

Моделирование частотного управления приводом электровинтового пресса с помощью Па9

Мордвинцев П.С., 6 курс

Московский Государственный Университет им. Н.Э. Баумана
Кафедра «Машины и технология обработки материалов давлением»

Руководитель: проф. Складчиков Е.Н.

Выполнено математическое моделирование электровинтового пресса в условиях частотного управления дугостаторным приводом. Разработана математическая модель пресса с системой логического управления в программном комплексе Па9, проведена оптимизация работы кузнечно-штамповочной машины, снижена токовая нагрузка на электродвигатель и потребление электрической энергии из сети.

Введение

До недавнего времени в качестве регулируемых по скорости электроприводов в нашей стране, в основном, использовались электроприводы постоянного тока. Системы регулирования скорости двигателя постоянного тока достаточно просты, но слабым местом такого электропривода является двигатель. Он дорог, а коллекторно-щеточный механизм является его ненадёжным узлом. При работе коллектор «подгорает», двигатель требует постоянного обслуживания, не может работать в запыленной и агрессивной среде. Асинхронный двигатель дешев, он не имеет подвижных контактов, что определяет его высокую надежность, но плохо регулируется по скорости.

Частотное управление – регулирование скорости вращения асинхронного двигателя посредством изменения частоты и амплитуды подаваемого трёхфазного напряжения.

Математическое моделирование электровинтового пресса с дугостаторным приводом без частотного регулирования показывает, что электродвигатель работает со значительными перегрузками. Целью применения частотного управления является снижение нагрузок на электродвигатель и потребления электрической энергии из сети. Регулирование числа оборотов электропривода может осуществляться за счет использования частотного преобразователя.

Преобразователи частоты позволяют плавно, бесступенчато регулировать скорость вращения асинхронного двигателя.

Модель электровинтового пресса с системой логического управления разработана в Па9 с целью проведения анализа и оптимизации работы пресса. Закон изменения частоты тока во времени принят в виде полинома 3-го порядка:

$$f = f_0 \cdot f_1 t \cdot f_2 t^2 \cdot f_3 t^3$$

Параметрами оптимизации служат коэффициенты полинома.

Схема и работа пресса

Винтовые прессы обладают большой энергоемкостью, просты по конструкции, нетрудоемки в наладке и обслуживании, не имеют стопорных положений ползуна (заклинивания), обеспечивают стабильную точность штампованных заготовок. Скорость ползуна 0.6-1.5 м/с является оптимальной для горячей штамповки различных металлов и сплавов, в том числе и труднодеформируемых. С их помощью можно изготавливать сложные поковки за один ход ползуна, производить закрытую штамповку в разъемных матрицах, штамповать турбинные лопатки и другие детали с минимальными припусками на механическую обработку [1].

В качестве объекта анализа выбран ЭВП Ф1732 Чимкетского завода КПО с номинальной энергией удара 7 КДж. Конструктивная схема пресса показана на рис. 1

Гибкость изменения частоты напряжения, обеспечиваемая современными частотными преобразователями, позволяет оптимизировать работу привода путем выбора законов изменения частоты питающего напряжения.

Схема пресса:

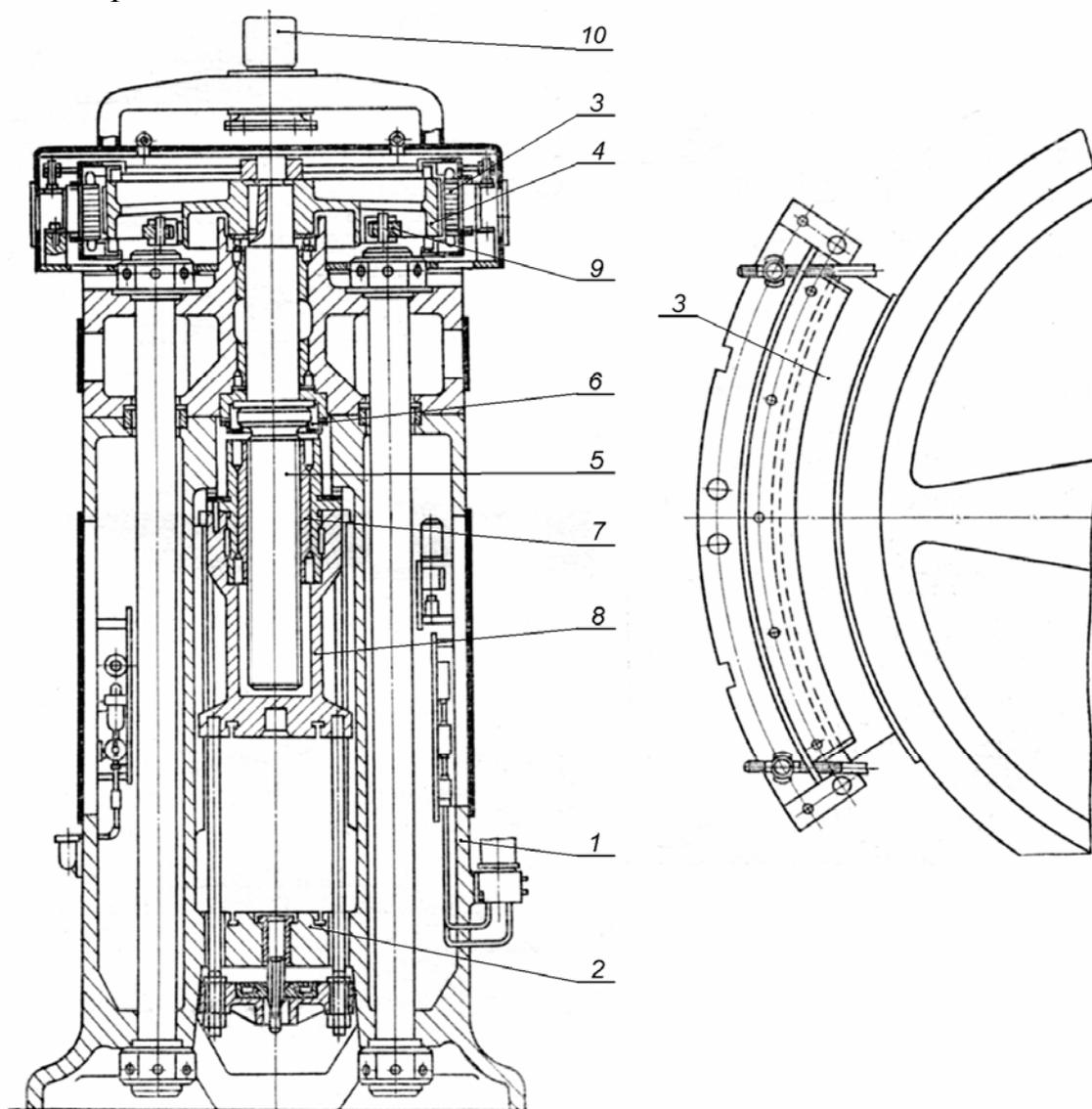


Рис.1. Схема пресса

Гайка винтовой пары 7 установлена на ползуне пресса 8. Посредством продольного и поперечного клиньев положение гайки можно регулировать относительно оси ползуна. Винт 5 упирается кольцевым буртом в средней части в упорный подшипник скольжения 6, размещённый на нижней плоскости верхней траверсы пресса. При рабочем ходе сила штамповки передаётся по цепочке деталей – верхний штамп, ползун, гайка, вин и его бурт, упорный подшипник, траверса станины 1 и её стойки — и замыкается на столе пресса 2, где установлен нижний штамп.

Моделирование работы электровинтового пресса с помощью Па9

Цель моделирования: уменьшение энергозатрат работы пресса.

Задачи моделирования в программном комплексе Па9:

- Составление математической модели работы электровинтового пресса в программном комплексе Па9.
- Определение оптимальных параметров работы пресса.
- Расчёт энергозатрат работы кузнечно-штамповочной машины.
- Моделирование частотного управления приводом пресса.

Расчет параметров привода:

Особенность работы безредукторного электропривода винтовых прессов заключается в переходном неустановившемся режиме электродвигателя с числом пусков $2n$ в минуту (где n – число ходов ползуна в минуту) [2].

Номинальный режим работы электродвигателя получается только в конце разгона во время хода ползуна вниз. Во время хода вверх он не достигается совсем. Скольжение изменяется за один цикл работы пресса от 100% при трогании до 15-20% в конце разгона. Сила тока изменяется от (4-4.5) I_n до (2-2.5) I_n .

(где I_n - сила тока при установившемся режиме).

Чтобы не применять редуктор, электродвигатель должен работать при пониженных угловых скоростях (12-16) 1/с. Угловая скорость электромагнитного поля статора:

$$\omega = \frac{\nu \cdot \beta}{N_p \cdot 2\pi}, \text{ где}$$

ν - частота переменного тока,

N_p - число пар полюсов,

β - угол охвата статора.

Угол охвата пропорционален изменению угловой скорости вращения, т.е.

$$\frac{\omega^{\cup}}{\omega^0} = \frac{\beta}{2\pi}, \text{ откуда } \beta = 143^{\circ}$$

Следовательно, для понижения ω необходимо понижать ν или увеличивать N_p .

Снижение частоты против принятых 50 Гц требует применения преобразователей тока.

Основной закон управления асинхронным двигателем в частотном режиме был сформулирован еще в тридцатых годах академиком Костенко. Реализовать данный закон удалось гораздо позже, когда появились мощные тиристоры.

Совершенствование и дальнейшее развитие асинхронного электропривода было связано с силовыми транзисторными схемами. Примерно в одно и то же время в России, Германии и Японии были разработаны принципы векторного регулирования скорости асинхронного двигателя, но реализовали эти принципы впервые, на фирме «Siemens», в ставшей хрестоматийной системе «Трансвектор». Отставание практики от теории в области асинхронного электропривода у нас в стране было, в первую очередь, обусловлено отставанием уровня развития силовой электронной элементной базы от мирового уровня. Советские разработчики, зажатые рамками доступной элементной базы, не могли создать простых и надежных систем, в то время как в Европе, Японии и США такие системы успешно разрабатывались и внедрялись. Эти системы получили название преобразователей частоты [5].

Регулирование числа оборотов электропривода может осуществляться за счет использования частотного преобразователя, электронным образом регулирующего частоту вращения вала двигателя.

Преобразователи частоты – это электронные устройства для плавного бесступенчатого регулирования скорости вращения вала асинхронного двигателя. В простейшем случае частотного регулирования управление скоростью вращения вала осуществляется с помощью изменения частоты и амплитуды трехфазного напряжения, подаваемого на двигатель. Большинство современных преобразователей частоты построено по схеме двойного преобразования.

