

УДК 621.7-52

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИВОДА КРИВОШИПНОГО ПРЕССА ПРИ ЧАСТОТНОМ УПРАВЛЕНИИ

Александр Владимирович Лазуткин ⁽¹⁾, Алексей Анатольевич Анцифиров ⁽²⁾

Магистр 1 года ⁽¹⁾, кандидат технических наук ⁽²⁾,
кафедра «Технологии обработки давлением»

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: Е.Н. Складчиков,
доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии обработки давлением»

Аннотация:

В статье рассматривается подготовка экспериментального исследования работы привода кривошипного пресса с системой частотного управления асинхронным двигателем. Исследование проводится с целью подтверждения результатов, полученных при математическом моделировании. Использование частотного управления позволяет реализовать режим постоянства скольжения и, следовательно, снизить энергопотребление, температуру двигателя, увеличить его долговечность, уменьшить массу и габаритные размеры маховика, разгрузить вал маховика.

Ключевые слова: кривошипный пресс, частотное управление, привод кривошипного пресса, энергоэффективность привода.

Актуальность и практическая значимость

Работа электродвигателя привода кривошипного пресса имеет специфику по сравнению с устройствами, в которых применяется частотное управление. Это связано с пиковым характером нагрузки и наличием в приводе пресса маховика. Наиболее важными показателями работы привода являются долговечность, материалоемкость, прочность, КПД, плавность изменения токовой нагрузки. В [4] путём математического моделирования показано, что применение частотного управления приводом кривошипного горячештамповочного пресса конструкции завода имени Лихачёва с номинальной силой 25МН позволяет на 30,23% уменьшить потребление энергии, на 38,4% уменьшить массу маховика, повысить запас прочности приёмного вала пресса. Целью данной работы является экспериментальное подтверждение целесообразности частотного управления приводом кривошипных прессов.

Кривошипные прессы нашли широкое применение в автомобилестроении, авиастроении, приборостроении, других отраслях промышленности. Поэтому применение частотного управления приводом кривошипных прессов даст значительный экономический эффект в масштабах экономики страны.

Объект экспериментального исследования

Объектом исследования в данной работе является листоштамповочный кривошипный пресс двойного действия К460 с номинальной силой 630кН (рис. 1)

