

14298677
Министерство высшего и среднего специального
образования СССР

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

Боков Александр Андриянович

На правах рукописи

ИССЛЕДОВАНИЕ КРИВОШТИПНОГО ПРЕССА ДВОЙНОГО ДЕЙСТВИЯ
ПРИ РАБОТЕ ОДИНОЧНЫМИ И АВТОМАТИЧЕСКИМИ ХОДАМИ

Специальность 05.03.05 - Технологии и машины обработ-
ки давлением.

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени кандидата
технических наук

Москва

1976 г.

НА ДОМ
НЕ ВЫДАЕТСЯ

Работа выполнена в МВТУ им. Н.Э. Баумана.

Научный руководитель – кандидат технических наук,
доцент Богданов Э.Ф.

Официальные оппоненты – доктор технических наук,
профессор Власов В.И.,
– кандидат технических наук,
доцент Плягачев В.Г.

Ведущее предприятие – Воронежский ордена Ленина
завод тяжелых механических
прессов.

Защита диссертации состоится "___" _____ 1976 г.
на заседании специализированного Ученого Совета
МВТУ им. Н.Э. Баумана
по адресу: Москва, 107005, 2-ая Бауманская ул., 5.

за
ад

МЕ

экземплярах,
чому

эке

976 г.

Степанов К.А.

M298677

Актуальность проблемы. К основным задачам развития народного хозяйства СССР на 1976–1980 гг., поставленных XXV съездом КПСС, относится задача по дальнейшему развитию заготовительной базы машиностроения. Важную роль в которой играет кузнечно-штамповочное производство. Достаточно сказать, что кованные и штампованные детали составляют 60–80% по весу таких машин как автомобили, тракторы, самолеты, сельхозмашины, выпуск которых к 1980 году значительно возрастет. Для выполнения поставленных задач намечено увеличить производство кузнечно-прессовых машин в 1,5 – 1,6 раза.

Наиболее широкое применение в производственной практике нашли кривошипные листштамповочные прессы с механическим приводом для выполнения самых разнообразных технологических операций листовой и холодной штамповки.

В автомобильной промышленности методами холодной штамповки изготавливается до 70% общего числа деталей. Штамповка большинства деталей, и в первую очередь крупных и сложных по форме облицовочных деталей автомобилей, производится на поточных линиях, в начале которых установлены кривошипные прессы двойного действия, предназначенные для глубокой вытяжки.

При проектировании прессов предъявляются такие требования, как высокая производительность, надежность, долговечность и экономичность работы проектируемых машин. Практика эксплуатации кривошипных прессов показала, что существующие методы расчета прессов не всегда отвечают поставленным требованиям. Некоторые параметры прессов определяются по эмпирическим зависимостям, по аналогии с существующими конструкциями, без их критического анализа. Техничко-экономические показатели проектируемого оборудования в значительной степени зависят от правильного расчета главного привода пресса. Поэтому совершенствование методов расчета главного привода пресса является актуальной задачей.

Цель исследования. Целью данной работы является разработка методов аналитического исследования динамики привода кривошипного пресса (как системы с жесткими звеньями) в различные периоды цикла при работе одиночными и автоматическими ходами для определения оптимальных параметров системы электродвигатель-маховик и клиноременной передачи пресса.

Методы исследования. Для исследования динамики привода

НТБ МГТУ им. Н.Э.Бауман



1298677

Боков А.А. Исследование

кривошипного пресса реальная кузнечно-штамповочная машина заменена динамической двухмассовой моделью с жесткими звеньями. Для описания процесса работы привода пресса одиночными ходами весь цикл разбит на пять периодов, а цикл работы автоматическими ходами — на два периода. Теоретический анализ движения привода выполнен с учетом характера приложения технологической нагрузки, механической характеристики асинхронного двигателя и упругого скольжения клиноременной передачи.

Экспериментально исследован кривошипный пресс двойного действия с номинальным усилием 63 тс (К460).

Научная новизна. Проведенный попериодный анализ работы привода позволил получить расчетные уравнения, совместное решение которых для принятой технологической нагрузки позволило получить аналитические зависимости для определения параметров клиноременной передачи и системы электродвигатель-маховик при работе пресса одиночными и автоматическими ходами.

