

# **Опыт модернизации гидроприводов и систем управления прессов**

**Канд. техн. наук В.В. Бодров, Р.М. Багаутдинов,  
канд. техн. наук А.А. Батурин, канд. техн. наук М.Е. Гойдо  
(ООО “Уральский инжиниринговый центр”, г. Челябинск)**

В настоящее время на достаточно большом количестве российских предприятий проводятся работы по модернизации гидросистем и систем управления мощных штамповочных и ковочных прессов, в гидроприводах которых в качестве рабочей жидкости используется вода. Целью модернизации указанных систем в большинстве случаев является: повышение надежности и точности их работы, удобства и безопасности обслуживания, что в конечном итоге должно способствовать повышению качества продукции, производимой на прессах, производительности прессов и сокращению простоев прессов, связанных с ремонтами.

ООО “Уральский инжиниринговый центр” (до 2007 г. организация называлась ООО “Учебно-инжиниринговый центр”) активно участвует в выполнении работ по модернизации.

Первой крупной работой подобного рода была модернизация в 2001 г. в кузнечно-прессовом цехе ОАО “Буммаш” (г. Ижевск) ковочного комплекса, состоящего из ковочного пресса ПА 1343 усилием 20 МН (изготовитель: Днепрпетровский завод прессов, Украина) и двух манипуляторов ТМ-10EQ грузоподъемностью по 100 кН каждый (фирма-изготовитель: “НИХОН–СЭЙКОШО”, Япония) [1].

В процессе модернизации принципиально изменена схема управления главным гидрораспределителем пресса, а именно: привод запорно-регулирующего элемента каждого из напорных и сливных клапанов выполнен от индивидуального гидроцилиндра, работающего на масле. Часть гидроцилиндров управления клапанами выполнена с несколькими фиксированными положениями поршня.

Благодаря этому удалось обеспечить изменение площади проходного сечения соответствующих клапанов и, соответственно, скорости движения подвижной траверсы прессы без применения дорогостоящих пропорциональных гидроаппаратов, используя обычные направляющие гидрораспределители с электрическим управлением. На манипуляторах для обеспечения требуемых характеристик работы основных приводов (перемещения, вращения клещей, проседания хобота) управление изменено с релейного на пропорциональное. При этом в качестве управляющих гидроаппаратов использованы электрогидравлические пропорциональные гидрораспределители со струйной трубкой в управляющем каскаде, разработанные и изготавливаемые ООО “Уральский инжиниринговый центр” (далее просто ООО “УрИЦ”). Для управления работой ковочного комплекса во всех режимах (наладочном, ручном, полуавтоматическом и автоматическом) с обеспечением заданных выходных характеристик применена цифровая контроллерная система, установлены соответствующие датчики. Спроектированы и изготовлены пульт оператора (рис. 1), шкафы управления, построено пультовое помещение с системой кондиционирования. Разработаны и реализованы оригинальные алгоритмы управления [2].

Модернизация и автоматизация ковочного комплекса позволила повысить гарантированную точность обеспечения: ковочного размера до  $\pm 2$  мм; угла поворота клещей манипулятора до  $\pm 1^\circ$ ; перемещения манипулятора до  $\pm 5$  мм.

В течение 2007 г. ООО “УрИЦ” проводилось регулярное сервисное обслуживание гидросистемы и системы управления ковочного комплекса.

Для ОАО “Челябинский трубопрокатный завод” выполнена работа по оснащению формовочного прессы ПО 753 усилием 200 МН, входящего в состав трубосварочного стана, системой синхронизации рабочих гидроцилиндров. Для этой системы разработаны и изготовлены дроссели с пропорциональным электрогидравлическим управлением [3]. Опыт разработки и эксплуатации этих дросселей в дальнейшем пригодился при модернизации в плавильном цехе ОАО “Корпорация ВСМПО-АВИСМА” (г. Верхняя Салда) гидросистемы и системы управления имеющего уникальную конструкцию штамповочного

пресса НП-130 усилием 300 МН (изготовитель: “Тяжстанкогидропресс” им. А.И. Ефремова, г. Новосибирск).