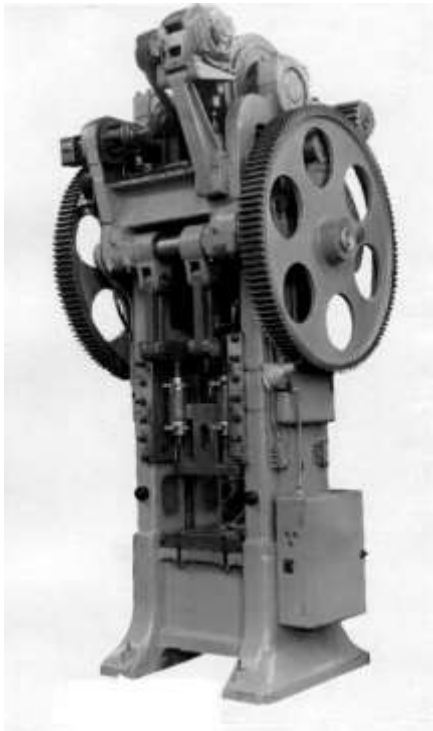


Рис.1 Кривошипный пресс

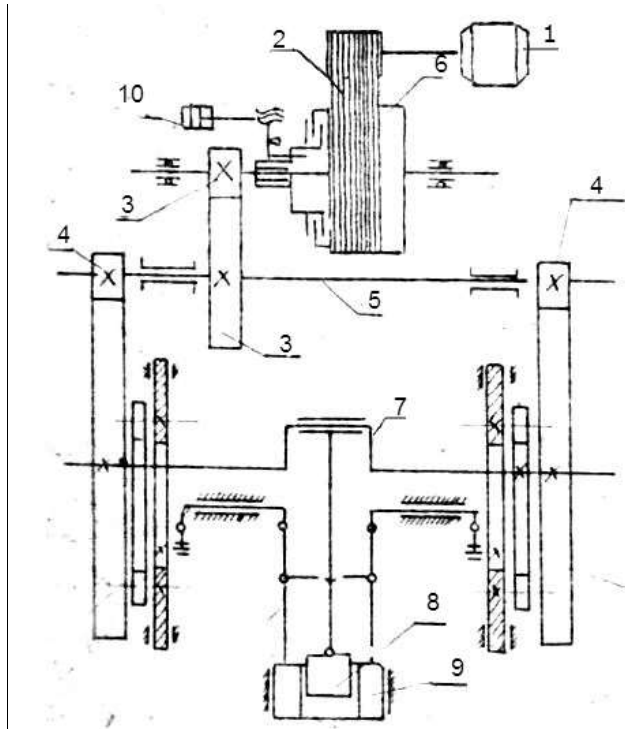


Рис. 2 Кинематическая схема прессы

Пресс изображен на рис. 1, его кинематическая схема - на рис. 2. Пресс содержит привод, главный исполнительный механизм, станину и систему управления.

Привод прессы включает в себя асинхронный электродвигатель 1, клиноременную передачу 2, быстроходную и тихоходную зубчатые передачи 3, 4, приводной вал 5 и маховик 6. Главный исполнительный механизм состоит из кривошипного вала 7, вытяжного 8 и прижимного 9 ползунов. Система включения 10 состоит из муфты и тормоза [1].

Особенности частотного управления приводом кривошипных прессов.

В большинстве случаев привод кривошипных прессов включает маховик и асинхронный двигатель. Применение асинхронного электродвигателя обусловлено тем, что он имеет простую конструкцию, низкую стоимость, относительно небольшие габаритные размеры. Маховик предназначен для обеспечения энергией деформирования штампуемой заготовки, затраты которой носят пиковый характер.

Цикл работы такого привода состоит из следующих этапов: ход приближения, рабочий ход, холостой ход вверх.

При совершении рабочего хода маховик расходует кинетическую энергию, что приводит к уменьшению частоты его вращения. Количество энергии, отдаваемое маховиком, ограничено, поскольку электродвигатель, с которым он кинематически жёстко связан, не допускает значительного уменьшения частоты вращения и сопутствующего увеличения скольжения. Последнее приводит к механической, электрической и тепловой перегрузкам, резко сокращающим срок службы двигателя. Поэтому доля энергии, отдаваемой маховиком составляет не более 20-30% его полной энергии [4].

Запас кинетической энергии маховика: $A_m = \frac{J_M \omega_M^2}{2}$, (2), где

J_M - момент инерции маховика,
 ω_M - частота вращения маховика

$$\text{Доля отдаваемой энергии: } \Delta A_m = \frac{J_M}{2} (\omega_{M \max}^2 - \omega_{M \min}^2),$$

$$\text{Минимальная частота вращения ротора двигателя: } \omega_{\min} = i \omega_{M \min},$$

i - передаточное отношение,

Абсолютное скольжение: $\Delta\omega = \omega_0 - \omega$, где

ω_0 - частота вращения поля двигателя,

ω - частота вращения ротора двигателя.

График изменения текущего значения частоты вращения ротора ω во время работы привода, полученный в математическом моделировании средствами программного комплекса ПА9, показан на рис. 3:

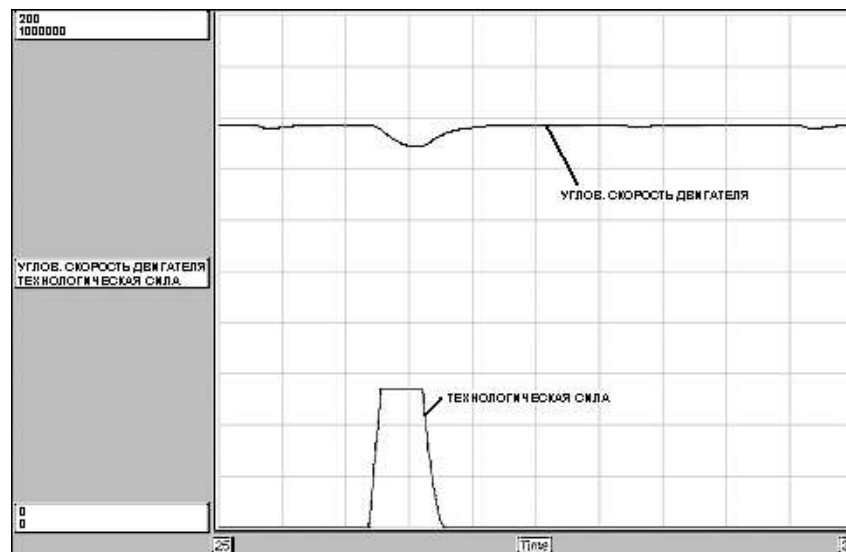


Рис.3. График изменения частоты вращения ротора

Особенности маховичных приводов подразумевают построение системы частотного управления таким образом, чтобы исключить или значительно уменьшить количество неиспользуемой энергии маховика и потери, увеличить надежность машины и обеспечить номинальный срок службы электродвигателя.

Управление частотой питающего напряжения, регулирующей частоту вращения поля асинхронного двигателя производят в соответствии с выражением (3)[2,3]:

$$\omega_0 = \frac{2\pi f}{p} \quad (3).$$

Уменьшение частоты вращения поля статора позволяет практически без ограничения снижать значение минимальной частоты вращения ротора, не превышая критического значения скольжения. При этом снижаются токовые и тепловые нагрузки, увеличивается КПД, снижается энергопотребление.

Результаты моделирования, выполненного в работе [4], показали, что оптимальным законом изменения частоты вращения магнитного поля статора является закон постоянства скольжения двигателя $\Delta\omega = \omega_0 - \omega = \text{const}$. При этом равенство скольжения, равного номинальному скольжению электродвигателя, обеспечивает номинальный режим его работы.