Они состоят из следующих основных частей [6]:

- звена постоянного тока;
- силового трехфазного импульсного инвертора;
- системы управления.

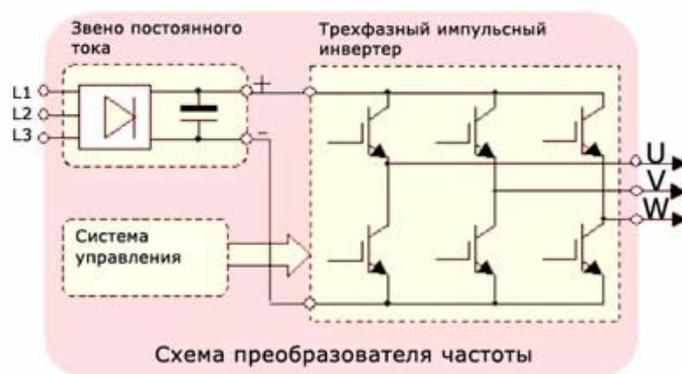


Рис.2. Схема типичного преобразователя частоты

В основу метода преобразования частоты заложен следующий принцип. Как известно, частота промышленной сети 50 Гц, при такой частоте электродвигатель, к примеру, имеющий 2 полюса, вращается со скоростью 3000 (50 Гц x 60 сек) оборотов в минуту. Если при помощи преобразователя частоты понизить частоту подаваемого на него переменного напряжения, то соответственно понизятся скорость вращения двигателя.

Ранее подобное регулирование частоты можно было произвести только со сложными и дорогостоящими электромеханическими устройствами типа «мотор-генератор». На сегодняшний день преобразователь частоты – это малогабаритное устройство (значительно меньше, чем аналогичный по мощности асинхронный двигатель), на современной полупроводниковой базе управляемое встроенным микропроцессорным устройством. Он может не только изменять частоту вращения двигателя, но и отслеживает его исправность. Преобразователь частоты легко сопрягается с любой системой управления технологическим процессом, его программирование просто и интуитивно понятно (конечно, в большой мере в зависимости от производителя), обслуживание не представляет особой сложности.

При проведении моделирования в Па9 составлено несколько математических моделей пресса:

- Топология электровинтового пресса с демпфирующим (предохранительным) устройством (рис. 4).
- Топология электровинтового пресса с частотным управлением приводом без логического управления (рис. 7).
- Топология электровинтового пресса с частотным управлением приводом с системой логического управления (рис. 9).

При создании топологических схем использовалось поэлементное соответствие узлов пресса и моделей программного комплекса Па9, а также рекомендации по работе и диагностике проблем [4].

В качестве модели дугостаторного двигателя привлечена модель асинхронного двигателя серии 4А с частотным управлением. Приведение частоты вращения двигателя серии 4А (750 об/мин.) к частоте вращения дугостаторного привода (300 об/мин.) осуществлено включением в модель пресса модели зубчатого редуктора с передаточным числом 2,5, отсутствующего в конструкции ЭВП. Для исключения влияния этой модели на процессы в прессе моменты инерции элементов модели редуктора приняты равными нулю, а КПД редуктора – равным 1.

Асинхронный двигатель в модели пресса представлен тремя моделями двигателя. Они представляют один двигатель и воспроизводят его работу в периоды разгона вниз, разгона вверх, торможения. Каждая из трех моделей имеет свои элементы задания закона изменения частоты напряжения. При оптимизации используется закон изменения частоты тока во времени в виде полинома 3-го порядка:

$$f = f_0 \cdot f_1 t \cdot f_2 t^2 \cdot f_3 t^3$$

Параметрами оптимизации служат коэффициенты полинома: f_0, f_1, f_2, f_3

Для каждого из периодов: разгон вниз, разгон вверх, торможение при ходе вверх задается свой закон изменения частоты напряжения со своими коэффициентами полинома. Они приняты в качестве управляемых параметров при оптимизации. Критерий оптимизации – затраты энергии.

Поиск оптимального закона изменения частоты питающего напряжения выполнялся путем оптимизации с целью получения наименьших затрат энергии на цикл штамповки. Параметрами оптимизации приняты коэффициенты полинома. Оптимизация выполнялась методом Нелдера-Мида. В результате оптимизации получены значения коэффициентов f_1, f_2, f_3 близкие к нулю. Это означает, что режим постоянства скольжения, определяемый коэффициентом α_0 полинома, является оптимальным. Этот режим одновременно является и просто реализуемым.

Математическая модель, представленная на рис. 4, позволяет провести анализ срабатывания как демпфирующего (предохранительного) устройства (рис. 3) при аварийной ситуации (рис. 5), так и срабатывание тормоза (рис. 6). Для этого следует поочередно отключить в топологии модели «ТОРМОЗ» и «ДЕМПФЕР» и получить соответствующие результаты.