Модернизированная система управления подвижной траверсой пресса НП-130 является электрогидравлической (рис. 2). От прежней системы в ней сохранились лишь рабочие и подъемные гидроцилиндры и корпусные детали клапанных гидрораспределителей этих гидроцилиндров. При этом корпуса клапанных гидрораспределителей, изготовленные из углеродистой конструкционной стали, подвергнуты доработке, заключающейся в наплавке коррозионно-стойкой стали на все уплотняемые поверхности.

Для управления каждым из рабочих гидроцилиндров ЦР пресса используется индивидуальный двухклапанный гидрораспределитель РЦР, содержащий напорный КНЦР и наполнительно-сливной КНСЦР клапаны, а для управления четырьмя подъемными гидроцилиндрами ЦП используется один общий двухклапанный гидрораспределитель РЦП, содержащий напорный КНЦП и сливной КСЦП клапаны.

Если в штатной системе управления пресса для устранения возникающего перекоса подвижной траверсы относительно горизонтальной плоскости во время холостого хода и при подъеме использовались наполнительно-сливные клапаны КНСЦР, то в модернизированной системе для обеспечения более качественного решения указанной задачи рабочая полость каждого из подъемных гидроцилиндров соединена с исполнительным каналом двухклапанного гидрораспределителя РЦП посредством индивидуального регулируемого дросселя ДР золотникового типа с разгруженным запорно-регулирующим элементом (ЗРЭ). Благодаря введению в гидросистему пресса упомянутых дросселей ДР, отпала необходимость делать регулирующими наполнительно-сливные клапаны рабочих гидроцилиндров и напорный и сливной клапаны подъемных гидроцилиндров. Для исключения чрезмерного повышения давления в полости подъемного гидроцилиндра при запираания в ней рабочей жидкости (в качестве которой используется вода) посредством дросселя ДР, параллельно последнему установлен предохранительный клапан КП, поджим запорного элемента кото-

рого к седлу осуществляется не пружиной, а жидкостью высокого давления из напорной гидролинии пресса.

Напорный клапан двухклапанных гидрораспределителей рабочих гидроцилиндров, являющийся запорно-регулирующим, выполнен в соответствии с оригинальной конструктивной схемой (рис. 3). Он имеет разнесенные в пространстве запорную и регулируемую части (рис. 4), что способствует повышению срока службы клапанной пары до нарушения ее герметичности [4]. Клапан выполнен без разгрузочного элемента и характеризуется размерами, выбранными исходя из условия удовлетворения следующих требований: 1) при закрытом проходном сечении клапана напряжения на поверхности контакта запорной фаски ЗРЭ и уплотнительной фаски седла, создаваемые под действием силы давления рабочей жидкости на ЗРЭ, являются достаточными для обеспечения герметичного разделения входного и выходного каналов клапана и в то же время не превосходят значение напряжений, допустимое из условия прочности контактирующих поверхностей; 2) при открытом проходном сечении клапана усилие, действующее на ЗРЭ со стороны рабочей жидкости, является достаточным для перемещения ЗРЭ в направлении седла до соприкосновения с ним (с преодолением соответствующих сил сопротивления). Клапан имеет экспотенциальную регулировочную характеристику, которой при неизменной абсолютной погрешности позиционирования ЗРЭ клапана относительно его седла при прочих равных условиях соответствует одинаково высокая (с относительной погрешностью, не превышающей заданную допустимую величину  $\delta$ ) точность регулирования расхода рабочей жидкости посредством клапана во всем диапазоне изменения площади его проходного сечения [5].

Запорно-регулирующий элемент рассматриваемых клапанов имеет два штока, один из которых (расположенный со стороны регулирующего пояска, профилированного соответствующим образом) соединен со штоком гидроцилиндра управления, а другой (расположенный со стороны запорной фаски и направляющей части) используется для контроля текущего положения, занимаемого ЗРЭ.

Для контроля текущего положения запорно-регулирующего элемента каждого из напорных клапанов рабочих гидроцилиндров и каждого из регулируемых дросселей и организации местной (локальной) обратной связи по положению этого ЗРЭ перечисленные устройства оснащены датчиками положения. Местная обратная связь по положению ЗРЭ гидроаппарата организована с использованием электронного усилителя (в состав которого входит пропорционально-интегральный регулятор — ПИ-регулятор) для повышения быстродействия системы управления подвижной траверсой в целом.

