

**ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ДИСТАНЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ  
ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ ПО СИСТЕМЕ НПЧ-АД ДЛЯ ГИДРОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЯ  
ПРЕССЫ С ДАВЛЕНИЕМ В 30000 ТОНН.**

*Кадыров Ишембек Шакирович, д.т.н., проф., КНАУ им. К.И. Скрябина, Кыргызстан, 720005, г. Бишкек, ул. Медерова, 68, e-mail: [bgtu\\_kg@mail.ru](mailto:bgtu_kg@mail.ru).*

*Караева Нурзат Сууюнбековна, к.т.н., доц., КНАУ им. К.И. Скрябина, Кыргызстан, 720005, г. Бишкек, ул. Медерова, 68, e-mail: [karaeva\\_76@mail.ru](mailto:karaeva_76@mail.ru).*

*Бактыбек уулу Азамат, ассистент кафедры, КНАУ им. К.И. Скрябина, Кыргызстан, 720005, г. Бишкек, ул. Медерова, 68, e-mail: [azamat.baktybekuulu@inbox.ru](mailto:azamat.baktybekuulu@inbox.ru).*

**Аннотация.** В статье, на основании подробного описания элементов в следящей системе управления гидравлическим прессом сверхвысокого давления, дается методика установления функциональной связи между органом управления и исполнительным механизмом, на основании которой выбрана схема управления электроприводом гидрораспределителя прессы.

Установлено, что наиболее радикальным способом управления гидропрессом является следящая система, позволяющая производить контроль его подвижных частей для их своевременной остановки и переключения на обратный ход, если в ходе обработки металла давлением достигнуты определенные заданные размеры детали. Обоснована необходимость использования частотно управляемого электропривода по системе «Непосредственный преобразователь частоты – асинхронный двигатель», который имеет высокие регулировочные характеристики как в статических, так и в динамических режимах работы. Высокие регулировочные свойства частотно регулируемого электропривода достигнуты в процессе внедрения этого электропривода для основных механизмов шагающего экскаватора, поэтому настройка контуров момента и скорости в этой статье не рассматривалась. Основная цель статьи дать методику синтеза регулятора положения для достижения высокой степени точности отработки исполнительного механизма – ползуна, для того чтобы получить изделия высокого качества обработки металла давлением.

**Ключевые слова:** гидропресс сверхвысокого давления, гидрораспределитель, следящая система, непосредственный преобразователь частоты, элемент памяти, компаратор, инвертор, регулятор положения, механическая характеристика, асинхронный двигатель.

**PRINCIPLES OF BUILDING REMOTE CONTROL BY NPC-HELL  
SYSTEM FOR PRESS HYDRAULIC DISTRIBUTOR WITH PRESSURE OF 30000  
TONS**

*Kadyrov Ishembek Shakirovich* Doctor of Engineering, Professor, KNAU named after K.I. Scriabin, Kyrgyzstan, 720005, Bishkek, st. Mederova 68, e-mail: [bgtu\\_kg@mail.ru](mailto:bgtu_kg@mail.ru).

*Karaeva Nurzat Suyunbekovna*, Ph.D., Associate Professor, KNAU im. K.I. Scriabin, Kyrgyzstan, 720005, Bishkek, st. Mederova, 68, e-mail: [karaeva\\_76@mail.ru](mailto:karaeva_76@mail.ru).

*Baktybek uulu Azamat*, assistant chair, KNAU im. K.I. Scriabin, Kyrgyzstan, 720005, Bishkek, st. Mederova 68, e-mail: [azamat.baktybekuulu@inbox.ru](mailto:azamat.baktybekuulu@inbox.ru).

**Annotation.** The article, based on a detailed description of the elements in the servo system for controlling an ultrahigh pressure hydraulic press, provides a methodology for establishing a functional connection between the control body and the executive mechanism, based on which a control circuit for the hydraulic control valve of the press is selected.

It has been established that the most radical way to control the hydraulic press is the tracking system, which allows monitoring its moving parts to stop them and switch to the reverse stroke if certain specified dimensions of the part are reached during metal processing. The necessity of using a frequency-controlled electric drive according to the system “Direct frequency converter - asynchronous motor”, which has high regulatory characteristics in both static and dynamic modes of operation, is substantiated.

High adjusting properties of a frequency-controlled electric drive were achieved in the process of introducing this electric drive to the basic mechanisms of a walking equator, therefore, the adjustment of the torque and speed contours was not considered in this article. The main goal of the article is to give a synthesis technique for the position controller to achieve a high degree of accuracy in the development of the actuator - the slider, in order to obtain high-quality metal processing products by pressure.

**Key words:** ultra-high pressure hydraulic press, hydraulic distributor, tracking system, direct frequency converter, memory element, comparator, inverter, position controller, mechanical characteristic, induction motor.

**Введение.** Гидравлические прессы сверхвысоких давлений, которые используются в машиностроительном производстве для выполнения различных операций, таких как ковка, объемная штамповка, выдавливание, прошивка, резка и других процессов в основном строятся с маслонасосным приводом. Рабочей жидкостью в этих установках является минеральное масло, использование которого стало возможным за счет совершенствования высокооборотных насосов.

