

**На правах рукописи**

УДК 621.979.15

**Аюпов Тафкил Хаматдинович**

**РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ  
И МЕТОДИКИ РАСЧЕТА КУЛАЧКОВО-РЫЧАЖНОЙ СИСТЕМЫ  
УПРАВЛЕНИЯ МУФТОЙ ВИНТОВОГО ПРЕССА**

**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 – 2007**

Работа выполнена в Московском Государственном Техническом Университете им. Н.Э. Баумана на кафедре «Технологии обработки давлением»

Научный руководитель- Лауреат Государственной премии РФ,  
доктор технических наук, профессор  
Сафонов Анатолий Васильевич

Научный консультант- Лауреат Государственной премии РФ,  
доктор технических наук, профессор  
Дмитриев Александр Михайлович.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор  
Субич Вадим Николаевич, (МГИУ).  
кандидат технических наук, доцент  
Ларионов Николай Михайлович, (МИЭМ).

Ведущее предприятие: ОАО «ТЯЖПРЕССМАШ», г. Рязань.

Защита состоится “14” 11 2007 г. в 11 часов на заседании диссертационного совета Д 212.141.04 при МГТУ им. Н.Э. Баумана по адресу: 107005, г. Москва, 2-я Бауманская улица, дом 5.

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

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МГТУ им. Н.Э. Баумана.  
Телефон для справок 267-09-63.

Автореферат разослан “27” 09 2007 г.

Ученый секретарь диссертационного совета  
кандидат технических наук, доцент

Семенов В.И.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. В настоящее время в промышленности используются винтовые прессы для объемной штамповки, являющейся одним из прогрессивных видов обработки металлов. Применение винтовых прессов особенно эффективно при изготовлении поковок повышенной точности с тонким полотном и оребрением. Винтовые прессы в авиационной и ракетно-космической промышленности в основном используются для получения высокоточных поковок из труднодеформируемых, жаропрочных сталей на хромо-никелевой основе, Ti –ых и Al-ых сплавов и обеспечивают общее снижение трудоемкости, как в штамповочных, так и в механических цехах, улучшают условия и увеличивают производительность труда, повышают коэффициент использования металла.

Широкое внедрение винтовых прессов в промышленности сдерживается отсутствием высокоэффективного привода, удовлетворяющего современным требованиям прессостроения.

В последние годы в промышленности внедряются винтовые прессы с муфтовым приводом, основной отличительной особенностью которых является наличие маховика для аккумуляции кинетической энергии и использование фрикционной муфты включения для управления прессом.

Винтовые прессы с муфтовым приводом имеют существенно меньшую установочную мощность привода и большую величину эффективной энергии, необходимей для выполнения полезной работы деформирования, что обеспечивает широкие технологические возможности пресса. Прессы имеют более высокий к.п.д., надежны в работе, просты в наладке и эксплуатации.

Сказанное выше объясняет проявляемый в нашей стране и за рубежом к новым конструкциям винтовых муфтовых прессов (ВМП), обладающих существенными преимуществами по сравнению с винтовыми прессами с традиционными приводами. Однако конструктивные особенности известных ВМП создают ряд проблем при их эксплуатации, связанных с работой системы управления муфтой на вторичном энергоносителе – сжатых воздухе или жидкости; - отсутствием достаточно эффективных систем отключения муфты во время хода деформирования ВМП; - недостаточно надежен и эффективен привод возвратного хода подвижных частей пресса с вращательным моментом воздействия на подвижные части пресса.

В научно-технической литературе отсутствуют систематизированный анализ, научно обоснованные рекомендации и методики проектирования ВМП с различными системами управления отключением муфт и рекомендации по разработке и эксплуатации привода возвратного хода с вращательным моментом воздействия на подвижные части пресса. Кроме того, недостаточно изучены динамические процессы работы ВМП при отключении муфты при ходе деформирования. Поэтому актуальным является проведение изучения и анализа работы находящихся в промышленной эксплуатации ВМП, а также разработка и

создание простых и надежных новых конструкций ВМП и научно обоснованной методики их проектирования.

Цель работы состоит в разработке новой конструкции ВМП с электромеханической системой управления отключением муфты по ходу деформирования и механизма возвратного хода с вращательным моментом воздействия на подвижные части пресса; раскрытии динамики взаимодействия технологической нагрузки и узлов ВМП на всех этапах машинного цикла; определении, исследовании и получении значений основных кинематических, динамических и энергосиловых параметров пресса; исследовании факторов, влияющих на выходные параметры ВМП разработанной конструкции; разработке научно обоснованной методики проектирования ВМП с электромеханической системой управления отключением муфты.

Методы исследования. В работе использованы теоретические и экспериментальные методы исследования. Теоретические исследования проведены с использованием разработанного на кафедре МТб в МГТУ им. Н.Э. Баумана программного комплекса анализа динамических систем ПА9, адаптированного к моделированию КПП. Экспериментальные исследования осуществлены при испытании винтового пресса с муфтовым приводом с электромеханической системой управления модели Ф1738М, силой 6,3 МН.

Научное содержание и новизна работы состоит в следующем. В результате работы создана математическая модель ВМП с электромеханической системой управления отключением муфты по ходу деформирования; установлено взаимовлияние величин параметров винтового пресса с муфтовым приводом с параметрами электромеханической кулачково-рычажной системы управления муфтой; установлено взаимовлияние параметров механизма возвратного хода с вращательным моментом воздействия на подвижные части пресса с параметрами пресса; установлены зависимости между значениями основных кинематических параметров пресса и величиной времени отключения муфты ВМП; на основе проведенных исследований разработана научно обоснованная методика проектирования ВМП с электромеханической кулачково-рычажной системой управления муфтой.