Изменение положения запорно-регулирующего (запорного) элемента каждого из вышеупомянутых клапанов и регулируемых дросселей осуществляется с помощью индивидуального гидроцилиндра управления двухстороннего действия с односторонним штоком ЦУ1, ... , ЦУ5, работающего на масле. Шток гидроцилиндра управления соединен с запорно-регулирующим (запорным) элементом без зазора в их осевом направлении посредством шарнирного соединения специальной конструкции, компенсирующего в определенной степени несовпадение осей соединяемых деталей.

Для управления гидроцилиндрами привода запорных элементов наполнительно-сливных клапанов КНСЦР рабочих гидроцилиндров и напорного КНЦП и сливного КСЦП клапанов подъемных гидроцилиндров используются направляющие гидрораспределители Р2, Р5, Р6 с настраиваемой величиной хода золотника выходного каскада в обе стороны. Для обеспечения пониженной скорости открытия проходного сечения наполнительно-сливного клапана (а точнее, разгрузочного клапана последнего) на начальном этапе после окончания рабочего хода пресса (с целью снижения величины имеющего при этом место повышения давления в наполнительно-сливной гидролинии [6]) применяется дополнительный направляющий гидрораспределитель Р3, используемый как дроссель с двумя уровнями настройки.

Для управления гидроцилиндрами привода ЗРЭ напорных клапанов КНЦР рабочих гидроцилиндров и дросселей ДР используются гидрораспределители Р1, Р4 с пропорциональным электрическим управлением отказобезопасного исполнения серии D680 производства фирмы MOOG. Эти гидрораспределители

имеют в своей конструкции дополнительный направляющий гидрораспределитель с электрическим управлением, посредством которого в аварийных ситуациях полости под торцами золотника выходного каскада изолируются от исполнительных гидролиний управляющего каскада и сообщаются между собой. В указанном случае золотник выходного каскада пропорционального гидрораспределителя, примененного в гидросистеме пресса, под действием пружины занимает установленное крайнее положение.

Благодаря возможности бесступенчатого изменения площади проходного сечения напорных клапанов рабочих гидроцилиндров и регулируемых дросселей от нуля до максимума (посредством соответствующих гидроцилиндров управления), обеспечиваются регулирование скоростей движения краев подвижной траверсы (вдоль осей рабочих и подъемных гидроцилиндров) и, соответственно, скорости поступательного движения траверсы в целом и устранение перекоса траверсы относительно горизонтальной плоскости как во время рабочего хода (с помощью напорных клапанов рабочих гидроцилиндров), так и в процессе холостого хода и при подъеме (с помощью регулируемых дросселей).

Измерение перемещения в вертикальном направлении четырех контрольных точек подвижной траверсы пресса, расположенных попарно симметрично относительно горизонтальных продольной и поперечной осей траверсы, осуществляется с помощью четырех датчиков перемещения.

На этапе проектирования модернизированной электрогидравлической системы управления траверсой пресса НП-130 проведено математическое моделирование работы пресса с этой системой. Моделирование позволило: во-первых, получить (в пределах принятых при моделировании допущений и упрощений) представление о работоспособности проектируемой системы и ее возможности при переменной эксцентричной нагрузке обеспечить движение подвижной траверсы с перекосами относительно горизонтальной плоскости, находящимися в пределах, предусмотренных техническим заданием, а во-вторых, определить стартовое значение вектора коэффициентов обратной связи, что способствовало снижению трудоемкости пуско-наладочных работ [7, 8].

При модернизации ковочного гидравлического пресса № 1-4657.00 усилием 30 МН (изготовитель: Уралмашзавод, г. Екатеринбург), установленного в кузнечно-прессовом цехе ОАО “Корпорация ВСППО-АВИСМА”, было предложено предусмотреть возможность подсоединения уравнивающих гидроцилиндров к возвратным гидроцилиндрам в соответствии с принципиальной схемой, представленной на рис. 5. Для этого гидропривод подвижной траверсы пресса дополнен двумя запорными клапанами (вентильями) ВН1 и ВН2, первый из которых установлен между гидролинией, соединенной с рабочими полостями уравнивающих гидроцилиндров ЦУ1, ЦУ2, и напорной гидролинией пресса, а второй — между той же гидролинией и гидролинией, соединенной с рабочими полостями возвратных гидроцилиндров ЦВ1, ЦВ2. При открытом проходном сечении запорного клапана ВН1 и закрытом проходном сечении клапана ВН2 гидроцилиндры ЦУ1, ЦУ2 используются в качестве уравнивающих, то есть по своему прямому назначению. При закрытом проходном сечении клапана ВН1 и открытом проходном сечении клапана ВН2 гидроцилиндры ЦУ1, ЦУ2 выполняют функции дополнительных возвратных гидроцилиндров. Очевидно, что состояние клапанов ВН1 и ВН2, при котором проходное сечение обоих из них является закрытым, при эксплуатации пресса непустимо.