Практическая ценность. Результаты проведенных исследований стали основой при разработке РТМ "Расчет динамических нагрузок в ременной передаче привода кривошипных прессов", могут быть использованы при разработке РТМ по расчету электропривода кривошипных прессов и рекомендованы для практического применения в конструкторской практике.

Апробация работы. По основным разделам работы сделано два доклада на научных семинарах кафедры АМ-6 МВТУ им. Баумана, доклад на III научно-технической конференции молодых ученых и специалистов (ЗИЛ, 1975 г.).

Результаты работы использованы при разработке РТМ "Расчет динамических нагрузок в ременной передаче привода кривошипных прессов".

Объем работы. Диссертационная работа изложена на 112 страницах машинописного текста. Она содержит введение, пять глав, выводы по каждой главе, заключение и приложение. В работе приведены 15 таблиц, 62 рисунка и список литературы из 115 наименований.

В первой главе рассматриваются характерные особенности работы привода кривошипных прессов, методы расчета динамики кривошипных прессов, параметров системы электродвигатель-маховик, клиноременных передач приводов кривошипных кузнечно-штамповоч-

ных машин.

Кривошипные кузнечно-штамповочные машины (прессы) работают одиночными и автоматическими ходами.

При работе пресса одиночными ходами по характеру движения привода весь цикл разбит на пять периодов: включение муфты, разгон привода после включения муфты, рабочий ход, разгон привода после рабочего хода, заключительный период, в котором происходит торможение ведомых частей привода и разгон ведущих частей (маховика) привода за время паузы (t_n).

При работе пресса автоматическими ходами весь цикл разделен на два периода: рабочий ход и разгон привода.

Привод кривошипно-штамповочных машин работает в условиях пиковых нагрузок. Типичными для их привода является однопиковый и двухпиковый характер нагрузки электродвигателя при каждом ходе пресса.

Основные положения исследований динамики тяжелых машин были заложены в трудах С.Н. Кожевникова.

Дальнейшее развитие динамика кривошипных машин получила в работах Л.Б. Аксенова, В.И. Власова, В.П. Вяткина, А.М. Голубенцева, Л.И. Живова, А.И. Зимина, Е.Н. Ланского, Г.П. Навроцкого, Г.П. Носкова, В. Я. Осинных, Г.М. Родова и др.

Основными работами, которые относятся к исследованиям динамических процессов в кривошипных кузнечно-штамповочных машинах являются работы, выполненные под руководством Ланского Е.Н. и Живова Л.И.

Анализ литературных данных показывает, что динамические расчеты кривошипных кузнечно-штамповочных машин сведены к выявлению действительных нагрузок, возникающих в приводе от выполняемой технологической операции. И на основе выявленных действительных нагрузок ведется прочностной расчет деталей и узлов привода кривошипных машин, не затрагивая энергетическую сторону кривошипной кузнечно-штамповочной машины.

Динамические исследования муфт и тормозов кривошипных прессов представлены в работах В.И. Власова. Теоретические зависимости для процесса включения муфты получены без учета работы двигателя и проскальзывания клиноременной передачи.

Основные положения теоретических исследований системы электродвигатель-маховик принадлежат А.Т. Головану.

Дальнейшей разработке аналитических методов расчета электропривода посвящены работы Л.Б. Гейлера, В.П. Механика, Е.С. Назаренко, И.Ф. Пермякова, Т.А. Ремиха, И.В. Харизоменова и др.

Анализ методов расчета системы электродвигатель-маховик кривошипных кузнечно-штамповочных машин показал, что в настоящее время нет единой методики расчета, позволяющей производить выбор электродвигателя и маховика с учетом действительных затрат энергии электроприводом при работе пресса. Их недостаток в том, что необходимо рассматривать несколько вариантов, т.е. прибегать к пробам и подбору, что увеличивает трудоемкость расчетной работы, а главное не дает уверенности в выборе именно оптимального варианта параметров электропривода.

Передача крутящего момента от электродвигателя у современных прессов осуществляется посредством гибкой связи.