Для дистанционного управления гидропресса создана чувствительная и надежная гидроаппаратура, которая способствовала сокращению размеров всей приводной установки. Однако обработку деталей больших размеров с большей точностью можно произвести при наличии чувствительной следящей системы управления, или применения специальных устройств для автоматического контроля размеров [9, 10]. При этом на входе системы управления следящего электропривода необходима информация о положении исполнительного механизма, позволяющая производить контроль его подвижных частей для их своевременной остановки и переключения на обратный ход, если в ходе обработки металла давлением достигнуты определенные заданные размеры детали [6].

**Материалы и методы.** Следящая система управления распределителями гидравлической прессы сверхвысоких давлений применяется в том случае, если кулачковый вал имеет пять и более фиксированных положений, позволяющих дросселировать рабочую жидкость через впускные клапаны (рис. 1). Задающим элементом, с помощью которого

определяется направление и скорость движения ползуна, является рукоятка, поэтому положение рукоятки в системе управления следящим электроприводом однозначно определяет положение рабочего органа гидропресса – ползуна. Следовательно, и рукоятка управления, и ползун пресса являются начальным и конечным звеньями единой следящей системы, в которой ползун копирует движение рукоятки не только по направлению, но и по скорости [7].

Под управлением гидравлическим прессом понимается проведение манипуляционных действий над органами управления для того, чтобы обеспечить работу его по циклам. Последние определяются технологическим процессом изготавливаемой детали и могут содержать обязательные периоды движения или фиксации ползуна, основными из которых являются:

1. Удержание ползуна на весу, в процессе которого прodelьваются необходимые манипуляции с заготовкой и инструментом.
2. Холостой ход ползуна вниз до соприкосновения инструмента с заготовкой.
3. Рабочий ход для осуществления пластической деформации заготовки с целью придания заготовки заданной формы.
4. Выдержка изделия под давлением для получения у готовой детали поверхности хорошего качества, т.е. заданной чистоты, равномерности структуры и т.д.
5. Обратный ход ползуна и остановка его в любой точке хода.

При модернизации гидропрессового оборудования на основе анализа конкретных условий работы пресса следует искать такие способы управления, когда отработка технологического цикла производится наименьшим количеством органов управления.

Под автоматизацией выполнения всех циклов работы пресса понимается реализация системы управления, которая должна обеспечивать:

- максимальную быстроходность пресса;
- легкое и точное управление движениями ползуна пресса;
- экономное использование рабочей жидкости;
- простоту гидравлической системы и минимальное количество рычагов управления.

Перечисленные выше условия работы системы управления не только подтверждают, но и являются доминирующими факторами в пользу выбора следящих систем управления.

Причем такая система обеспечивает наиболее чувствительное и точное управление при любых положениях рукоятки управления [6].

Рассмотрим принцип построения следящего электропривода на примере гидравлической схемы управления трехцилиндровым ковочным прессом (рис.1) с электромеханическим гидрораспределителем, имеющим индивидуальный электропривод переменного тока, построенной по системе «Непосредственный преобразователь частоты – асинхронный двигатель» (НПЧ-АД) [5]. В этой системе образована синхронная передача для одновременного управления ползуна в функции скорости и пути за счет параллельной работы сельсин-приемников (СП1) 20 и (СП2) 21 от одного сельсин-датчика (СД) 19 (рис. 1) [7]. При этом вал СП1 связан с ползуном через систему, преобразующую поступательное движение ползуна во вращательное движение СП1, состоящую из каната и канатопроводящих шкивов, поэтому угол поворота вала СП1 пропорционален положению рукоятки, а, следовательно, пути, проходимому ползуном. Вал СП2 соединен с валом главного распределителя, следовательно, угловое положение вала СП2 определяет степень пропускания рабочей жидкости в цилиндры, влияющие на скорость движения ползуна. Роторная обмотка СД получает питание от сети (рис.2) и выполняет функцию обмотки возбуждения, а роторные обмотки СП1 и СП2 являются обмотками управления.