#### Практическая ценность и использование результатов работы.

По итогам работы создан экологически чистый винтовой пресс с муфтовым приводом с электромеханической системой управления с отключением муфты по ходу деформирования, системой возвратного хода с вращательным моментом воздействия на подвижные части на основе пресса модели Ф1738М силой 6,3 МН.

Созданный винтовой пресс с муфтовым приводом и электромеханической системой управления ВМП модели Ф1738М силой 6,3 МН принят 17.04.2001 году в промышленную эксплуатацию на ОАО "МПО им. Румянцева" и эксплуатируется по настоящее время. Условно-годовая экономическая эффективность внедрения в производство, составляет ~ 878 975 (восемьсот семьдесят восемь тысяч девятьсот семьдесят пять рублей, цены 2001 года) за счет экономии энергетических ресурсов прессом и с учетом уменьшения общей трудоемкости штамповки.

Срок окупаемости материальных средств и затрат на восстановление прессы составляет не более 1,5 лет;

Апробация работы. По основным разделам работы сделаны доклады на научно-технических конференциях: четвертой Российской научно-технической конференции – Воронеж, Государственный технический университет, 2003; седьмой международной научно-технической конференции «Авиакосмические технологии», «АКТ-2006» – Воронеж, Государственный технический университет, 2006; на научном семинаре кафедры МТ- 6 МГТУ им. Н. Э. Баумана (г. Москва. 2006 г.).

Публикации. Основное содержание диссертации опубликовано в 9 печатных работах.

Структура и объем работы: диссертация состоит из введения, пяти глав и выводов, включающих 143 страницу машинописного текста, в том числе 42 рисунка, 3 таблицы, библиографический список из 104 наименований источников отечественных и зарубежных авторов и 3 приложений. Общий объем работы 159 страниц.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность темы, изложены сущность и результаты выполненной работы.

В первой главе приводятся обзор и основные направления развития винтовых прессов и систем их управления, анализ конструкций и тенденции развития винтовых прессов с муфтовым приводом, а также состояние методов расчета и проектирования винтовых прессов с муфтовым приводом и систем их управления.

Анализ различных конструкций приводов винтовых прессов показывает, что у многих из них существует жесткая связь маховика с исполнительным механизмом – винтом. Разгон высокоинерционных масс и подвижных частей прессы, инструмента, осуществляется дважды за цикл, на ходе ползуна вниз и вверх, при этом для достижения наибольшей скорости инструмента (следовательно, достаточной эффективной энергии деформирования) величина хода разгона должна составлять не менее 80% общей величины хода ползуна.

Основной отличительной особенностью винтовых прессов с муфтовым приводом является наличие постоянно вращающегося маховика для аккумуляции кинетической энергии и использование для управления прессом фрикционной муфты включения, для соединения с исполнительным механизмом - винтом. Наличие постоянно вращающегося маховика для аккумуляции кинетической энергии дает возможность значительно уменьшить инерционные массы, разгоняемые дважды за цикл подвижных частей прессы (ведомый фрикционный диск, втулка, винт и ползун).

Винтовые прессы с муфтовым приводом имеют существенно меньшую установочную мощность привода и большую величину эффективной энергии, необходимой для выполнения полезной работы деформирования, что обеспечивает широкие технологические возможности прессы. Прессы имеют

более высокий к.п.д., надежны в работе, просты в наладке и эксплуатации, обеспечивают высокую точность изготавливаемых поковок заданных размеров.

У винтовых прессов с муфтовым приводом инерционность масс, разгоняемых дважды в течение каждого хода ползуна (винт и ведомый диск муфты) во много раз меньше, чем у прессов с жесткой связью маховика (винт и маховик-ротор). Поэтому при включении муфты эти массы разгоняются быстро, и скорость ползуна достигает установившейся (наибольшей) величины на участке хода ползуна, не превышающем 10—15% полной величины его хода, и остается практически неизменной до конца хода ползуна вниз. Кроме того, при возвратном ходе у прессов с муфтовым приводом ползун возвращается в исходное положение силой, разгоняющей и тормозящей малые инерционные массы. Таким образом, на прессах с муфтовым приводом обеспечиваются возможность сокращения времени машинного цикла, а также возможность уменьшения хода ползуна до величины, определяемой не условиями его разгона, а только технологическим процессом штамповки поковок.

В настоящее время винтовые прессы с муфтовым приводом получили широкое распространение, и более 30 крупнейших зарубежных фирм занимаются выпуском винтовых прессов номинальной силой от 0,25 МН до 315 МН. Среди них ведущее место занимают такие фирмы ФРГ, как G. Siempelkamp, Eumuco, Hasenclever, Muller - Weingarten, Lasco, и другие.

На основании эксплуатации и анализа существующих конструкции ВМП определены недостатки и возможности известных систем управления отключением муфты.

Установлена целесообразность применения системы управления, т.е. системы отключения муфты винтового пресса с электрическим энергоносителем по ходу деформирования, при выполнении технологических операций объемной штамповки с возрастанием силы по ходу деформирования до максимального значения  $P_m$ , что и осуществлено в данной работе.