Наиболее широкое применение в приводах кривошипных кузнечно-штамповочных машин получили передачи клиновым ремнем. Методы расчета таких передач (ГОСТ 1284-68) учитывают характер нагрузки и режим работы эмпирическим коэффициентом, величина которого зависит от многих факторов и является неизвестной.

В результате проведенного анализа и в соответствии с целью исследования были поставлены следующие задачи:

1. Разработка аналитического метода определения параметров движения привода кривошипного пресса в течение всего цикла при работе одиночными и автоматическими ходами с учетом работы двигателя, технологической нагрузки, сопротивления в приводе и упругого проскальзывания клиноременной передачи.

2. Разработка методики определения параметров системы электродвигатель-маховик, с учетом режима нагружения привода за весь цикл, при работе кривошипного пресса одиночными и автоматическими ходами.

3. Разработка методики расчета клиноременной передачи кривошипного пресса по максимальному передаваемому моменту.

4. Экспериментальная проверка теоретического исследования работы привода кривошипного пресса двойного действия одиночными и автоматическими ходами.

Во второй главе проводится попермодное теоретическое исследование движения привода при работе пресса одиночными ходами.

В первый период, период включения фрикционной муфты, уравнения движения привода имеют вид:

$$J_1 \frac{d\omega_1}{dt} = M_{ge} - M_m - M_{c1}; \quad (1)$$

$$J_2 \frac{d\omega_2}{dt} = M_m - M_{c2}, \quad (2)$$

где J_1 и J_2 — приведенные относительные моменты инерции ведущих и ведомых частей привода;

$M_m = M_p \frac{t_z}{t_g}$ — момент трения в муфте, определяемый по степенной зависимости В.И. Власова, относительно времени включения муфты (t_g), ($z = 0,4 + 0,8$);

M_{c1} и M_{c2} — приведенные моменты сопротивления холостого хода ведущих и ведомых частей привода;

M_p — приведенный расчетный номинальный момент привода, определяемый по известной формуле М.В. Сторожева.

Из уравнения (1) для линейной аппроксимации механической характеристики асинхронного двигателя, предложенной А.Т. Голованом, получено выражение для текущего угла поворота и угловой скорости ω_1 ведущих частей привода.

Из уравнения (2) получено выражение для текущего угла поворота и угловой скорости ω_2 ведомых частей привода.

Из совместного решения уравнений (1) и (2) получено выражение для определения угловой скорости ω_k в конце периода включения муфты

$$\omega_k = \frac{\omega_0(1 - AY)}{1 + \frac{J}{1 - Y_2(z+1)}}, \quad (3)$$

где ω_0 — приведенная синхронная угловая скорость привода;

$J = \frac{J_2}{J_1}$ — относительный момент инерции привода;

$A = \frac{S_{кр} M_p}{K M_k}$ — величина, учитывающая параметры привода пресса;

$S_{кр}$ — критическое скольжение привода, определяемое критическим скольжением двигателя

S_K и дополнительным упругим S_{CK} проскальзыванием ременной передачи;

$K = 1,39$ - для асинхронных двигателей;

M_K - приведенный критический момент двигателя.

Анализ выражения (3) показывает, что наибольшее влияние на величину ω_c оказывает величина j .

Для второго периода (разгон привода после включения муфты) уравнение движения привода имеет вид:

$$(J_1 + J_2) \frac{d\omega}{dt} = M_{g\phi} - M_c, \quad (4)$$

где $M_c = (\psi_1 + \psi_2) M_p = \psi M_p$.

При подстановке величины момента двигателя по различным формулам механической характеристики асинхронного электродвигателя (по формулам Клосса

$$M_{g\phi} = \frac{2M_K}{\frac{S}{S_K} + \frac{S_K}{S}};$$

С.И. Огородникова $M_{g\phi} = \frac{M_K}{S_K} (n - \frac{S}{S_K})$, где $n=2$;

А.Т. Голована $M_{g\phi} = \frac{K M_K S}{S_K}$) был проведен сравнительный анализ по точности решения уравнения (4). Хорошее совпадение результатов показало решение уравнения (4) при подстановке $M_{g\phi}$ по формуле Клосса и параболической аппроксимации при $n = 2,053$, но выражения для угла поворота и угловой скорости звена приведения, полученные при подстановке $M_{g\phi}$ по уточненной параболической аппроксимации ($n = 2,053$), значительно проще и получены в явном виде.