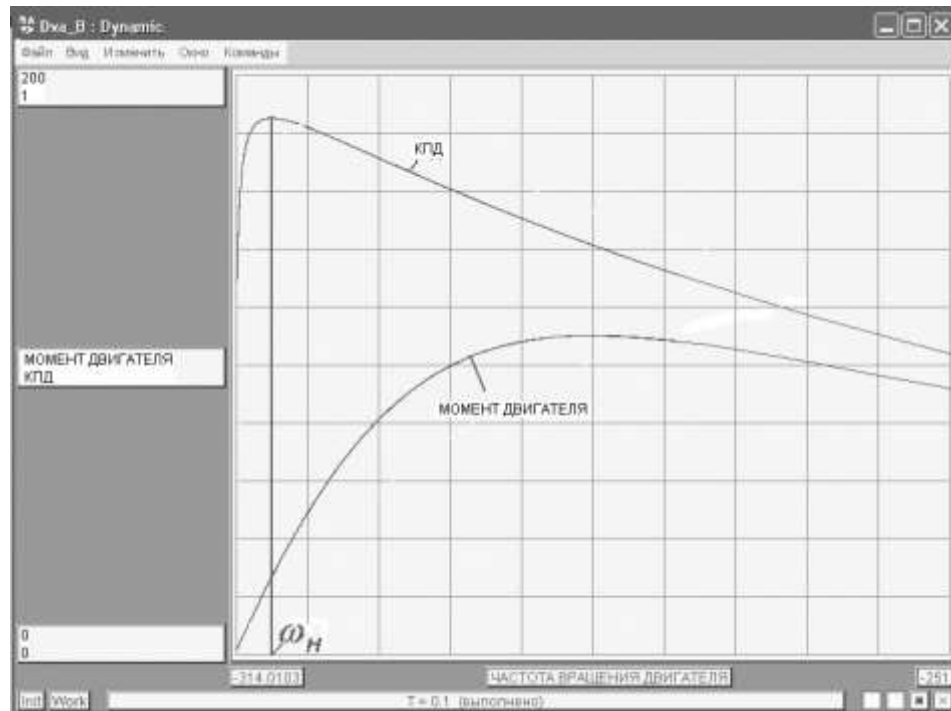


Рис. 4. Зависимость КПД асинхронного двигателя от частоты вращения

Как видно из графика, полученного при моделировании (рис. 4), при работе двигателя в номинальном режиме достигается максимальный КПД.

По сравнению с результатами моделирования процесса без частотного управления (рис. 5), его использование (рис. 6) позволило значительно сузить зону скольжения $\Delta\omega$.