В разработку, исследования и промышленное освоение винтовых прессов и их приводов существенный вклад внесли отечественные ученые: проф-ра А.И.Зимин, М.В.Сторожев, Ю.А.Бочаров, Л.И.Живов, А.В.Сафонов, Ю.А.Зимин, а также Ф.А.Серавин, А.Г.Голован, В.М.Морогов, Ю.Д.Морозов, С.С.Гужин, Н.М.Ларионов, И.Ф.Яковенко, М.Т.Брежнев, Ю.М.Артемов, В.П.Перевертов, М.Ф.Новиков, В.Д.Обдул, Ю.А.Мороз, А.В.Власов, Н.Е.Проскураков, Л.И.Рыженков, Н.Н.Антипов, В.А.Поникаров, Л.М.Цой, Ю.А.Фофлин, И.А.Церна, А.М.Павлов, С.С.Тавакалян, А.П.Носов, М.К.Шолохов, М.С.Блинник, И.В.Бовыкин, В.Е.Стоколов, Д.М.Каминский, В.П.Салов, И.Н. Филькин, Кононов В.И., Горячев С.А., Твердохлеб В.А., Маркушин И.Е., Поцелуйко В.А. и многие другие ученые. Первостепенное значение для страны имеют постоянно проводимые учеными кафедры МТ6 МГТУ им. Н.Э. Баумана исследования и разработки по совершенствованию винтовых прессов и их приводов.

По результатам анализа и для достижения указанной цели в работе поставлены следующие задачи:

-на основе анализа достижений отечественного и зарубежного прессостроения определить с технико-экономических позиций направления развития конструкций винтовых прессов с муфтовым приводом;

-разработать конструкцию винтового пресса с муфтовым приводом с экологически чистой системой управления, работающую без вторичного энергоносителя – сжатых воздуха и жидкости;

-разработать механизм возвратного хода с вращательным моментом воздействия на подвижные части пресса;

-провести теоретический анализ работы пресса на основных этапах машинного цикла с использованием разработанного на кафедре МТ6 в МГТУ им. Н.Э. Баумана программного комплекса ПА9 анализа динамических систем.

-разработать размерный ряд и методику проектирования винтовых прессов с муфтовым приводом;

- уточнить классификацию приводов винтовых прессов с муфтовым приводом;

- проверить адекватность разработанной математической модели путем сравнения результатов теоретического и экспериментального исследований.

-осуществить промышленное освоение винтового пресса с муфтовым приводом, исследовать его работу в производственных условиях при серийном изготовлении поковок.

Во второй главе на основе анализа литературных источников и в соответствии с поставленной целью приводится описание разработок новых конструкции перечисленных ниже:

- кинематической схемы новой конструкции винтового пресса с муфтовым приводом;

- электромеханической кулачково-рычажной системы управления муфтой винтового пресса;

- кулачкового механизма;

- привода возвратного хода с вращательным моментом воздействия на подвижные части пресса;

- промышленного образца винтового пресса с электромеханической системой управления.

Разработана кинематическая схема (Рис.1) нового винтового пресса с муфтовым приводом с электромеханической кулачково-рычажной системой управления муфтой с механизмом возвратного хода с вращательным моментом воздействия на подвижные части пресса, на которой:

1- главный электродвигатель; 2- шкив главного электродвигателя; 3-клино-ременная передача; 4- нажимной диск муфты; 5- двуплечие рычаги толкателя; 6- электродвигатель управления; 7- шкив электродвигателя управления; 8- клино-

ременная передача; 9,10- толкатели; 11- двуплечие рычаги; 12- ролики; 13- шкив; 14- кулачек; 15- упоры; 16- крышка муфты; 17- маховик; 18- пневмоцилиндры; 19- ролики; 20- спираль; 21- винт; 22- гайка; 23- ползун, 24- возвратные пружины муфты, ползун при возвратном ходе затормаживается тормозом 27. Муфтовый привод смонтирован на верхней поперечине винтового пресса-25.

В предлагаемой конструкции винтового пресса при расчете параметров движения рабочих частей пресса на этапах машинного цикла в зависимости от состояния при включении муфты принимаются двухмассовые расчетные модели, как ведущих, так и ведомых масс узлов пресса.

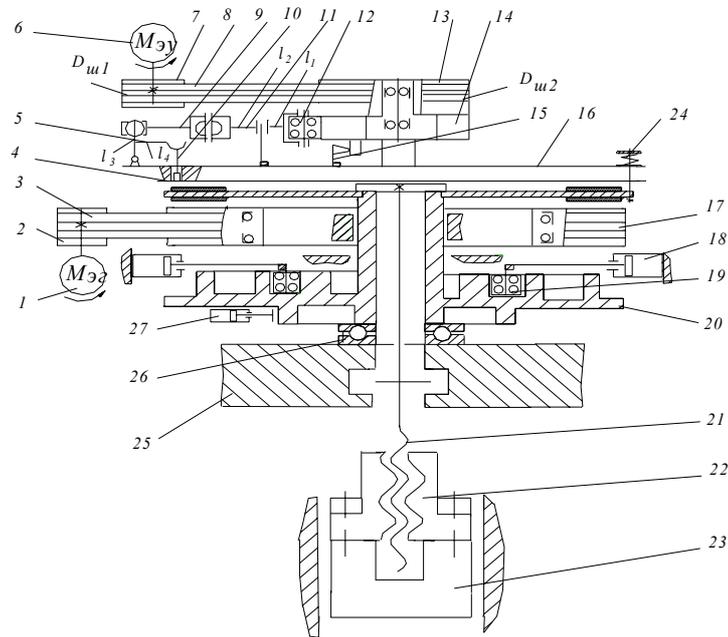


Рис. 1.

Кинематическая схема винтового пресса с муфтовым приводом с кулачково-рычажной системой управления

Процесс включения муфты разделен на два условных этапа: первый – свободное перемещение нажимного диска муфты от исходного положения, при котором муфта отключена, до соприкосновения с ведомым диском; второй – собственно включение муфты, когда происходят разгон ведомых частей муфты и деформирование поковки. Обратный ход ползуна в исходное (верхнее) положение происходит под действием сжатого воздуха в поршневой полости цилиндров 18. Воздействуя на профиль спирали 20 через шток и ролики 19, они создают вращающий момент, что в свою очередь вращает винт в противоположном направлении, происходит подъем ползуна.