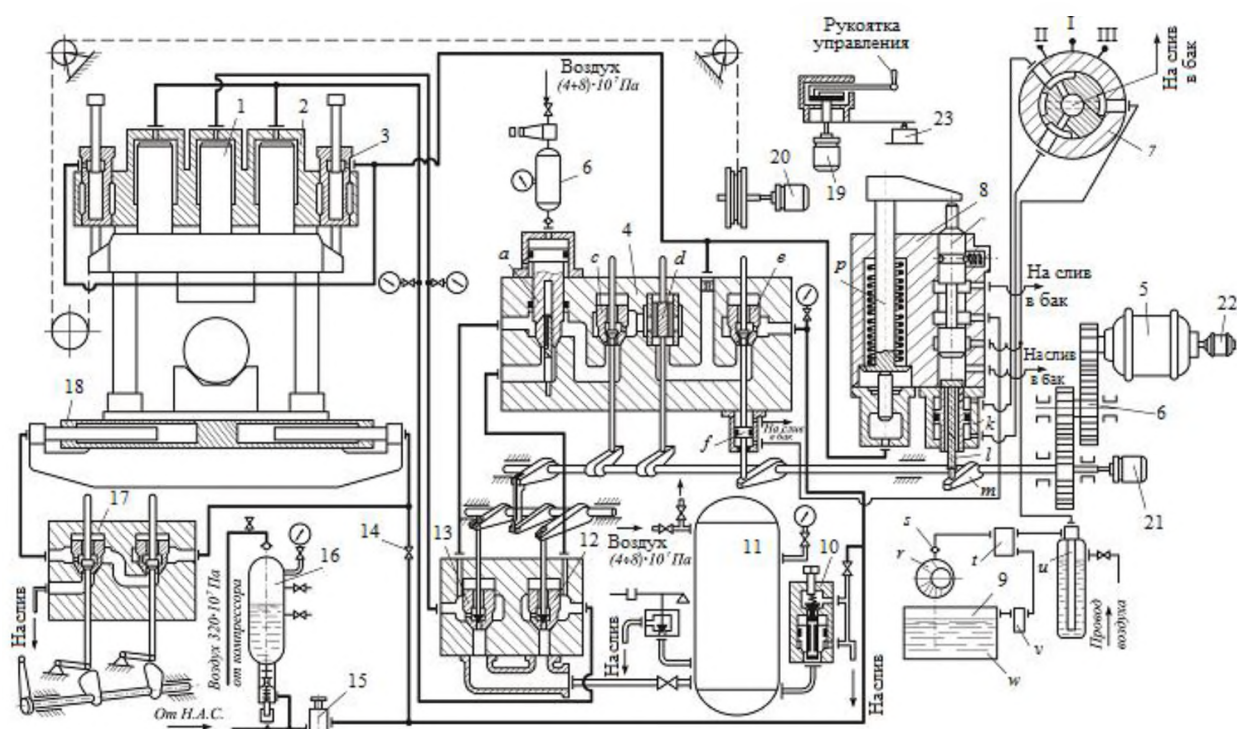


Рис. 1. Гидравлическая схема управления трех цилиндровым

Статорные обмотки приемников  $СП1$  и  $СП2$  соединены электрически со статорной обмоткой  $СД$ . Сельсины  $СП1$  и  $СП2$  работают в амплитудном режиме, поэтому возникающие углы рассогласования при повороте рукоятки в ту или иную сторону вызывают появление выходного напряжения  $СП1$  и  $СП2$  той или иной фазы [9, 10]. Наличие выходного напряжения  $СП1$  и  $СП2$  является сигналом для поворота вала гидраспределителя на заданный угол, а нулевое его значение удерживает вал в заданном угловом положении.

В дистанционной схеме управления прессом (рис. 1) не требуется для остановки ползуна переводить рукоятку из одной зоны в другую. Если угол рассогласования между  $СП1$  и  $СД$  равен нулю, то электропривод по системе  $НПЧ-АД$  отреагирует на это, перекрыв клапаны основных цилиндров за счет возврата вала гидрораспределителя в горизонтальное положение. Таким образом, ползун копирует движение рукоятки, поэтому остановка рукоятки вызывает и его остановку. Для выделения сигнала, указывающего движение ползуна вверх или вниз при повороте рукоятки в ту или иную зону по отношению зоны «стоп», используется микропереключатель ( $МП$ ) 23 (рис. 1), управляемый пяткой рукоятки так, что при повороте рукоятки в зону «спуск» кнопка  $МП$  на период спуска отжата и зажата при повороте рукоятки в зону «подъем» ползуна.

В рассматриваемой схеме на рис. 1 применен гидравлический командоаппарат 4, состоящий из трех золотниковых распределителей, в которых подъем золотников осуществляется толкателями от кулачкового вала, приводимого в движение от электрического двигателя 5 через редуктор 6. При этом профиль кулачков зависит от последовательности их работы, а автоматизация управления прессом производится следящим электроприводом электромеханического гидрораспределителя.

В гидравлической схеме управления пресса реализованы два способа регулирования скорости движения ползуна за счет изменения усилия, действующего на него, которые условно можно разделить на грубое в виде ступенчатого автоматического переключения усилия и тонкое – в виде дросселирования жидкости, подаваемой в рабочие цилиндры [7].

Автоматическое переключение ступеней усилия производится специальным клапаном *a* главного распределителя 4.