Для оценки влияния способа подключения уравнивающих гидроцилиндров на характеристики работы указанного пресса с модернизированной гидросистемой управления выполнено математическое моделирование рабочего процесса последнего. Проведенное аналитическое исследование показало, что: а) при наличии в конструкции ковочного пресса уравнивающих гидроцилиндров их использование в качестве дополнительных возвратных целесообразно лишь в случае работы пресса при максимальных силах сопротивления поковки деформации, близких к номинальному усилию пресса на соответствующей ступени; б) при проектировании новых гидравлических ковочных прессов предпочтения (с точки зрения работы пресса) заслуживает конструк-

тивная схема пресса с уравнивающими гидроцилиндрами, которые могут подключаться к возвратным [9].

Главный гидрораспределитель, изготовленный для модернизированной электрогидравлической системы управления ковочного пресса № 1-4657.00 (рис. 6) выполнен с использованием стыкового способа построения, а именно: каждый из клапанов КНВ, КСВ, КНЦ, КСЦ, КНБ, КСБ, КНПЦ, КНПБ имеет индивидуальный корпус, все гидравлические присоединительные отверстия которого выходят на одну присоединительную плоскость, и этой плоскостью с использованием соответствующих крепежных деталей корпус клапана крепится к ответной плоскости общего коллектора, соединенного посредством трубопроводов с насосно-аккумуляторной станцией пресса, баком наполнения и полостями рабочих, подъемных и уравнивающих гидроцилиндров. При этом наполнительные клапаны КНПЦ, КНПБ рабочих гидроцилиндров включены в состав главного гидрораспределителя.

В составе системы управления пресса используются промышленный контроллер Simatic S7-400 (CPU 416-2DP), удаленные станции ET200M и IBM PC-совместимый промышленный компьютер, укомплектованные стандартным и специальным программным обеспечением. Пресс может работать в наладочном режиме, режимах ручного, полуавтоматического и автоматического управления [10].

При модернизации электрогидравлических систем управления вертикального штамповочного пресса двойного действия П4654 усилием 40/65 МН (изготовитель: Уралмашзавод, г. Екатеринбург) в ОАО «УралХимМаш» (г. Екатеринбург) и горизонтального профильного пресса П8148 усилием 63 МН (изготовитель: Коломенский завод тяжелого станкостроения, г. Коломна) в кузнечно-прессовом цехе ОАО «Металлургический завод «Электросталь»» (г. Электросталь) применены запорно-регулирующие клапаны, в конструкции которых у ЗРЭ отсутствует шток со стороны седла (рис. 7). Эти клапаны при фиксированном максимальном значении площади проходного сечения и высокой надежности герметичного закрытия проходного сечения в нештатных ситуациях обла-

дают пониженными габаритными размерами и повышенными технологичностью и межремонтным сроком службы. Внешний вид гидрораспределителя с такими клапанами показан на рис. 8. Управление каждым клапаном осуществляется посредством гидроцилиндра, работающего на масле и входящего в состав клапана. Для управления клапанами прессы укомплектованы соответствующими насосными установками (рис. 9).

Опыт эксплуатации вышеперечисленных прессов с модернизированными электрогидравлическими системами управления показал правильность принятых конструктивных решений, надежность примененных алгоритмов управления и их программной реализации и может быть полезен при выполнении подобных работ в дальнейшем.

### **Литература**

1. Бодров В.В., Батурин А.А. Опыт модернизации ковочного комплекса с прессом 2000 тонн на ОАО «Буммаш», г. Ижевск // Кузнечно-штамповочное производство: перспективы и развитие (Материалы 1-ой Российской конференции по кузнечно-штамповочному производству “Кузнецы Урала — 2005). — Екатеринбург: ГОУ ВПО “УГТУ–УПИ”, 2005. — С. 540-544.