Дано описание кинематической, пневматической систем управления работой винтового пресса с муфтовым приводом с электромеханической системой включения и отключения муфты.

В третьей главе изложены разработки математической модели и исследование работы прессы модели Ф1738М с электромеханической системой управления, исследование кулачково-рычажного механизма управления и исследование механизма возвратного хода при воздействии вращательным моментом на подвижные части прессы.

При исследовании прессы применялся программный комплекс анализа динамических систем ПА9. Адаптивное управление штамповой высотой рассматривается с помощью математических моделей элементов расчетной схемы прессы.

На построенных в результате исследований диаграммах (Рис.2) графики параметров имеют следующие обозначения и пределы построения графиков (указаны в скобках): 1 - перемещение ползуна, м; 2 – сила деформирования, Н;

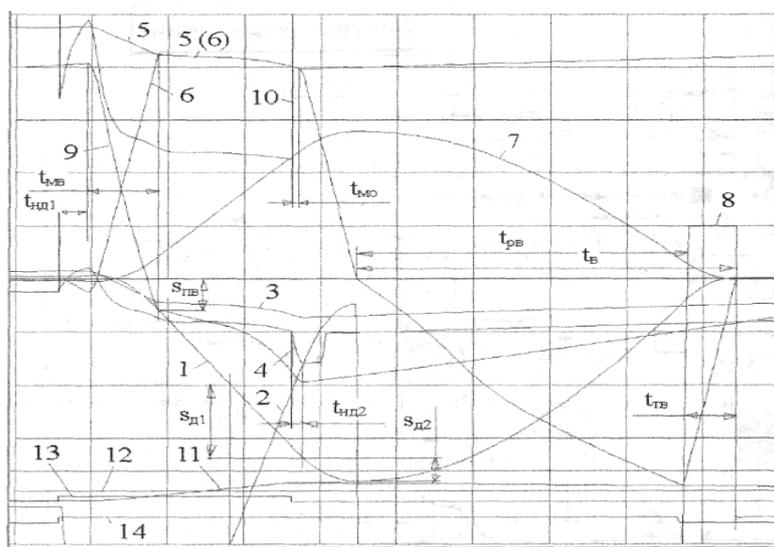


Рис.2. Машинный цикл винтового прессы с муфтовым приводом

3 - угловая скорость главного электродвигателя, 1/с; 4 - угловая скорость электродвигателя управления, 1/с; 5 - угловая скорость маховика, 1/с; 6 - угловая скорость винта, 1/с; 7 - угол поворота винта, 1/с; 8 - момент трения тормоза, НМ; 9 - электромагнитный момент главного электродвигателя, НМ; 10 - электромагнитный момент электродвигателя управления, НМ; 11 - эквивалентный ток электродвигателя управления, А; 12 - номинальный фазный ток электродвигателя управления, А; 13 - сигнал включения электродвигателя управления; 14 - сигнал включения тормоза.

При исследовании электромеханической кулачково-рычажной системы включения и отключения муфты процесс включения муфты разделен на два условных этапа: первый – свободное перемещение нажимного диска муфты от исходного положения, при котором муфта отключена, до соприкосновения с

ведомым диском; второй – собственно включение муфты, когда происходят разгон ведомых частей муфты и процесс деформирования поковки.

При включении электродвигателя управления 6 на шкиву 7 возникает крутящий момент  $M_{\text{эу}}$ , который через ременную передачу 8 и шкив 13 передается на кулачок 14 (рис. 1) Сила от кулачка 14 передается на ролик 12 трех двуплечих рычагов 11 и через толкатели 9, двуплечие рычаги 5 и толкатели 10 - на нажимной диск 4. При этом происходит свободное перемещение нажимного диска до момента выборки зазоров между нажимным диском, ведущим и ведомым дисками муфты.

Уравнение движения нажимного диска 4 на первом этапе:

$$m^* \frac{dv}{dt} = \frac{M_{\text{эу}}}{r_{\text{э1}}} \cdot i_{\text{ны}} \cdot i_{\text{p1}} \cdot i_{\text{p2}} - F_{\text{np}} - F_{\text{mp}}^* \quad (1),$$

где  $\frac{M_{\text{эу}}}{r_{\text{э1}}} \cdot i_{\text{ны}} \cdot i_{\text{p1}} \cdot i_{\text{p2}} = F_{\text{толк}}$  (2), подставляя (2) в (1) получим

$$m^* \frac{dv}{dt} = F_{\text{толк}} - F_{\text{np}} - F_{\text{mp}}^* \quad (3),$$

где:  $m^*$  - приведенная масса нажимного диска 4 и системы управления;  $F_{\text{толк}}$  - сила толкателя нажимного диска;  $M_{\text{эу}}$  - момент электродвигателя управления 6;  $r_{\text{э1}}$  - радиус эволюты кулачка 14, при

перемещении ролика по эволюте  $\text{э}_1$ ;  $i_{\text{ны}} = \frac{D_{\text{ш2}}}{D_{\text{ш1}}}$  - передаточное отношение ременной передачи 8;  $D_{\text{ш1}}$  - диаметр шкива 7;  $D_{\text{ш2}}$  - диаметр шкива 13;

$i_{\text{p1}} = \frac{l_1}{l_2}$  - передаточное отношение двуплечих рычагов 11;  $l_1, l_2$  - плечи

рычага 11;  $i_{\text{p2}} = \frac{l_3}{l_4}$  - передаточное отношение двуплечих рычагов 5;  $l_3, l_4$  -

плечи рычага 5;  $F_{\text{np}} = F_{\text{np1}} \cdot z_{\text{np}}$  - сила от пружин 24;  $F_{\text{np1}}$  - сила одной пружины 24;  $z_{\text{np}}$  - количество пружин;  $F_{\text{mp}}^*$  - приведенная сила трения в кинематических парах к нажимному диску.