Следует отметить, что в гидравлической схеме фиксированных положений кулачковых валов распределителя могут быть сколь угодно много, так как рычаг управления соединен с *СД* 19 на пульте управления. При неподвижной рукоятке управления прессом вал главного распределителя с рычагами находится в горизонтальном положении, и все клапаны и дроссель главного распределителя 4 закрыты. Благодаря закрытому клапану *c* жидкость в подъемных цилиндрах 3 пресса заперта, ползун удерживается на весу. Если поворачивать рукоятку в сторону, соответствующую опусканию ползуна, то вращение рукоятки посредством следящего электропривода по системе *НПЧ-АД* передается на вал главного распределителя, так как между валами *СД* и *СП2* появится угол рассогласования. Открывается клапан *c* и дроссель *d*, жидкость из подъемных цилиндров вытесняется в центральный цилиндр 1 пресса и происходит опускание ползуна. Кроме того, центральный цилиндр 1 и боковые цилиндры 2 заполняются жидкостью из наполнителя через наполнительно-сливные клапаны 12 и 13, которые открываются за счет перепада давления.

Если остановить рукоятку управления, то при отсутствии угла рассогласования между валами *СД* и *СП1* вал главного распределителя возвратится в горизонтальное положение, клапан *c* и дроссель *d* закроются, и ползун остановится.

Если теперь начать поворот рукоятки в обратную сторону, то в полном соответствии с только что изложенным начинается вращение вала главного распределителя из горизонтального положения в обратную сторону. Это вызовет открытие клапанов *e*, 12 и 13. Жидкость из аккумуляторной станции начнет поступать в подъемные цилиндры и осуществлять подъем ползуна, жидкость из рабочих цилиндров 1 и 2 будет вытесняться через открытые клапаны 12 и 13 в наполнитель. При остановке рукоятки произойдет возврат вала в горизонтальное положение точно так же, как это имело место при рассмотрении хода ползуна вниз. В результате клапаны 12, 13 и *e* закроются, и ползун, также остановится.

Рабочий ход ползуна протекает почти в полной аналогии с холостым ходом вниз. Разница только в том, что центральный цилиндр пресса, а при работе на 2-й ступени все три рабочих цилиндра должны получать жидкость не из наполнителя, а из насосно-аккумуляторной станции, но для этого необходимо, чтобы одновременно с клапаном *c* и дросселем *d* был открыт и клапан *e*.

Для открытия клапана *e* при рабочем ходе имеется сервоцилиндр *f*, которым управляет специальный вспомогательный клапан – клапан включения рабочего хода 8. Этот клапан срабатывает в тот момент хода вниз, когда верхний боек пресса «сядет» на поковку. Таким образом, исключается возможность расходования жидкости высокого давления из аккумулятора на совершение холостого хода.

С момента открытия клапана *f* жидкость высокого давления от аккумулятора поступает в центральный рабочий цилиндр 1, и ползун совершает рабочий ход. К моменту окончания подъема ползуна вал возвращается в горизонтальное положение, и вся система приходит в исходное положение.

Такое подробное описание режимов движения ползуна необходимо для правильного выбора того количества необходимых элементов, с помощью которых возможен построение оптимальной структуры схемы управления прессы с сверхвысоким давлением.

Для обеспечения различных режимов работы гидропрессы в технологическом процессе изготовления детали, необходимо предусмотреть блок задания углового положения вала распределителя и блок, который бы управлял гидросистемой прессы с помощью электропривода по системе «Непосредственный преобразователь частоты – асинхронный двигатель» (*НПЧ-АД*). Очевидно, что схема управления гидропрессом должна содержать два элемента памяти: *ЭП1*, запоминающий очередной угол поворота вала распределителя относительно начального углового положения, соответствующей предыдущей позиции ползуна и позволяющей вернуть вал в дальнейшем в исходное положение и *ЭП2* с



помощью которого запоминается начальное положение рукоятки  $\varphi_{нач}$  перед началом очередной фазы движения ползуна.

Необходимы фазочувствительные выпрямители (ФЧВ) для выделения абсолютной величины сигналов с выходов сельсинов СП1 и СП2. Блок задания углового положения вала распределителя должен содержать компаратор К1, назначение которого формировать сигналы воздействия на элемент памяти ЭП1 для записи информации о начальном положении ползуна и считывании информации перед началом точной остановки ползуна в заданном положении в функции сигнала с выхода дифференциальной RC цепочки, подключенная на выход К1.

В рассматриваемой структуре следящего электропривода компаратор К2, в составе блока управления гидросистемой, включает реле Р1 при достижении выходного напряжения ФЧВ1  $U_{\phi 1} = 0$ , и инвертор И с обратным знаком подается на вход решающего устройства (РУ), выполняющего роль регулятора положения (РП) для того, чтобы остановить движение ползуна возвращением вала распределителя после очередной фиксации рукоятки в горизонтальное положение.

Функциональная схема с автоматизированным циклом работы представлена на рис. 3, которая составлена на основании вышеперечисленных элементов, а положение ползуна в каждый момент времени находится под контролем регулятора положения в виде разности сигналов с уровнем напряжения  $\Delta U_{\phi 2} = U_{\phi 2з} - U_{\phi 2г}$ .

Таким образом функциональная схема управления следящим электроприводом при каждом изменении равномерности движения ползуна, то есть замедлении или ускорении его движения, формирует сигнал на изменение положения вала главного распределителя, поэтому электропривод или еще больше откроет клапаны, или начнет их перекрывать, тем самым будет изменяться и скорость ползуна [6].