Третий период (рабочий ход пресса). Уравнения движения привода имеет вид:

$$(J_1 + J_2) \frac{d\omega}{dt} = M_{g\phi} - M_c - M_{tex}, \quad (5)$$

где M_{tex} - приведенный момент от технологической нагрузки.

Для упрощения конечных результатов действительный силовой график вытяжки на провал заменялся аппроксимированным двухучастковым графиком, рост нагрузки в котором меняется по закону синуса, а снижение - по косинусу.

Для первой и второй фазы нагружения из уравнения (5) получены текущие и расчетные выражения для угла поворота и угловой скорости звена приведения.

Для данного периода рассмотрен также случай аппроксимация силового графика по синусоидальному закону (неглубокая вытяжка).

Четвертый период цикла, разгон привода после рабочего хода, по характеру движения аналогичен движению привода во втором периоде цикла. Уравнение движения привода имеет вид (4). Для данного периода получены текущие и расчетные выражения, с учетом граничных условий, для угла поворота и угловой скорости звена приведения.

Пятый, заключительный период цикла. После отключения муфты и включения тормоза происходит независимое движение ведущих и ведомых частей привода. Электродвигатель разгоняет ведущие части привода до начального значения угловой скорости, ведомые части привода останавливаются в исходном верхнем положении.

Уравнения движения привода имеют вид:

$$J_1 \frac{d\omega_1}{dt} = M_{ge} - M_{c1}; \quad (6)$$

$$J_2 \frac{d\omega_2}{dt} = -M_T - M_{c2}, \quad (7)$$

где M_T — момент трения в тормозе.

Решение уравнения (6) аналогично решению уравнения (4). Из решения уравнения (7) при известной угловой скорости привода к моменту начала торможения получены зависимости для определения момента тормоза и времени торможения.

Теоретический анализ работы кривошипного пресса по периодам позволил получить уравнения для определения угла поворота и угловой скорости звена приведения по каждому периоду для линейной и параболической аппроксимаций механической характеристики асинхронного двигателя, совместное решение которых определяет устойчивую работу привода кривошипного пресса одиночными ходами.

В данной главе проанализирована устойчивая работа электропривода для двухчасткового силового графика для системы уравнений с использованием линейной аппроксимации механической характеристики асинхронного двигателя.

Получено выражение для определения коэффициента γ , определяющего величину M_k электродвигателя

$$\gamma = \frac{M_k}{M_p} = \frac{(S_k + S_{ck}) \left(\psi + \frac{2}{\pi} \cdot \frac{M_{max}}{M_p} \cdot \frac{\varphi_{II}}{\varphi_{II} + \varphi_{III} + \varphi_{IV}} \right)}{K S_H}, \quad (8)$$

где φ_{II} ; φ_{III} ; φ_{IV} - углы поворота звена приведения, соответственно для второго, третьего и четвертого периодов цикла, которые легко определяются из кинематики привода;

M_{max} - максимальный приведенный момент в приводе от технологической нагрузки.

Для выявления функциональной зависимости момента инерции ведущей части привода в зависимости от снижения угловой скорости к концу рабочего хода ω_{pk} получено приближенное выражение

$$T = \frac{J_1 \omega_0}{M_p} = \frac{\frac{\varphi_{II} + \varphi_{III}}{\omega_0 (1 - S_H)} \left(\psi - \frac{S_H}{A} + \frac{2}{\pi} \cdot \frac{M_{max}}{M_p} \cdot \frac{\varphi_{II}}{\varphi_{II} + \varphi_{III}} \right) + \frac{J_2 \omega_0}{M_p} \cdot \frac{\omega_{pk}}{\omega_0}}{1 - A \psi - \frac{\omega_{pk}}{\omega_0}}, \quad (9)$$

где J_2 - определяется из конструктивных соображений;

T - механическая постоянная привода имеющая размерность времени.

В приложении диссертационной работы приведена методика расчета системы электродвигатель-маховик кривошипного листоштамповочного пресса.