Второй этап включения муфты - силовое нагружение фрикционной муфты и упругая деформация системы управления от действия момента электродвигателя управления и сил инерции подвижных частей системы управления. Уравнение движения нажимного диска 4 на втором этапе:

$$m^* \frac{dv}{dt} = \frac{M_{\text{эу}}}{r_{\text{э2}}} \cdot i_{\text{ны}} \cdot i_{\text{p1}} \cdot i_{\text{p2}} - F_{\text{np}} - F_{\text{mp}}^* \quad (4),$$

$$\text{где } \frac{M_{\text{эу}}}{r_{\text{э2}}} \cdot i_{\text{ны}} \cdot i_{\text{p1}} \cdot i_{\text{p2}} = F_{\text{толк}} \quad (5),$$

подставляя (5) в (4) получим  $m^* \frac{dv}{dt} = F_{\text{толк}} - F_{\text{пр}} - F_{\text{пр}}^*$  (6), где:  $m^*$  - приведенная масса нажимного диска 4 и системы управления;  $M_{\text{эу}}$  - момент электродвигателя управления 6;  $r_{\text{э2}}$  - радиус эволюты кулачка 14, при перемещении ролика по эволюте  $\text{Э}_2$ ; , остальные составляющие формулы (6), приведены ранее.

Движения ведомых частей системы включения муфты от сил инерции подвижных частей системы управления выражается уравнением:

$$I \frac{d\omega_y}{dt} = M_{\text{эду}} - M_{\text{тр}} - M_{\text{пр}} \quad (7)$$

где  $I$  - приведенный момент инерции подвижных частей системы управления винтовым прессом,  $M_{\text{эду}}$  - активный крутящий момент электродвигателя управления,  $M_{\text{тр}}$  - сумма моментов от трения,  $M_{\text{пр}}$  - момент от действия пружин,  $\omega_y$  - угловая скорость вращения ротора электродвигателя управления,

Крутящий момент на валу электродвигателя управления,

$$M_{\text{эду}} = \frac{2 \cdot M_{\text{кy}}}{\frac{n_c - n}{n_c \cdot s_k} + \frac{n_c \cdot s_k}{n_c - n}} \quad (8)$$

где  $M_{\text{кy}}$  - критический момент на валу электродвигателя управления (Рис.1),  $s_k$  - критическое скольжение,  $n_c$  и  $n$  - синхронная и текущая частота вращения вала электродвигателя управления.

Сила нажимного диска муфты определяется следующим выражением

$$F_{\text{д}} = \frac{2 \cdot \pi \cdot i}{h \cdot k_3} \cdot \frac{2 \cdot M_{\text{кy}}}{\frac{n_c - n}{n_c \cdot s_k} + \frac{n_c \cdot s_k}{n_c - n}} \quad (9)$$

где  $i$  - передаточное отношение между валом электродвигателя управления и ведущим валом ВМП.

Коэффициент запаса  $k_3$  учитывает уменьшение момента на валу электродвигателя управления и соответственно силы нажимного диска при возможном падении напряжения в цеховой электросети. Аналогичным образом при применении пневматических систем включения при паспортном рабочем давлении сжатого воздуха в сети ~0,45.. 0,5 МПа допускается снижение рабочего давления до 3,5 МПа. Коэффициент запаса  $k_3$  в расчетах принимаем равным 0,75.

Для определения частоты вращения вала электродвигателя управления решаем

решаем уравнение (9) с учетом соотношения сил на ВМП при включенной скорости, определяемой скоростью маховика при включенной муфте.

Результаты расчетов показывают, (рис.3) что уменьшение  $i$  приводит к уменьшению  $\omega_{ay}$  и времени включения муфты. Однако, уменьшение  $\omega_{ay}$  приводит к увеличению тока в статоре и роторе электродвигателя управления и его нагреву выше допустимых значений.

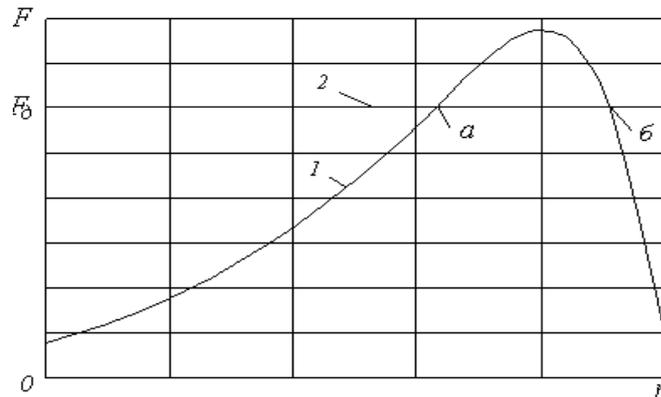


Рис.3

Номинальная мощность электродвигателя управления по результатам расчета составляет 9% от мощности главного электродвигателя.

Работа винтового пресса с муфтовым приводом независимо от системы управления имеет восемь характерных периодов машинного цикла (Рис.4).