Основная цель данной статьи является описание разработанной методики синтеза регулятора положения позиционного электропривода гидрораспределителя прессы с давлением в 30000 тонн. За основу взят разработанный ранее экскаваторный электропривод переменного тока, с двухконтурной системой регулирования скорости, в которой внутренний

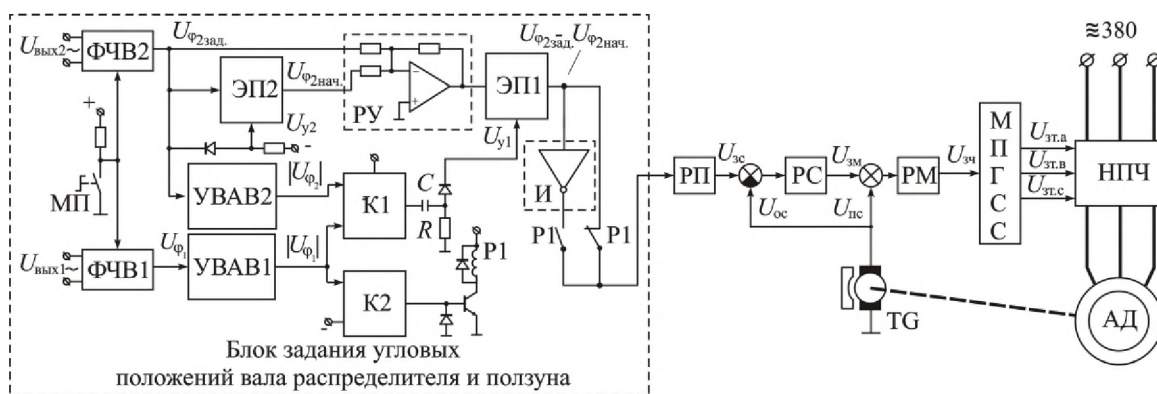
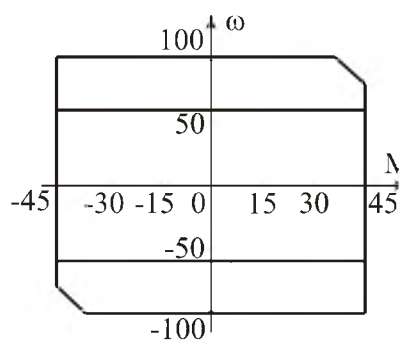


Рис.3. Функциональная схема управления следящим

контур момента с формирующей положительной обратной связью по скорости, как показано на рис. 3, настроен на технический оптимум, а внешний контур скорости настроен на симметричный оптимум, поэтому эту систему можно отнести к системе астатического регулирования скорости. Об свидетельствуют механические характеристики, представленные на рис. 4. Жесткость механических характеристик в рабочей подтверждает о том, что статическая ошибка по скорости равна нулю, а максимальный момент двигателя надежно ограничен стопорным значением как в двигательном, так и в генераторном режимах работы электропривода. Следует подчеркнуть то что опыт, приобретенный в процессе проведения исследовательских работ по внедрению этого электропривода для основных механизмов

шагающего экскаватора [2], оказалось достаточным для выработки мер по привязке принятых схемных решений в следящей системе управления электроприводом гидрораспределителя для получения механических характеристик, обеспечивающих нормальные условия работы рабочего органа прессы. При этом принятое решение о внедрении комплектного электропривода по системе *НПЧ-АД* в электромеханический распределитель гидропрессы не сужает, а существенно расширяет область его применения.

**Результаты и обсуждение.** По своему функциональному назначению электропривод



**Рис. 4. Механические характеристики**

гидрораспределителя должен обеспечивать отработку заданного перемещения исполнительного органа с требуемой точностью и быстродействием при надежном ограничении максимального момента двигателя. Это определяет необходимость использования систем регулирования скорости электродвигателя с высокими статическими и динамическими характеристиками. Конкретно для прессы 30000 тонн при наличии редуктора с передаточным отношением  $i = 51$ , электропривод должен обрабатывать максимальный угол рассогласования  $\Delta = 300^\circ$  за время  $t_{\text{ц}}$ , не превышающее 3 с, с ошибкой не более  $3^\circ$ .

Одновременно электропривод гидрораспределителя должен быть прост и надежен в эксплуатации и не вызывать

длительных простоев уникального технологического оборудования при отказах.

Указанным требованиям в полной мере удовлетворяет электропривод по системе *НПЧ-АД* с частотно-токовым управлением, комплектуемый из реверсивных тиристорных модулей, причем требуемые скорости вращения *АД* можно обеспечить трехпульсными схемами *НПЧ* при использовании асинхронных двигателей общепромышленного назначения (рис. 5).

Поскольку электроприводы гидрораспределителей являются маломощными, требования к их энергетическим показателям соответственно невысоки и основным критерием рациональной компоновки силовых схем системы становится ее надежность. При этом низкие энергетические показатели симметричных трехпульсных схем *НПЧ* не служат препятствием для их использования при компоновке электроприводов гидрораспределителей.