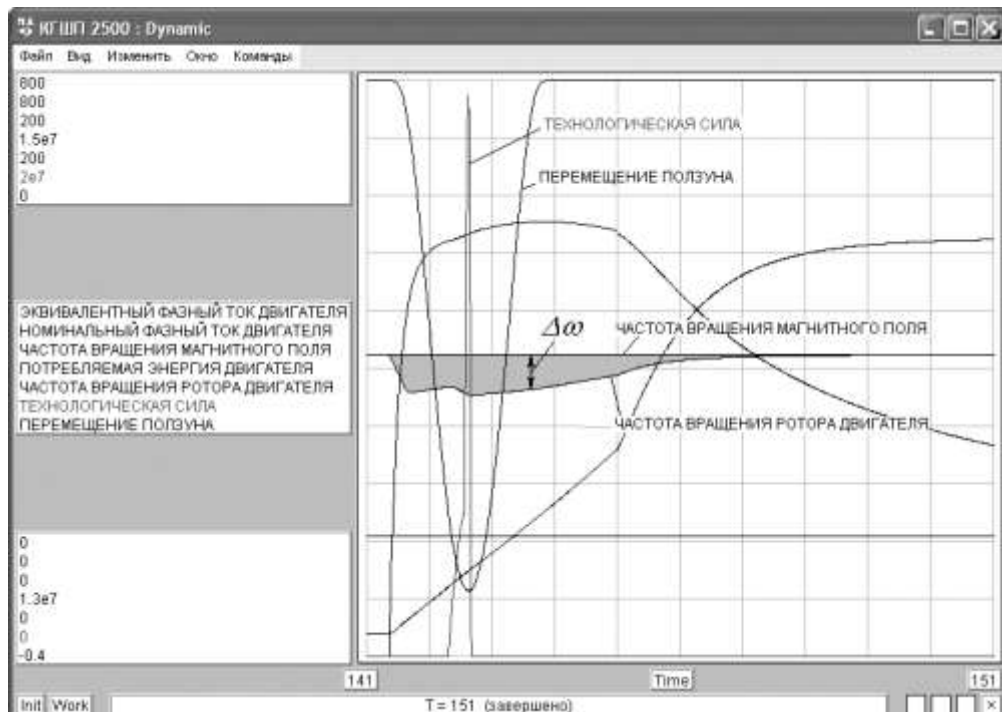


Рис. 5. Цикл работы прессы без частотного управления приводом

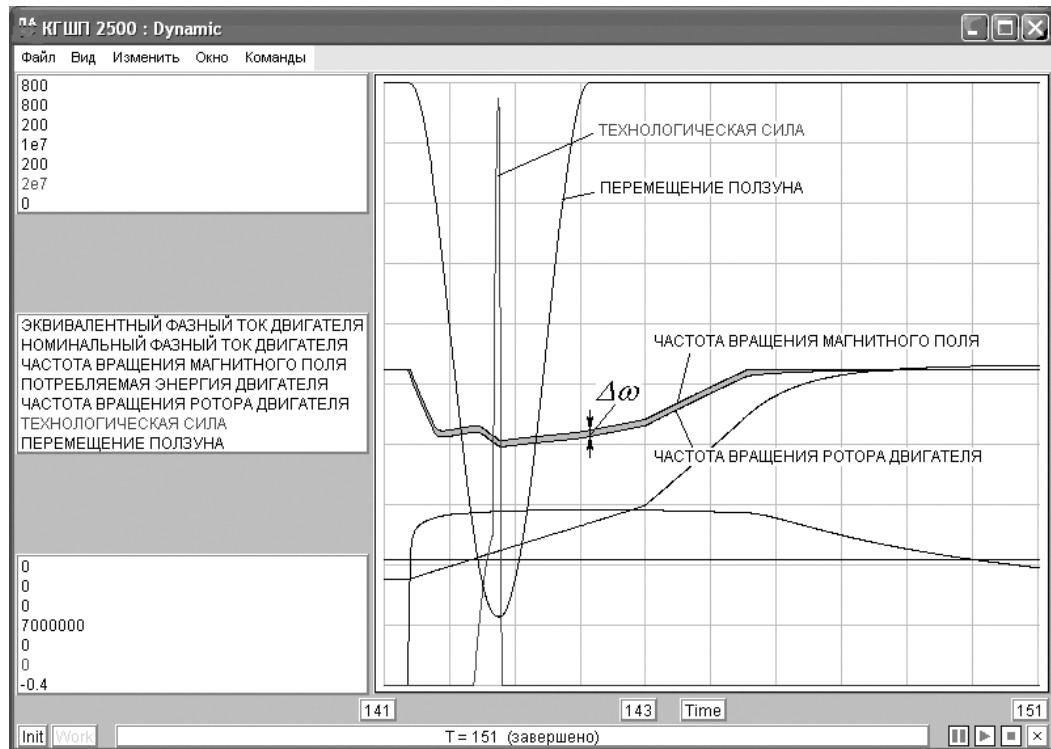


Рис. 6. Цикл работы с частотным управлением приводом.

План экспериментального исследования.

Для установления достоверности результатов, полученных при моделировании процесса штамповки на кривошипном прессе, был проведен натурный эксперимент.

Задачами данного эксперимента являлись определение и сопоставление данных, полученных при выполнении операций штамповки на прессе К460, подключенного к электрической сети постоянной промышленной частоты и в условиях постоянства скольжения электродвигателя, обеспечиваемого управлением частотой питающего напряжения. Дать количественную и качественную оценку изменения основных отслеживаемых параметров и сравнить их с результатами, достигнутых при моделировании, представленном в работе [4].

Система частотного управления.

Принципиальная схема экспериментального стенда представлена на рис. 7:

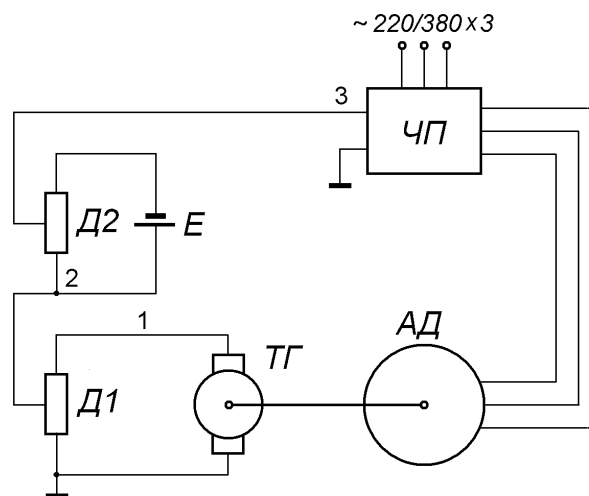


Рис. 7. Схема экспериментального стенда

Основными элементами системы управления являются:

АД - асинхронный электродвигатель ($P_H=7,5$ кВт, $n_H=1440$ об./мин.),

ТГ - тахогенератор ТП-80-20-0,2 ($S=20$ мВ*об/мин., $n_H=3000$ об./мин.),

ДН1, ДН2 - делители напряжения,

ЧП - частотный преобразователь PROSTAR PR6000-0450T3G (0 до 400 Гц).