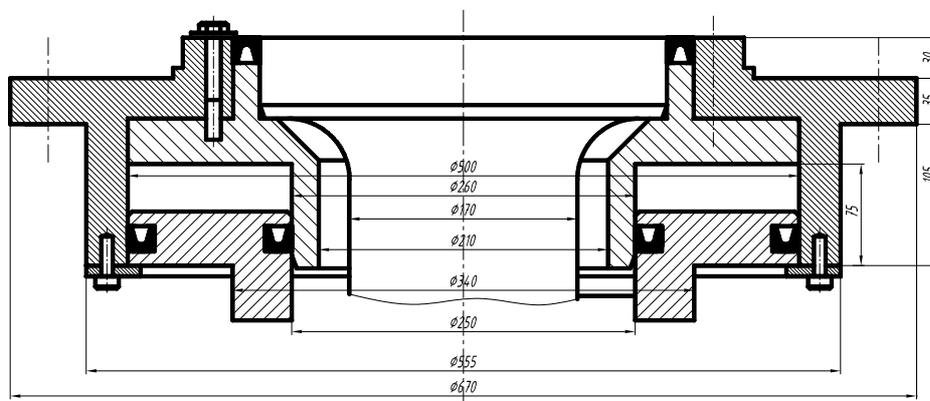


Рис. 3. Конструкция демпфирующего (предохранительного) устройства

В поршневой области пневматического демпфирующего устройства через обратный клапан поддерживается постоянное давление сети 0.5 МПа. При аварийной ситуации (отказ от работы тормозящего оборудования) гайка контактирует с поршнем. Происходит гашение кинетической энергии подвижных частей за счёт сжатия воздуха в пространстве кольцевого цилиндра. Манжетные уплотнения препятствуют проникновению воздуха через конструкционные зазоры.

Моделирование показало максимальное пневматическое давление воздуха при срабатывании демпфера – 3 МПа.

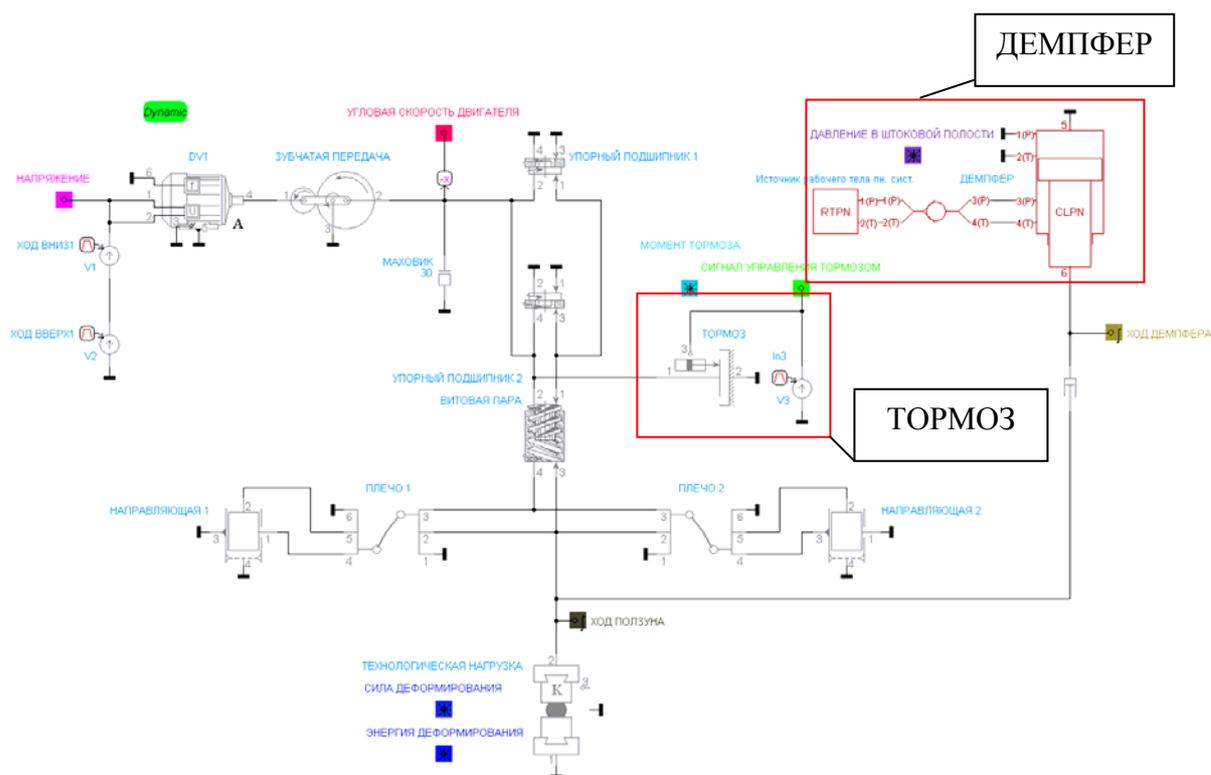


Рис. 4. Топология электровинтового пресса с демпфирующим (предохранительным) устройством