В третьей главе проводится теоретический анализ по определению энергетических затрат при работе пресса одиночными ходами.

Получена зависимость для определения работы трения муфты $A_{тр} = J_2 \frac{\omega_0^2 \omega_k}{2 \omega_0}$ с учетом параметров двигателя, муфты, сопротивления привода и проскальзывания клиноременной передачи.

Проведенный теоретический анализ позволил получить аналитические выражения для определения энергетических затрат по периодам и за весь цикл работы пресса. Варьируя параметрами привода пресса можно еще в стадии проектирования разработать более экономичный вариант привода пресса.

В четвертой главе проводится теоретический анализ работы кривошипного пресса автоматическими ходами.

Работа кривошипного пресса автоматическими ходами, по характеру движения, аналогична работе пресса одиночными ходами в III и IV периоде цикла.

Движение привода в период рабочего хода описывается уравнением (5), а в период разгона — уравнением (4).

Теоретический анализ при работе привода автоматическими ходами проводился для операции вытяжки на провал.

Проведенный теоретический анализ работы кривошипного пресса по периодам цикла позволил получить уравнения для определения текущих значений угла поворота и угловой скорости звена приведения по каждому периоду для линейной и параболической аппроксимаций механической характеристики асинхронного двигателя, совместное решение которых определяет устойчивую работу привода кривошипного пресса автоматическими ходами.

Для случая (линейная аппроксимация механической характеристики двигателя), когда после выполнения технологической операции привод восстанавливает свои обороты до величины $\omega_{рн}$, определяющей потери угловой скорости только от момента M_c , получено приближенное выражение для определения коэффициента γ , определяющего величину M_k электродвигателя

$$\gamma = \frac{M_k}{M_p} = \frac{(\bar{S}_k + S_{ck}) \left(\psi + \frac{2}{\pi} \cdot \frac{M_{max}}{M_p} \cdot \frac{\varphi_{рн}}{\varphi_4} \right)}{K S_n}, \quad (10)$$

где $\varphi_{рн}$ — приведенное значение угла, на котором совершается рабочий ход пресса;

φ_4 — приведенное значение угла поворота главного вала.

Для вычлнения функциональной зависимости момента инерции ведущей части привода от параметров технологического процесса получено следующее выражение

$$T(1+j) = \frac{\frac{2}{\pi} \cdot \frac{M_{max}}{M_p} - \frac{S_n - A\gamma}{A}}{1 - A\gamma - \frac{\omega_{рн}}{\omega_0}} \cdot \frac{\varphi_{рн}}{\varphi_4} \cdot T_u, \quad (11)$$

где $T_u = \frac{\varphi_4}{\omega_0(1 - S_n)}.$

Из выражения (II) получаем зависимость для определения приведенного момента инерции ведущих частей привода

$$J_1 = \frac{T(1+j) M_p}{\omega_0} - J_2$$

Момент инерции J_2 определяется из конструктивных соображений

Выражения (IO) и (II) получены при допущении пропорциональности между углом поворота и временем.

Теоретический анализ работы кривошипного пресса позволяет еще в стадии проектирования, задаваясь допустимым снижением угловой скорости привода $\omega_{рн}$, определить оптимальные параметры системы электродвигатель-маховик (M_k и J_1) и количественно характеризовать энергетические возможности пресса.

В пятой главе изложены задачи и методика экспериментального исследования, методика определения коэффициентов γ_1 и γ_2 , охарактеризованы приборы, аппаратура, датчики, применяемые при эксперименте, а также изложены результаты экспериментального исследования кривошипного пресса двойного действия (К 460) при работе одиночными и автоматическими ходами и проведен сравнительный анализ теоретического и экспериментального исследований.

Основной задачей экспериментального исследования являлась проверка результатов теоретического исследования процессов в приводе кривошипного пресса при работе одиночными и автоматическими ходами, определение энергетических затрат при работе привода за весь цикл.

Экспериментальное исследование проводилось при работе пресса одиночными и автоматическими ходами с нагружением пресса технологической нагрузкой. На прессе производилась вытяжка на провал банок ϕ 123 мм из заготовок ϕ 230 мм, сталь 08 кп толщиной 1 мм; 1,5 мм; 2 мм.