Частотный преобразователь обеспечивает на своем выходе частоту напряжения пропорциональную напряжению на управляющем входе 3, равной 50 Гц при напряжении 5 В. Это соответствует частоте вращения магнитного поля двигателя 1500 об./мин. Характеристика частотного преобразователя показана на рис. 8.

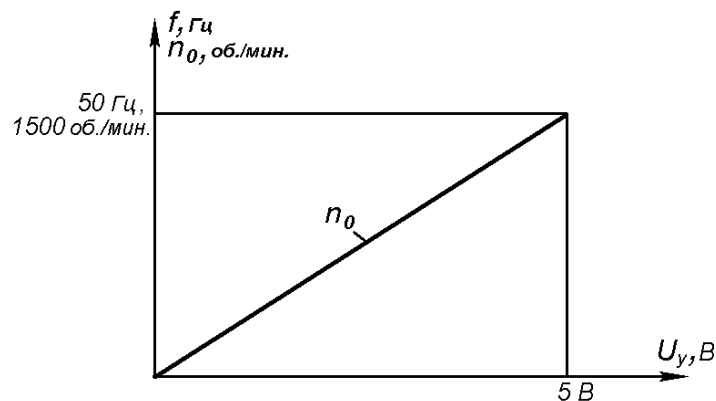


Рис. 8. Характеристика частотного преобразователя

Тахогенератор при 1500 об./мин. обеспечивает напряжение 30 В (точка 1 на схеме по рис. 7). Делителем напряжения Д1 это напряжение приводится к значению 5 В (точка 2 на схеме по рис. 7). Тогда характеристика тахогенератора в совокупности с делителем напряжения Д1 будет иметь вид, показанный на рис. 9.

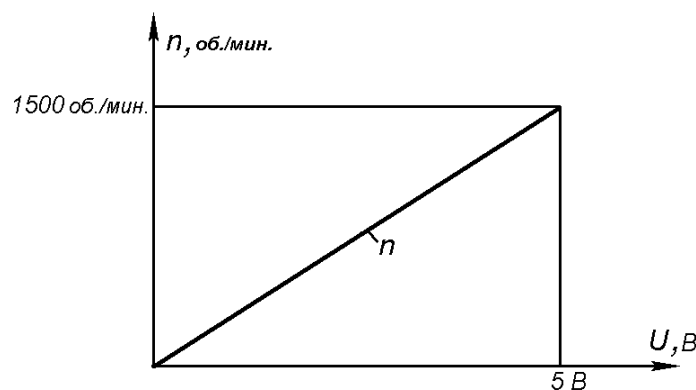


Рис. 9. Характеристика тахогенератора с делителем напряжения Д1

При подаче напряжения с точки 2 схемы по рис. 7 на управляющий вход частотного преобразователя графики n и n_0 на рис. 8 и 9 окажутся совмещёнными, что определит скольжение двигателя равное нулю. Для задания скольжения отличного от нуля в схеме по рис. 7 предусмотрен делитель напряжения Д2 с собственным источником напряжения. Этим задаётся вольтодобавка, величина которой определяет задаваемое скольжение двигателя. Характеристика частотного преобразователя, управляемого от тахогенератора с делителями напряжений Д1 и Д2 показана на рис.10.