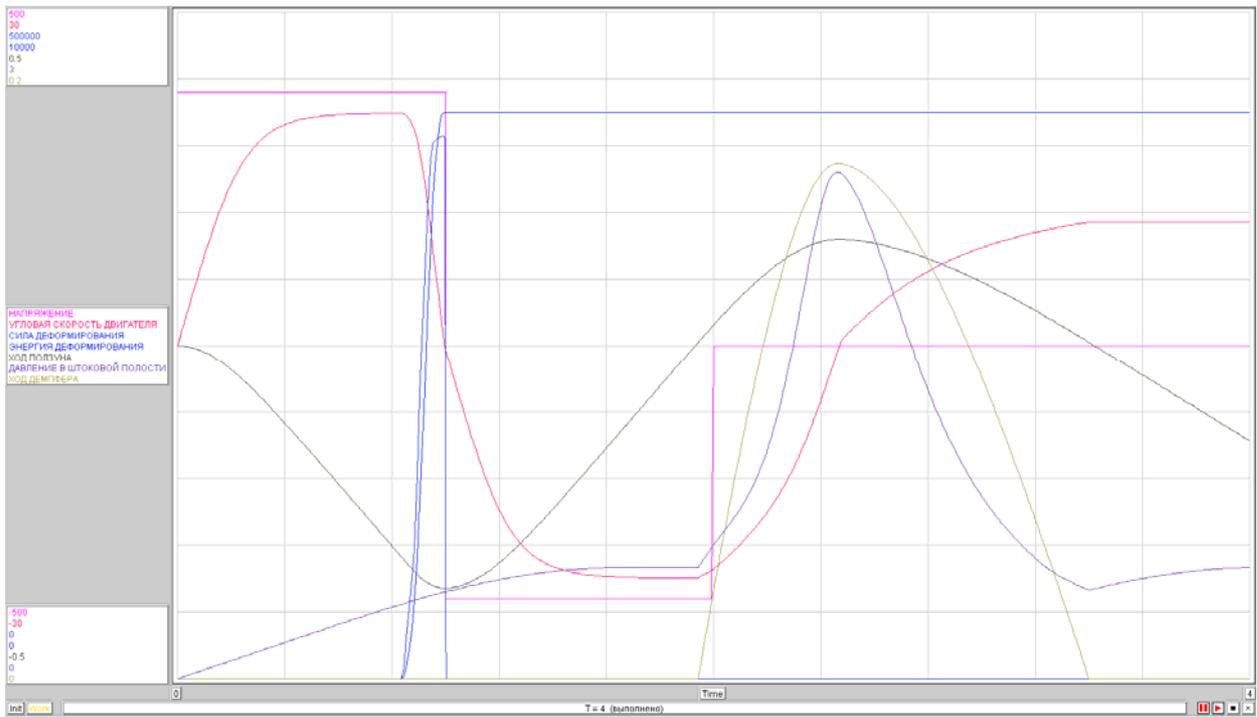


Рис. 5. Результаты моделирования одного цикла работы пресса. Работа предохранительного устройства. Результат работы математической модели представленной на рис. 4

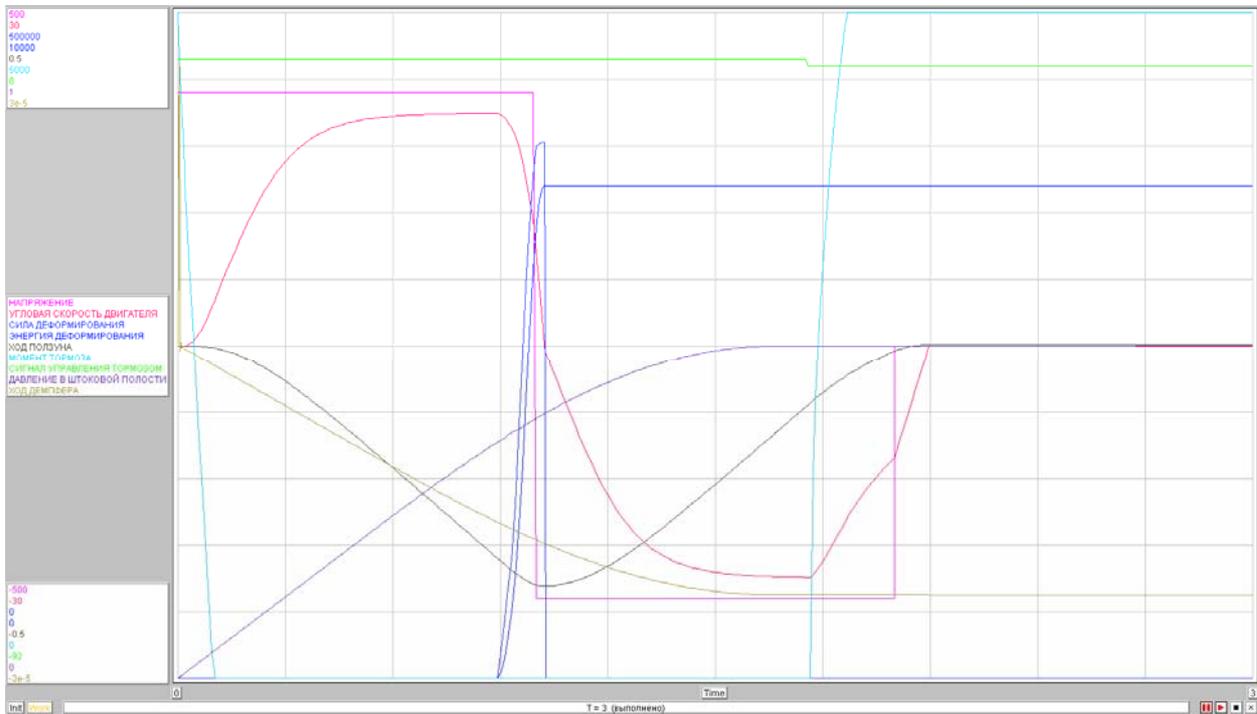


Рис. 6. Результаты моделирования одного цикла работы пресса. Срабатывание тормоза. Полная остановка подвижных частей пресса. Результат работы математической модели представленной на рис. 4

Топологическая модель представленная на рис. 7 позволяет получить результат работы пресса с частотным управлением приводом. При этом частоты подаваемого напряжения на каждый электродвигатель определялись методом многократного поискового моделирования.