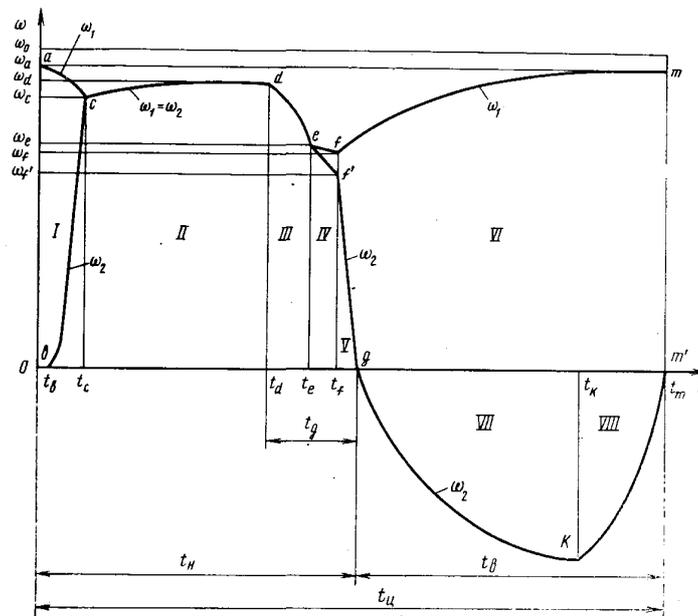


Рис.4. Цикловая диаграмма работы винтового пресса с муфтовым приводом

Маховик вращается со скоростью  $\omega_a$  холостого движения. На I периоде при включении муфты осуществляется разгон винта и ползуна.

Во время периода II происходит ход приближения. Скорость перемещения ползуна практически сохраняется постоянной.

Ход деформирования заготовки состоит из III, IV и V периодов. VI-разгон ведущих частей пресса; VII-ход разгона вверх ведомых частей; VIII-ход торможения.

Разработана динамическая модель пресса (Рис.5) и системы управления, расчетная модель пресса приведена к двухмассовой модели.

Каждый из периодов в диссертации описан системами уравнений.

В I периоде при включении муфты, происходит проскальзывание между ведущими и ведомыми дисками муфты.

Во II периоде, происходит совместное движение ведущих и ведомых частей, ход приближения подвижных частей пресса.

III период это совместное движение ведущих и ведомых частей, начало деформирования поковки.

IV - это период совместного деформирования поковки, с началом проскальзывания нажимного и ведомого дисков.

V и VI для ведущих частей, это периоды деформирования поковки ведомыми частями пресса, отключения муфты и разгона ведущих частей пресса.

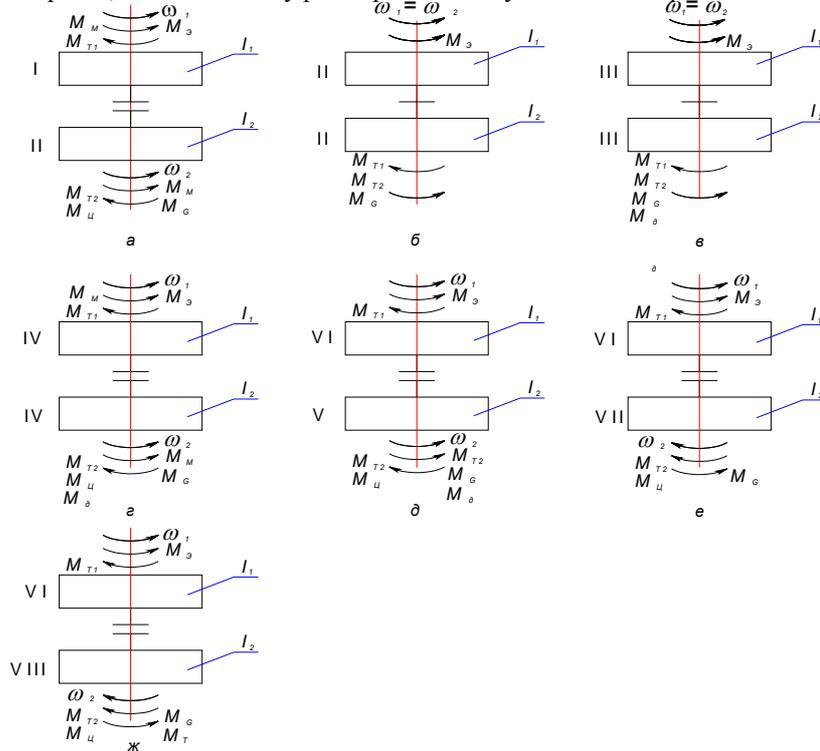


Рис.5. Направления скоростей и моментов сил в периоды машинного цикла

В VI и VII периоды, муфта отключена и происходят разгон ведущих частей пресса, движение ползуна в исходное положение.

В VI и VIII период муфта отключена, происходит восстановление частоты оборотов главного электродвигателя привода и период торможения подвижных частей пресса.

При штамповке до упоров V период заканчивается упругим нагружением пресса и штампа.

При завершении V периода ведомые части останавливаются и осуществляется реверс винта. В периоды VII и VIII происходит перемещение ползуна вверх в исходное положение.

В приводе предусмотрена (Рис.1) пневмомеханическая (18) система возвратного хода ползуна. Пневмомеханический привод возвратного хода содержит эвольвентную спираль 20, образующая поверхность которой контактирует с роликами 19. Ролики установлены на штоках пневмоцилиндров 18, расположенных на корпусе с некоторым смещением относительно горизонтальной оси, чем создается постоянно действующий момент для подъема подвижных частей пресса.

В первоначальный момент производится единовременное заполнение пневмосистемы цеховым сжатым компрессорным воздухом, или от индивидуальной компрессорной станции малой производительности, которая в свою очередь, при повторных ходах ползуна сжатый воздух не расходует.

Под действием постоянно действующего крутящего момента от пневмомеханической системы возвратного хода винт 11 реверсируется, и происходит подъем ползуна 23 в исходное положение.