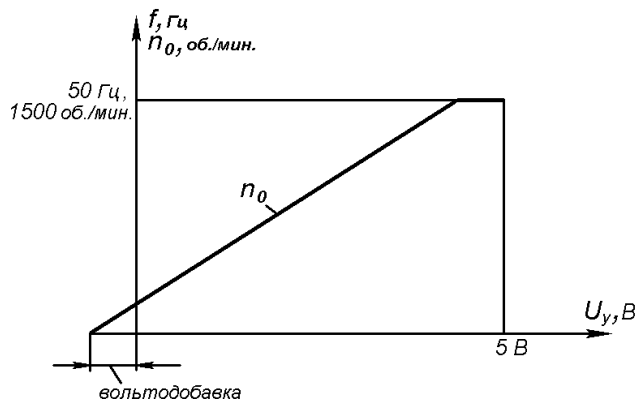


Рис.10. Характеристика частотного преобразователя, управляемого от тахогенератора с делителями напряжения Д1 и Д2

Тогда совмещённые характеристики частотного преобразователя и тахогенератора с делителями напряжения Д1 и Д2 будут иметь вид, показанный на рис. 11.

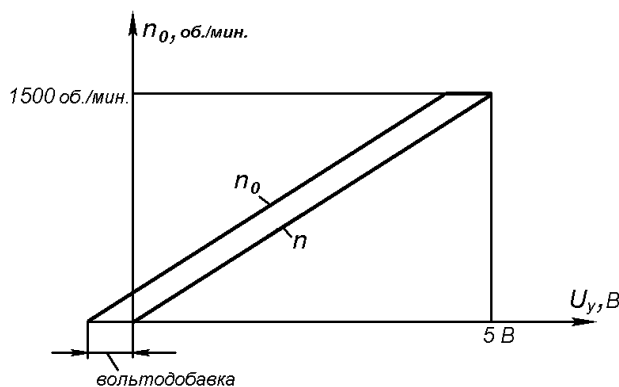


Рис. 11. Совмещённые характеристики частотного преобразователя и тахогенератора.

Согласно рис. 11, во всём диапазоне частот вращения двигателя обеспечивается постоянное скольжение $n_0 - n$.

Экспериментальное исследование

Экспериментальное исследование включает в себя следующие этапы:

- проектирование и изготовление вспомогательного приспособления
- установка, подключение и настройка системы управления и измерительной аппаратуры
- получение управляющего сигнала
- проведение испытаний и фиксация характерных параметров работы пресса.

Перед получением данных о работе привода необходимо выполнить настройку системы управления. Она включает в себя измерение напряжения сигнала, поступающего с выхода тахогенератора и определение значения вольтдобавки, обеспечивающей постоянное скольжение электродвигателя с необходимым опережением.

Ход проведения эксперимента

Первый шаг экспериментального исследования – пуск пресса и выполнение одиночной штамповочной операции (вытяжки) при промышленной частоте питающего напряжения. Необходимо получить значения следующих параметров:

- КПД
- работа деформирования

- технологическая сила
- эквивалентный ток
- частота вращения ротора и магнитного поля, скольжение электродвигателя

Вторым шагом экспериментального исследования является определение такого же набора параметров при выполнении операции штамповки (вытяжки) кривошипным прессом в условиях частотного управления, обеспечивающего постоянство скольжения электродвигателя.

Необходимо определить оптимальное значение скольжения двигателя, дающее наибольший выигрыш по энергоэффективности с минимальным ущербом для остальных характеристик.

Заключительным шагом экспериментального исследования является сравнение результатов, достигнутых при применении системы частотного управления приводом, с характеристиками, полученными при работе пресса без ее использования. Также необходимо сопоставить данные эксперимента с результатами математического моделирования и сделать выводы о возможностях и рациональности частотного управления маховичными приводами.

Литература

1. *Живов Л.И., Овчинников А.Г., Складчиков Е.Н.* Кузнечно-штамповочное оборудование. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. - 560 с.
2. *Сандлер А.С., Сарбатов Р.С.* Автоматическое частотное управление асинхронными двигателями. М., Энергия, 1974. - 328 с.
3. *Харизоменов И.В.* Электрооборудование кузнечно-штамповочных машин. Учебник для вузов по специальности "Машины и технология обработки металлов давлением". М., "Высш. школа", 1970. -185 с.
4. *Складчиков Е.Н., Овсянников В.В.* Частотное управление кривошипных прессов. Наука и образование, 2008.