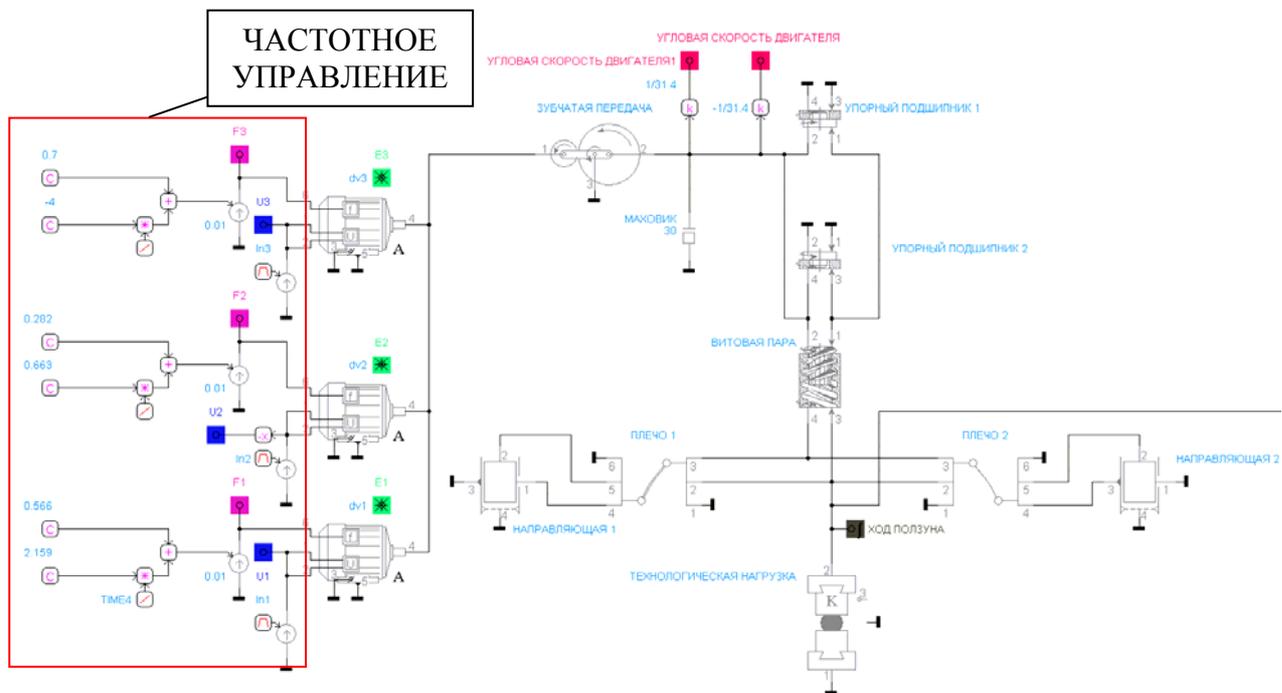


Рис. 7. Топология электровинтового пресса с частотным управлением приводом без логического управления