В четвертой главе изложены программа и методика экспериментального исследования винтового пресса с муфтовым приводом с электромеханической системой управления. По требованию заказчика, в процессе испытаний осуществлено серийное изготовление 4-х наименований поковок из различных материалов: из труднодеформируемых, жаропрочных сталей, Ti-ых и Al-ых сплавов, в количестве не менее 100-120шт.

Осуществлены следующие исследования.

1. Проверка работоспособности и эффективности взаимодействия механизмов пресса.
2. Получение опытных значений энергосиловых параметров пресса.
3. Определение точности дозирования кинетической энергии пресса.
4. Возможность получения на прессе заданных серийных поковок из различных материалов.

Исследования проведены с целью определения соответствия данных, полученных с применением программного комплекса анализа динамических систем ПА9, и сопоставлены с действительными результатами полученными при испытании винтового пресса с муфтовым приводом с электромеханической системой управления модели Ф1738М, силой 6,3 МН.

Определены значения максимальной силы, развиваемой прессом при выполнении технологической операции и величина работы деформирования. Проведены исследования стабильности дозирования энергии, необходимой для

совершения работы деформирования осадкой заготовок на гладких бойках в торец трех образцов (с дублированием 3 раза) изготовленных из материала АК6 одной плавки, диаметром 50 мм и высотой 75 мм. Деформирование образцов в холодном состоянии осуществлялось кинетической энергией маховика при полном расходе энергии ползуна и винта после отключения муфты. Степень деформации составляла 42% без разрушения металла. Разность высотных размеров трех партий осаженных заготовок находилась в пределах  $\pm(0,12...0,15)$  мм.

Проведенные эксперименты показали, что винтовой пресс с муфтовым приводом развивает эффективную энергию хода деформирования до 170 кН·м, суммарная максимальная мощность электродвигателей составила 37,5 кВт, а система дозирования энергии удовлетворяет требованиям производства.

Сравнительные характеристики винтового пресса с электрическим дугостаторным приводом модели Ф1738 и восстановленного пресса с муфтовым приводом модели Ф1738М номинальной силой 6300 кН приведены в таблице.

В таблице в скобках указаны максимально возможные размеры (520)<sup>\*</sup> мм и (25)<sup>\*</sup> ход/мин., с переводом на муфтовый привод, ход разгона ползуна происходит на коротком отрезке пути и в основном учитывается возможность манипулирования с исходной заготовкой и отштампованной поковкой в открытом межштамповом пространстве. По статистическим данным при серийной и мелкосерийной штамповки поволоков со средней массой, особенно в авиационной промышленности, число ходов ползуна доходит до 4-6 ходов в минуту.

Таблица

Сравнительные характеристики винтовых прессов с электрическим дугостаторным приводом модели Ф1738 и с муфтовым прессом модели Ф1738М номинальной силой 6300 кН

№ п/п	Параметры	Модель пресса	
		Ф1738	Ф1738М
1.	Номинальная сила, кН	6300	6300
2.	Допустимая сила, кН	10000	10000
3.	Эффективная энергия хода деформирования, кНм	50	170
4.	Наибольший ход ползуна, мм	520	315 (520*)
5.	Частота ходов ползуна, ход/мин	25	8 (25**)
6.	Среднецикловая мощность привода, кВт	85	
7.	Максимальная мощность привода, кВт	170	
8.	Мощность вентилятора, кВт	13	
9.	Суммарная максимальная мощность электродвигателей, кВт	183	37,5

На прессе производилась штамповка серийных, промышленных партий изделий поволоков деталей «Корпус» из материала АК6 массой 4,0 кг и поволоков деталей «Патрубок» из материала 14Х17Н2 массой 4,17 кг.

В пятой главе на основе проведенных работ по проектированию, изготовлению, освоению, внедрению в производственную эксплуатацию ВМП модели Ф1738М и проведенных исследований разработана научно обоснованная методика проектирования винтовых прессов с муфтовым приводом с электромеханической системой управления с отключением муфты по ходу

деформирования, с механизмом возвратного хода с вращательным моментом воздействия на подвижные части пресса, позволяющая определить динамические нагрузки на узлы пресса при технологическом нагружении, а также основные кинематические и энергосиловые параметры пресса.

Разработанная методика проектного расчета ВМП с электромеханической системой управления может быть использована при проектировании или при восстановлении простаивающих винтовых прессов различных конструкций.

Сопоставление результатов теоретического и экспериментального исследований и многолетняя успешная эксплуатация ВМП модели Ф1738М наглядно подтверждают правильность принятых решений, достаточность полноты проведенных исследований.

## ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. В результате анализа существующих конструкций винтовых прессов установлено, что целесообразным является создание и промышленное внедрение ВМП с электромеханическими системами управления отключением муфты по ходу деформирования. Для привода возвратного хода подвижных частей пресса необходима разработка механизма возвратного хода с вращательным моментом воздействия на подвижные части пресса.

2. В результате анализа существующих конструкций винтовых прессов с муфтовым приводом установлена работоспособность предложенной конструкции пресса с электромеханической кулачково-рычажной системой управления муфтой и механизмом возвратного хода подвижных частей пресса с эвольвентной спиралью и пневмоцилиндрами, без расходования сжатого воздуха и проведена апробация промышленного образца ВМП с номинальной силой 6300 кН.

3. Создана на основе программного комплекса ПА9 математическая модель ВМП разработанной конструкции. Проведенный анализ закономерностей движения элементов конструкции и изменения значений кинематических, динамических и энергосиловых параметров ВМП позволил учесть характер технологической нагрузки и условий эксплуатации пресса.

4. Установленные аналитические зависимости электромеханической кулачково-рычажной системы и механизма возвратного хода позволяют производить расчет кинематических параметров ВМП с погрешностью не более 2... 13% от значений, полученных на ЭВМ, что позволяет также использовать их для расчетов параметров прессов.