За последние годы разработке непосредственного преобразователя частоты уделяется большое внимание в связи с преимуществами, характерными для этого преобразователя (удобством компоновки, естественной коммутацией силовых тиристоров), и сопровождается ростом разновидностей силовых схем. Электропривод по системе *НПЧ-АД* применительно к требованиям, предъявляемым к электроприводам гидропрессы, обладает наиболее благоприятными возможностями для экономичного регулирования скорости в широком диапазоне. Формирование токов и напряжений формы, требуемой для плавного управления моментом и скоростью двигателя, этим преобразователем обеспечивается тем эффективнее, чем ниже скорость электропривода [4]. При этом в отличие от системы *ТП-Д*, в системе *НПЧ-АД* добавляется в качестве дополнительного элемента лишь задающий генератор, который воздействует на входы отдельных тиристорных преобразователей каждой фазы. Микропроцессорный генератор синусоидальных сигналов (*МП ГСС*) введен в прямой канал управления для того, чтобы обеспечить плавное регулирование частоты, амплитуды и фазы питающего напряжения *НПЧ* в функции одной переменной, которая находится в линейной зависимости от напряжения задания на момент двигателя, на основе полученного математического аппарата и разработанного программного обеспечения для него [2].

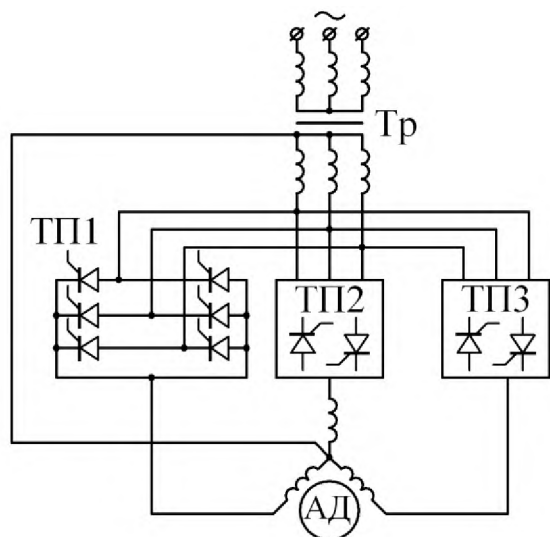


Рис. 5. Принципиальная схема системы НПЧ-АД с трехпульсным преобразователем частоты.

Таким образом, наиболее приемлемой схемой силовых цепей электропривода в этом случае является симметричная трехпульсная схема НПЧ с трехфазным двигателем (рис. 5). Действительно, вероятность отказа сразу двух тиристорных комплектов НПЧ мала, а при выходе из строя одного модуля электропривода сохраняет управляемость, что подтверждается результатами исследований неполнофазных схем.

Основной функцией электропривода гидрораспределителя является точная отработка дозированных перемещений, что и обуславливает наличие контура положения электропривода. Структурная схема контура регулирования положения приведена на рис. 6. Передаточная функция объекта регулирования этого контура описывается выражением [1, 5,]:

$$W_{\text{орп}}(p) = \frac{k_c \cdot k_{\text{п}}}{[1 + (T_{\text{мс}} + T_{\text{дп}})p]p}, \tag{1}$$

где  $T_{\text{мс}} = 1/\Omega_{\text{ср}}$  - некомпенсируемая постоянная контура скорости;  $T_{\text{дп}}$  - постоянная времени датчика положения.

При настройке на технический оптимум, желаемая передаточная функция контура положения должна соответствовать выражению:

$$W_{\text{ж.п}}(p) = \frac{1/k_{\text{дп}} k_c \cdot}{2T_{\text{уп}} \cdot p(1 + T_{\text{уп}} \cdot p)}, \tag{2}$$

и тогда регулятор положения является пропорциональным:

$$W_{\text{рп}}(p) = \frac{1}{2T_{\text{уп}} \cdot k_c \cdot k_{\text{п}} k_{\text{дп}}}, \tag{3}$$

где  $k_{\text{дп}}$  - коэффициент передачи датчика положения;  $T_{\text{уп}}$  - некомпенсируемая постоянная времени контура положения.

Позиционный электропривод с рассмотренной системой автоматического регулирования координат был разработан для гидрораспределителя прессы 30000 тонн.