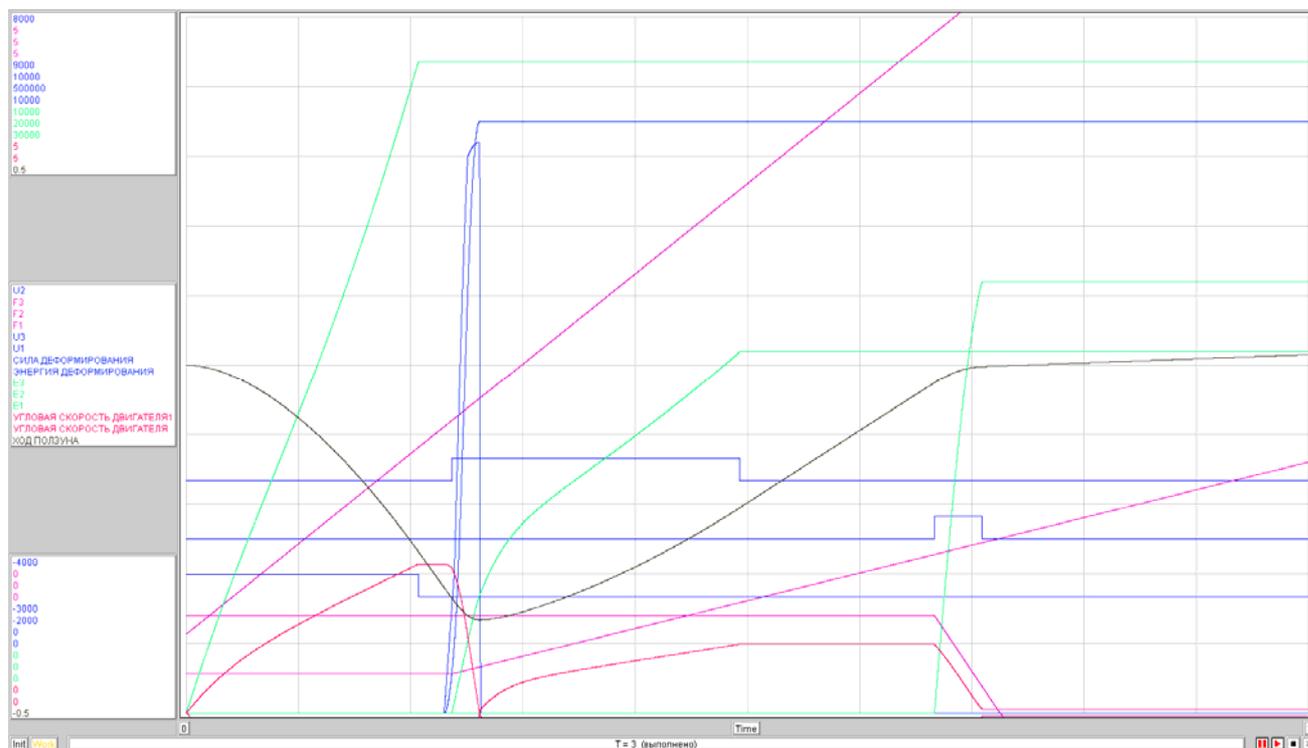


Рис. 8. Результаты моделирования одного цикла работы пресса. Частотное управление приводом без системы логического управления

Для автоматического нахождения оптимальных параметров необходима разработка топологической схемы с логическим управлением работой пресса (рис. 9).

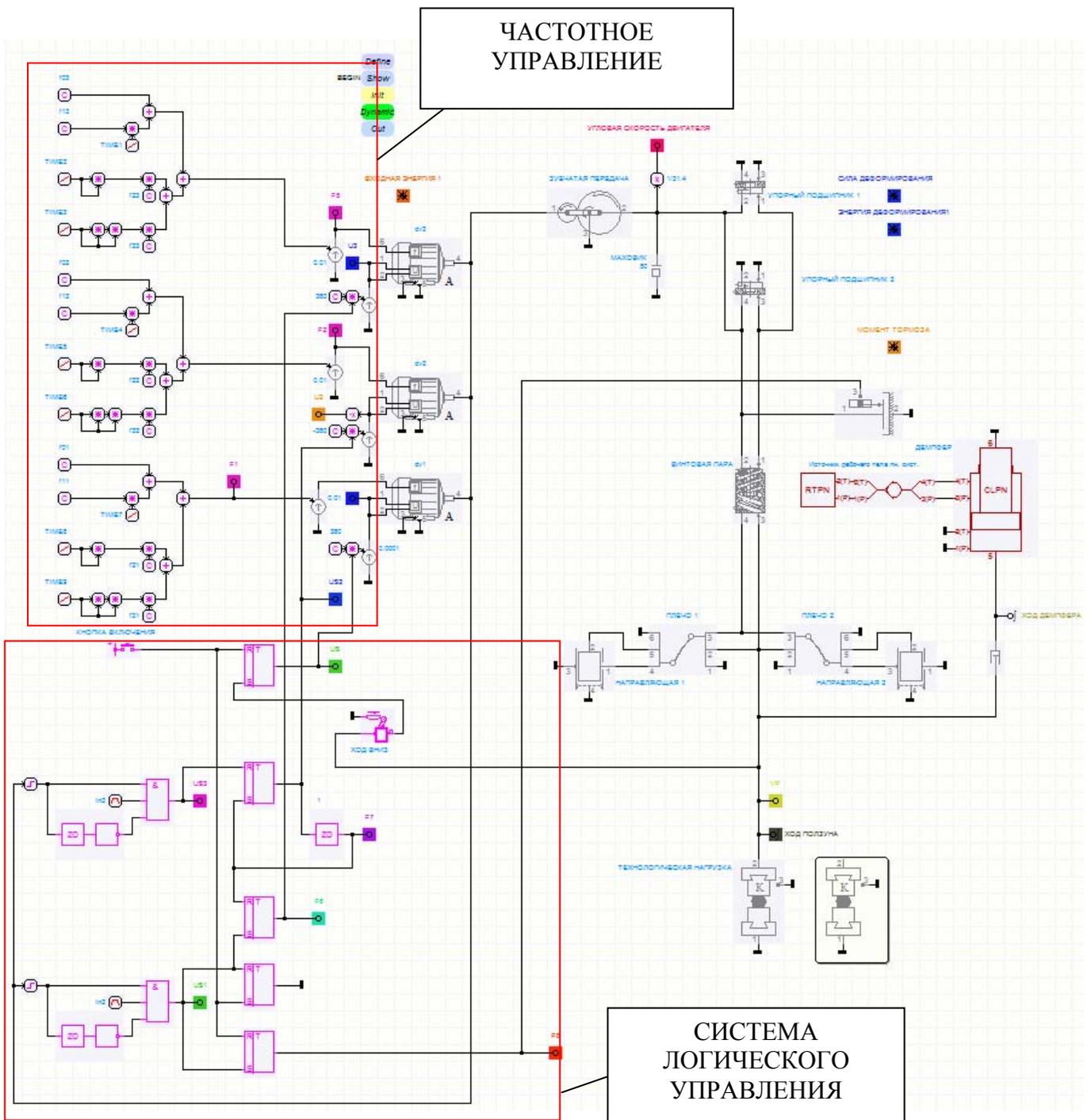


Рис. 9. Топология электровинтового пресса с частотным управлением приводом с системой логического управления

