,5
$\eta_{эф}$=20
4
3
2
1
0
0,1
0,2
0,3
0,4
$S_к$

Рис.2

этом для каждой пары двигатель-маховик имеется своя конкретная величина $S_к$, обеспечивающая минимум потерь в двигателе и максимум эффективного к.п.д. пресса. Увеличение параметра T приводит к уменьшению всех переменных потерь в двигателе, что объясняется уменьшением величины среднеинтегрального скольжения за цикл.

На рис. 2 приведен график допустимой по условиям ограничения области возможных вариантов соотношений основных параметров пресса с номинальным усилием $P_н$ = 25 МН для двухпереходной штамповки. Кривые равного эффективного к.п.д. пресса, построенные в этой области дают наглядное представление оптимальной области соотношений параметров. Оптимальной является область, определяемая минимальной ординатой кривых равного к.п.д.. Область оптимального критического скольжения находится в пределах $S_к$ = 0,18 – 0,3. При ограничении момента инерции маховика по величине область оптимальных значений еще более сужается. Расчетами установлено, что для КГШП с номинальным усилием 25 МН для выбранной в качестве типовой двухпереходной штамповки мощность двигателя можно снизить со 125 до 75 кВт. При этом затраты электроэнергии для одного пресса уменьшаются на 8%.

Разработанные алгоритм и программа могут быть применены для расчета параметров электроприводов любых кривошипных прессов с кривошипно-шатунным механизмом.

В приложении приведены таблицы обозначений, принятых в программе, исходных данных, необходимых для расчета, тексты программ.

Выводы по работе.

1. Существует бесчисленное множество сочетаний основных параметров привода, удовлетворяющих заданному режиму работы пресса, но ни одна из существующих методик не позволяет определить оптимальные параметры, так как предполагают однозначный расчет без сопоставления возможных вариантов.

2. Исследование работы привода кривошипного пресса и расчет оптимальных параметров должны проводиться для установившегося режима работы, который определяется равенством скольжений привода в начале первого и конце пятого периодов. В программе установившийся режим определяется расчетом последовательных

циклов до достижения равенства скольжений с погрешностью 0,01%. Практически это достигается через 1–4 цикла.

3. Разработанная математическая модель переходных процессов в электроприводе позволяет определить законы изменения скольжения привода, крутящего момента двигателя, мгновенных потерь мощности в двигателе, мгновенных значений к.п.д. двигателя в течение цикла, среднеинтегральные значения этих величин за цикл и эффективный к.п.д. пресса при работе пресса одиночными ходами.

4. Сопоставление результатов экспериментальных и теоретических исследований свидетельствует о приемлемости принятых в теоретических исследованиях допущений и достоверности разработанной математической модели переходных процессов. Разработанная математическая модель дает возможность получить не только качественную, но и достоверную количественную картину переходных процессов в электроприводе, что позволяет рекомендовать применение разработанных алгоритмов и программ при исследовании динамики электропривода и оптимизации его параметров.

5. Основные параметры электропривода: мощность двигателя, момент инерции маховика и критическое скольжение неразрывно связаны между собой, и для каждой пары значений мощности двигателя и момента инерции маховика существует вполне конкретная величина оптимального критического скольжения $S_к$.

6. Разработанные алгоритмы и программы позволили определить для гаммы КГШП область допустимых по условиям нагрева двигателя и динамической устойчивости привода параметров электропривода. График целевой функции эффективного к.п.д. пресса, построенный в области допустимых параметров определил для рассмотренной гаммы зону оптимального критического скольжения $S_к$ = 0,184 0,3.

7. Для КГШП в качестве типового установлен нагрузочный график двухпереходной штамповки. Расчет оптимальных параметров электропривода для двухпереходной штамповки позволяет уменьшить установочную мощность электродвигателя и снизить потребление электроэнергии.

8. Увеличение эффективного к.п.д пресса и к.п.д. двигателя может быть достигнуто увеличением безразмерного параметра привода T, определяемого по формуле $T = \frac{J \omega_0}{M t_ц}$.

9. Разработанные алгоритм и программа могут быть использованы для исследования и оптимизации параметров электроприводов других типов кривошипных прессов с кривошипно-ползунным исполнительным механизмом.

Основное содержание диссертации изложено в работах:

I. Богданов Э.Ф., Похидаев Н.Н., Фрейнд А.И. Динамика привода кривошипного пресса. Труды / МВТУ им. Н.Э.Баумана, 1978, № 263, с. 63-88.

2. Богданов Э.Ф., Похидаев Н.Н., Фрейнд А.И. Расчет циклограммы главного исполнительного механизма кривошипного пресса. В кн.: Автоматизация процессов литья и обработки давлением. - М.: Наука, 1979, с. 141-147.

3. Богданов Э.Ф., Фрейнд А.И., Похидаев Н.Н. Оптимизация параметров электропривода кривошипных горячештамповочных прессов. - Труды / МВТУ им. Н.Э.Баумана, 1980, № 335, с.40-55.

4. Расчет динамических нагрузок в ременной передаче кривошипного пресса. Проект РТМ / МВТУ им. Н.Э.Баумана; Э.Ф.Богданов, А.А.Боков, А.И.Фрейнд, Н.Н.Похидаев - 770.00.703. - М., 1976, 45 с.

5. Исследование электропривода тяжелых кривошипных горячештамповочных прессов.: Отчет / МВТУ им. Н.Э.Баумана; Э.Ф.Богданов, А.И.Фрейнд, Н.Н.Похидаев - 800.08.584. - М., 1979, 135с.