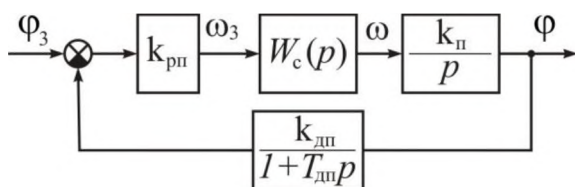


Рис. 6. Структурная схема контура

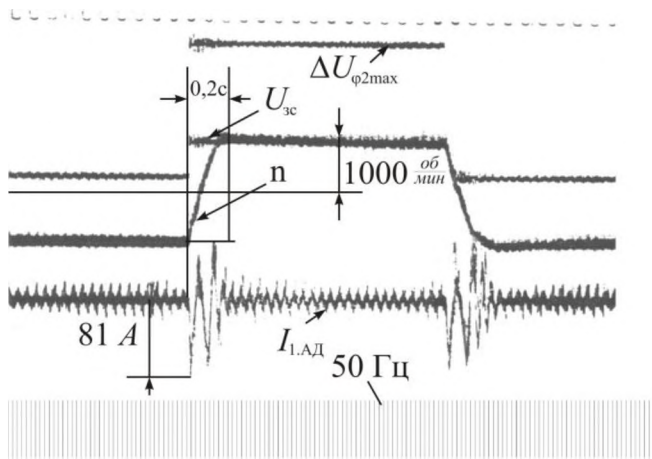
учетом того, что контур положения работает только при рассогласованиях  $\Delta\varphi_2 = \varphi_{23} - \varphi_{21} \leq 25^\circ$ , определяется выражением:

При выборе схемы силовых цепей электропривода гидрораспределителя по системе НПЧ-АД отмечалось, что симметричная трехпульсная схема НПЧ с трехфазным АД наиболее полно отвечает всем требованиям, сформулированным заказчиком. Номинальная выходная частота НПЧ с



$$f_{\text{вых.н}} = \frac{\varphi_{\text{max}} i p_{\text{п}}}{2\pi 60 t_{\text{ц. max}}} d, \quad (4)$$

где  $d$  - коэффициент учитывающий снижение скорости электропривода в зоне позиционирования.



**Рис. 7. Осциллограмма, характеризующая динамические свойства контура**

часть позиционного электропривода, разработанная для пресса 30000 т, имеет следующие параметры: асинхронный двигатель типа 4А 132 со следующими паспортными данными  $P_{\text{н}} = 11$  кВт,  $U_{\text{н}} = 220/380$  В,  $I_{\text{н}} = 36/21$  А,  $n_{\text{н}} = 2950$  об/мин,  $\cos\varphi_{\text{н}} = 0,9$ ,  $\eta = 0,88$ ; тахогенератор типа ТМГ-30 с паспортными данными  $P_{\text{н}} = 20$  Вт,  $k_{\text{тг}} = 57,5$  мВ/об/мин; редуктор с параметрами  $i = 51$  и  $J_{\Sigma} = 0,0288$  кг·м<sup>2</sup>; датчик положения с параметрами  $k_{\text{дп}} = 19,1$ ,  $T_{\text{дп}} = 0,01$  с.

На основании этих данных, приняв в качестве критерия удовлетворительного качества переходного процесса с показателем колебательности  $M = 1,1$  и положив  $\Omega_{\text{ср}} = 25$  1/с, рассчитаем параметры САР электропривода:  $\Omega_0 = 10,7$  1/с;  $T_2 = 0,44$  с;  $k_{\Sigma} = 173$ ;  $T_3 = 0,008$  с;  $k_{\text{рс}} = 0,47$   $k_c = 12,6$ ;  $k_{\text{п}} = 0,0196$ ;  $T_{\text{мп}} = 0,03$  с;  $k_{\text{рп}} = 2,12$ .

При проведении промышленных испытаний на макетном образце гидрораспределителя пресса 30000 т решалась задача оценки статических и динамических показателей синтезированной системы, а также точности позиционирования в системе автоматического регулирования положения электропривода.

Динамические показатели контура скорости электропривода характеризуются осциллограммой на рис. 7, где отражены процессы при реверсе электропривода в холостую на максимальных скоростях. Реверс электропривода происходит за время 0,2 с, а перерегулирование не превышает 5%, что свидетельствует о высоких динамических свойствах системы.

Используя двухполюсную машину ( $p_{\text{п}} = 1$ ) и принимая с запасом  $d = 1,2$ , получим расчетное номинальное значение частоты выходного тока НПЧ  $f_{\text{вых.н}} = 16,3$  Гц. Для привода гидро-распределителя была принята за номинальную выходную частоту НПЧ частота  $f_{\text{вых.н}} = 17,5$  Гц. В функциональной схеме комплектного позиционного электропривода пресса, приведенной на рис. 6 регулятор положения выполнен с насыщением таким образом, чтобы при больших рассогласованиях  $\Delta\varphi_2 = \varphi_{23} - \varphi_{2\text{т}} > 25^\circ$  привод работал с максимальной установившейся скоростью. Силовая

Результаты промышленных испытаний позиционного электропривода гидрораспределителя при отработке заданных перемещений иллюстрируются осциллограммами на рис. 8. На рис. 8 показаны наиболее тяжелые режимы работы электропривода при открытии клапана гидрораспределителя. При полностью закрытом клапане, момент нагрузки электропривода максимален и уменьшается по мере открытия