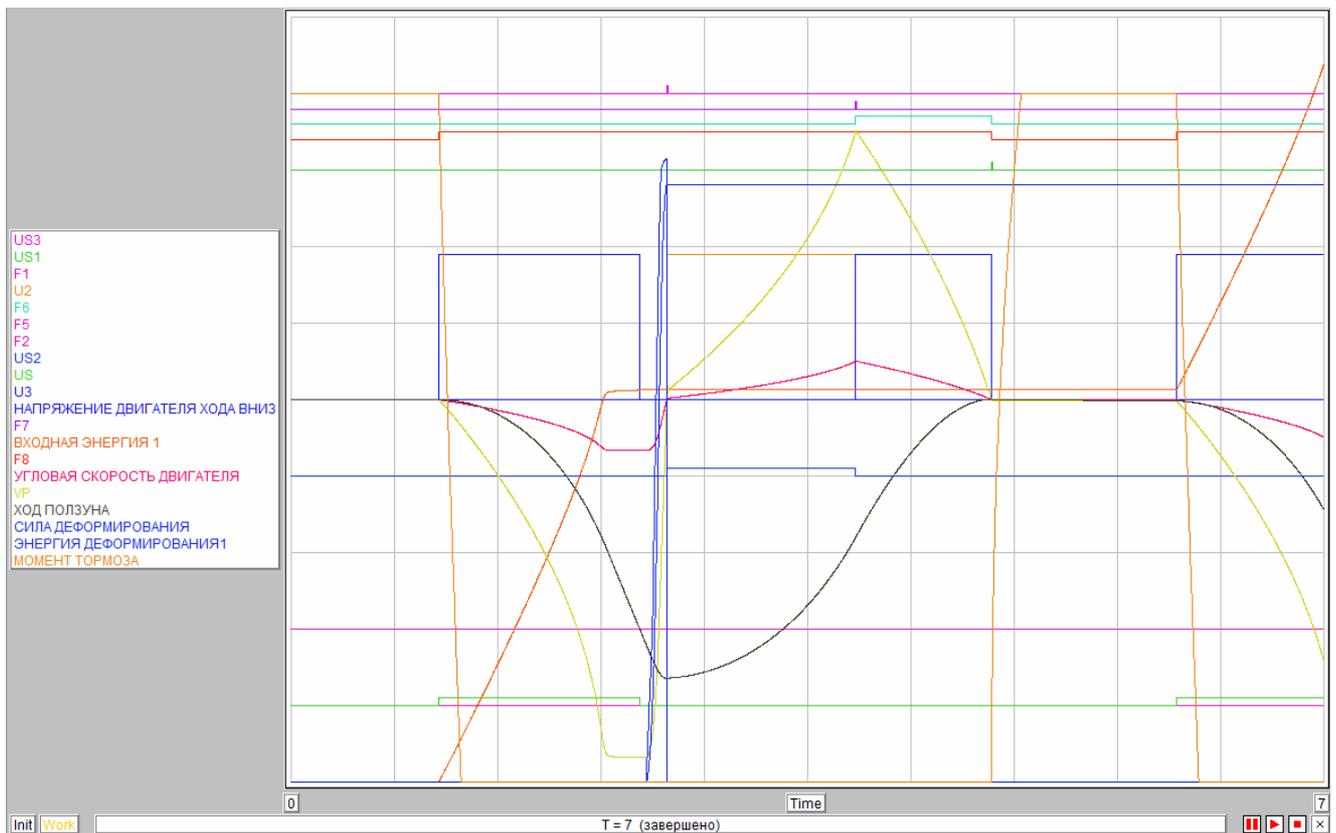


Рис. 10. Результат расчёта математической модели электровинтового пресса с частотным управлением приводом с системой логического управления

Логическое управление работой пресса позволяет провести автоматическую оптимизацию модели с целью максимально возможного уменьшения затрат энергии в ходе деформирования. Генерирующиеся сигналы управления служат командой преобразователя частоты, т.е. являются управляющими сигналами работы двигателя.

Анализ полученных результатов показал следующие данные: частотное управление уменьшило затраченную энергию деформирования на 28 кДж.

Расчёт энергозатрат:

Без частотного управления – 57865 Дж

С частотным управлением – 29486 Дж

Снизилась нагрузка на электродвигатель, уменьшился износ оборудования.

Выводы:

1. Проведено математическое моделирование и последующая оптимизация работы электровинтового пресса с системой логического управления.
2. Получены величины, которые позволяют организовать частотное управление прессом и добиться снижения нагрузок на электродвигатель и потребления электрической энергии из сети.

Литература:

1. Живов Л.И., Овчинников А.Г., Складчиков Е.Н. Кузнечно-штампочное оборудование. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006.
2. Ю. А. Бочаров Винтовые прессы. – М. Машиностроение, 1976.
3. Сандлер А.С., Сарбатов Р.С. Автоматическое частотное управление асинхронными двигателями. М., Энергия, 1974.
4. Складчиков Е.Н. Моделирование кузнечно-штампочного оборудования средствами программного комплекса анализа динамических систем ПА9. М., Каф. МТ6 МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2005.
5. Статьи сайта www.privod.ru.
6. Статьи сайта www.tehprivod.ru.