5. В результате анализа исследования работы пресса установлено, что с момента подачи сигнала на включение электродвигателя управления время перемещения нажимного диска  $t_{нд1} = 0,0155$  с., а время включения муфты с момента смыкания дисков муфты до полного отсутствия проскальзывания дисков муфты  $t_{мв} = 0,23$  с. Перемещение ползуна при включении муфты  $S_{пв} = 0,059$  м, что составляет 14,75 % от максимального хода ползуна 0,4 м. Время перемещения нажимного диска муфты при отключении муфты  $t_{нд2} = 0,031$  с. Время отключения муфты  $t_{мо} = 0,036$  с. Ход деформирования до отключения муфты  $S_{д1} = 0,14$  м и после отключения муфты  $S_{д2} = 0,044$  м.

Установлено, что время хода ползуна вниз  $t_n = 0,9$  с, время хода ползуна вверх  $t_v = 1,28$  с, время хода торможения вверх  $t_{тв} = 0,17$  с. Время машинного цикла составляет 2,18 с, что обеспечивает производительность прессы при достаточной мощности главного электродвигателя 27,5 ход/мин. При установленной мощности главного электродвигателя 37,5 кВт эквивалентный ток становится равным номинальному фазному току за 3,6 с, что обеспечивает без возможного нагрева главного электродвигателя производительность прессы 16,7 ход/мин.

6. В результате экспериментальных исследований и сравнительного анализа восстановленного винтового прессы с муфтовым приводом номинальной силой 6300 кН модели Ф1738М с винтовым прессом с электрическим дугостаторным приводом модели Ф1738 установлена высокая надежность ВМП в работе, что подтверждает целесообразность дальнейшего промышленного освоения разработанной конструкции. Установлено, что эффективная энергия хода деформирования ВМП составляет 170 кН·м, что превышает энергию 50 кН·м прессы модели Ф1738 в 3,5 раза, суммарная максимальная мощность электродвигателей ВМП уменьшена в 3,5 раза с 183 кВт до 37,5 кВт. Частота рабочих ходов при работе с эффективной энергией 170 кН·м составляет 8 ход/мин, что обеспечивает необходимую производительность прессы 4 – 6 ход/мин. Время машинного цикла прессы обеспечивает паспортные данные по производительности (25 ход/мин) и составляет 27,5 ход/мин.

7. При создании ВМП уточнена классификация приводов винтовых прессов с муфтовым приводом, с вводом в кулачково-рычажной системы в группу муфты включения.

8. Созданный промышленный образец ВМП номинальной силой 6300 кН, в котором апробированы разработанная методика проектного расчета винтовых прессов с муфтовым приводом с электромеханической кулачково-рычажной системой управления и механизмом возвратного хода с эвольвентной спиралью с вращательным моментом воздействия на подвижные части прессы, освоен и принят в промышленную эксплуатацию на «ОАО МПО им. И. Румянцева» г. Москва.

9. Экономический эффект от внедрения в производство промышленного образца ВМП составляет 878975 рублей в год. Срок окупаемости на модернизацию прессы не более 1,5 лет.

10. На основе проведенных работ разработан размерный ряд винтовых прессов с муфтовым приводом.

Основные положения диссертации изложены в работах:

1. Аюпов Т.Х. Опыт применения гидровинтового пресс-молота // Технология производства, научная организация труда и управления. 1978, №7, С. 9-10.

2. Модернизация винтового прессы с электрическим дугостаторным приводом номинальной силы 6300 кН. / А.В.Сафонов, А.Т.Крук, Т.Х.Аюпов и др. // Кузнечно-штамповочное производство, Обработка металлов давлением. 2002, №3, С.14-19.

3. Сафонов А.В., Аюпов Т.Х.. Модернизация винтовых прессов простого действия // Ремонт, восстановление, модернизация. 2002, №11, С.2-6.

4. Сафонов А.В., Аюпов Т.Х. Расчет параметров электромеханической системы управления муфтой с кулачковым механизмом преобразованием крутящего момента: Межвузовский сборник научных трудов. №8, Москва, МГАПИ, 2003, С. 105-110.

5. Сафонов А.В., Аюпов Т.Х., Минаев А.И. Штамповка точных энергоемких заготовок на модернизированном винтовом прессе с муфтовым приводом /Авиакосмические технологии «АКТ-2003»: Труды четвертой Российской научно-технической конференции (Часть 1). 2003, Воронеж. гос. техн. ун-т, С. 38-46.

6. Сафонов А.В., Аюпов Т.Х. Основные направления развития и совершенствования кузнечно-прессового оборудования и технологических процессов. / Состояние, проблемы и перспективы развития металлургии и обработки металлов давлением: Сборник трудов №3, Московского металлургического института и Союза Кузнецов. Москва, 2003, С. 246-255.

7. Сафонов А.В., Аюпов Т.Х. Определение основных параметров главного исполнительного механизма винтового пресса. Сб. Технологии и машины обработки давлением. Труды XXXIII Уральского семинара. 2003, Екатеринбург, С. 86-90.

8. Расчет параметров электромеханической системы включения фрикционной муфты кривошипных и винтовых прессов. / А.В.Сафонов, А.В.Грачев, В.В. Ямчинов, Т.Х.Аюпов. Состояние, проблемы и перспективы развития металлургии и обработки металлов давлением: Сборник трудов № 4, Московского металлургического института и Союза Кузнецов. Москва, 2004, С. 455-464.

Подписано к печати 30.08.07. Заказ №570  
Объем 1,0 печ.л. Тираж 100 экз.  
Типография МГТУ им. Н.Э.Баумана  
105005, Москва, 2-я Бауманская ул.,д.5  
263-62-01