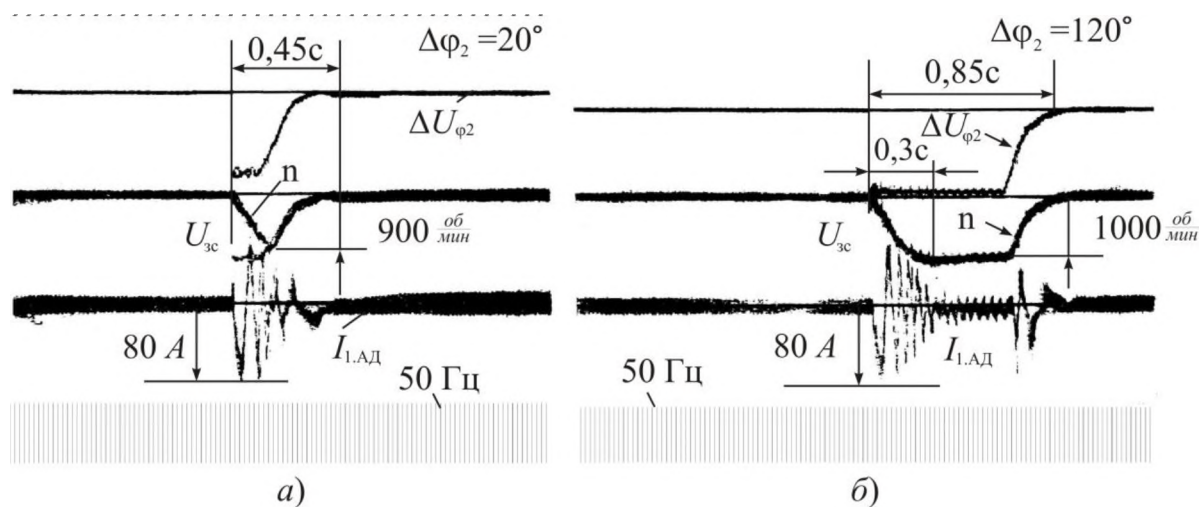


Рис. 8. Отработка электроприводом гидрораспределителя заданных

клапана. Полученные результаты свидетельствуют о том, что переходные процессы в рабочих циклах протекают плавно и практически без перерегулирования и, в то же время с высоким быстродействием. Время отработки максимального рассогласования не превышает 2 с, а ошибка позиционирования, как показали измерения на установке, составляет не более 2°.

Промышленные испытания подтверждают, что статические и динамические характеристики разработанного позиционного электропривода по системе *НПЧ-АД* полностью удовлетворяют требованиям эффективного и экономического управления промышленных установок и отвечают требованиям, предъявляемым к следящему электроприводу гидрораспределителя прессы 30000 т. [3].

### Выводы

1. Эффективное дистанционное управление гидропрессом сверхвысоких давлений возможно созданием чувствительной следящей системы, способствующая обработке деталей больших размеров с большей точностью при наличии специальных устройств для автоматического контроля размеров и надежной гидроаппаратуры.

2. Наиболее приемлемой схемой силовых цепей для электропривода переменного тока является симметричная трехпульсная схема *НПЧ* так как вероятность отказа сразу двух тиристорных комплектов *НПЧ* мала, а при выходе из строя одного модуля электропривод сохраняет управляемость, что подтверждается результатами исследований неполнофазных схем.

3. Результаты промышленных испытаний на макетном образце гидрораспределителя прессы 30000 т показывают, что поставленную задачу можно решить, если ввести в систему автоматического регулирования электропривода регулятор положения с настройкой его на технический оптимум. При этом анализ статических и динамических показателей показывают, что синтезированной системы обладает высокой точностью позиционирования.

### Литература

1. Бессекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического регулирования. – М.: Наука, 1972. – 767 с.

2. Бочкарев И.В., Кадыров И.Ш. Микропроцессорное устройство управления по системе «Непосредственный преобразователь частоты – АД» электропривода экскаватора // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. 2007. №5. С. 25-30.
3. Грунтович Н.В., Ефремов Л.Г., Федоров О.В. Совершенствование систем управления энергетической эффективностью и экономической безопасностью промышленных предприятий // Вестник Чувашского университета. 2015. №3. С. 40-48
4. Кадыров И.Ш. Об особенностях формирования фазного напряжения асинхронного двигателя (АД) при питании от непосредственного преобразователя частоты (НПЧ) со свойствами источника напряжения и тока // Алматинский институт энергетики и связи. -Изд-во АИЭС, 2006. – Алматы: - С. 221-227.
5. Ключев В.И. Теория электропривода. М.: Изд-во Энергоатомиздат, 1985. – 560 с.
6. Лебедев А.М., Орлова Р.Т., Пальцев А.В. Следящие электроприводы станков с ЧПУ. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 223 с.
7. Михеев В.А., Ям В.М., Поляков Б.И. Модернизация гидропрессового оборудования. – М.: Машгиз, 1951 – 251 с.
8. Руденко В.С., Сенько В.И., Чиженко И.М. Основы преобразовательной техники. – М.: Высшая школа, 1980. – 424 с.
9. Терехов В.М. Элементы автоматизированного электропривода. М.: Изд-во Энергоатомиздат, 1987. – 224 с.
10. Хрущев В.В. Электрические машины систем автоматики. – Л.: Энергоатомиздат, 1985 – 368 с.