Для регистрации угловой скорости маховика и ротора электродвигателя применялся метод биений, основанный на рассогласовании частот перекрытия светового потока, падающего на фотосоппротивление, и изменения светового потока, имеющего место при использовании в качестве источника светового потока лампы накаливания, питаемой от сети переменного тока.

По результатам экспериментального исследования кривошипного пресса при работе одиночными и автоматическими ходами, проведен сравнительный анализ по продолжительности рабочего хода, цикла работы, снижения угловой скорости звена привода в зависимости от максимальной технологической нагрузки. Проведен сравнительный анализ по энергетическому балансу.

Наилучшая сходимость теоретических и экспериментальных значений обнаруживается в случае комбинированного сочетания аппроксимаций (одиночный ход: I и II период – линейная аппроксимация механической характеристики асинхронного двигателя; II, IV, V – параболическая; автоматический ход: I период – линейная аппроксимация; II период – параболическая).

Разница опытных и теоретических значений по энергетическому балансу не превышает 3,5% при работе пресса одиночными ходами и 3% – автоматическими.

Все расчеты проводились на ЭВМ "Мир" и "Навигатор - К".

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Полученные из теории расчетные формулы позволяют определять угловые скорости, ускорения и углы поворота звеньев привода в любой момент времени в течение всего цикла работы пресса, энергию маховика перед рабочим ходом и в конце рабочего хода, момент-тормоза при заданном угле торможения.

2. Изучение динамики привода пресса при заданном технологическом процессе позволяет определить затраты энергии в приводе при работе одиночными и автоматическими ходами как в отдельные периоды, так и за весь цикл, что позволяет рассчитать к.п.д. привода пресса в зависимости от выбранных его параметров и компоновки еще на стадии проектирования.

3. На основании теоретических исследований разработана методика определения оптимальных параметров системы электродвигатель-маховик при работе пресса одиночными и автоматическими ходами с учетом работы привода за весь цикл.

4. Полученные из теории расчетные формулы позволяют количественно определить максимальные моменты в приводе и эти результаты были использованы для разработки РТМ "Расчет динамических нагрузок в ременной передаче привода кривошипных прессов".

По теме диссертации опубликованы следующие работы:

1. Богданов Э.Ф., Боков А.А. Разгон привода кривошипного пресса. Машины и технология обработки металлов давлением. Труды МВТУ. Москва, 1976, № 229, 92 с.
2. Богданов Э.Ф., Боков А.А. Работа кривошипного пресса двойного действия автоматическими ходами. Машины и технология обработки металлов давлением. Труды МВТУ. Москва, 1976, № 229, 92 с.
3. Богданов Э.Ф., Боков А.А. Расчет потерь при включении фрикционной муфты кривошипного пресса. Тезисы доклада на III научно-технической конференции молодых ученых и специалистов ЗИЛа, г. Москва, 25 февраля 1975 г., 256с.
4. Богданов Э.Ф., Боков А.А., Фрейнд А.И., Пожидаев Н.Н. Расчет динамических нагрузок в ременной передаче привода кривошипных прессов. I-ая редакция РТМ МВТУ, Москва, 1976 г.

По теме диссертации опубликованы следующие работы:

1. Богданов Э.Ф., Боков А.А. Разгон привода кривошипного пресса. Машины и технология обработки металлов давлением. Труды МВТУ. Москва, 1976, № 229, 92 с.
2. Богданов Э.Ф., Боков А.А. Работа кривошипного пресса двойного действия автоматическими ходами. Машины и технология обработки металлов давлением. Труды МВТУ. Москва, 1976, № 229, 92 с.
3. Богданов Э.Ф., Боков А.А. Расчет потерь при включении фрикционной муфты кривошипного пресса. Тезисы доклада на III научно-технической конференции молодых ученых и специалистов ЗИЛа, г. Москва, 25 февраля 1975 г., 256с.
4. Богданов Э.Ф., Боков А.А., Фрейнд А.И., Пожидаев Н.Н. Расчет динамических нагрузок в ременной передаче привода кривошипных прессов. I-ая редакция РТМ МВТУ, Москва, 1976 г.