2. Бодров В.В., Багаутдинов Р.М., Батурин А.А., Досин А.А., Гойдо М.Е. Ковка-Автомат. — Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2002610934. — 2002.

3. Гидравлическое и пневматическое оборудование. Системы контроля и автоматизации. Проектирование и производство. Диагностика и испытания. Сервис. Обучение: Каталог оборудования. — Челябинск: Учебно-инжиниринговый центр, 2006. — 140 с.

4. Гойдо М.Е., Бодров В.В., Багаутдинов Р.М. Запорно-регулирующие клапаны гидроприводов прессов // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. — 2007. — № 3. — С. 26-32.

5. Гойдо М.Е., Бодров В.В., Багаутдинов Р.М. К вопросу проектирования запорно-регулирующих клапанов гидроприводов прессов // Приводная техника. — 2007. — № 2. — С. 26-31.

6. Гойдо М.Е., Бодров В.В., Багаутдинов Р.М., М.А. Алексеев Снижение колебаний давления в наполнительно-сливном трубопроводе гидросистемы ковочного пресса // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. — 2005. — № 4. — С. 30-36.

7. Гойдо М.Е., Бодров В.В., Багаутдинов Р.М. Выбор значений коэффициентов обратной связи электрогидравлической системы управления подвижной траверсой штамповочного пресса на этапе проектирования // Заготовительные производства в машиностроении. — 2008. — № 3. — С. 22-30.

8. Бодров В.В., Багаутдинов Р.М., Гойдо М.Е., Носенко А.А., Анодин А.М., Досин А.А. Управление гидравлическим штамповочным прессом с обеспечением перемещения подвижной траверсы без перекосов. — Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2008615625. — 2008.

9. Гойдо М.Е., Бодров В.В., Багаутдинов Р.М. Влияние уравнивающих гидроцилиндров на работу гидравлического ковочного пресса // Заготовительные производства в машиностроении. — 2008. — № 12. — С. 27-31.

10. Гойдо М.Е., Бодров В.В., Багаутдинов Р.М., Серебряков П.Б. Управление подвижной траверсой ковочного пресса в автоматическом режиме работы // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. — 2012. — № 6. — С. 14-19.

### Подрисуночные надписи

к статье **Бодрова В.В., Багаутдинова Р.М., Батурина А.А, Гойдо М.Е.**  
**“Опыт модернизации гидроприводов и систем управления прессов”**

Рис. 1. Вид пульта управления ковочного комплекса на базе пресса ПА 1343 в кузнечно-прессовом цехе ОАО “Буммаш”

Рис. 2. Фрагмент принципиальной гидравлической схемы модернизированной электрогидравлической системы управления пресса НП-130

Рис. 3. Конструктивная схема запорно-регулирующего клапана модернизированной электрогидравлической системы управления пресса НП-130 (патент на изобретение RU № 2334906)

Рис. 4. Комплект запорно-регулирующих элементов для напорных клапанов гидрораспределителей рабочих гидроцилиндров пресса НП-130

Рис. 5. Фрагмент принципиальной гидравлической схемы модернизированной электрогидравлической системы управления пресса № 1-4657.00

Рис. 6. Главный гидрораспределитель для модернизированной электрогидравлической системы управления пресса № 1-4657.00 на участке отгрузки готовой продукции ООО “УрИЦ”

Рис. 7. Конструктивная схема запорно-регулирующего клапана с улучшенными эксплуатационными характеристиками (патент на полезную модель RU № 96924)

Рис. 8. Главный гидрораспределитель для модернизированной электрогидравлической системы управления пресса П8148 на участке испытаний готовой продукции ООО “УрИЦ”

Рис. 9. Насосная установка системы управления на участке испытаний готовой продукции ООО “УрИЦ”

## Рисунки

к статье Бодрова В.В., Багаутдинова Р.М., Батурина А.А, Гойдо М.Е.  
“Опыт модернизации гидроприводов и систем управления прессов”



Рис. 1. Вид пульта управления ковочного комплекса на базе пресса ПА 1343  
в кузнечно-прессовом цехе ОАО “Буммаш”

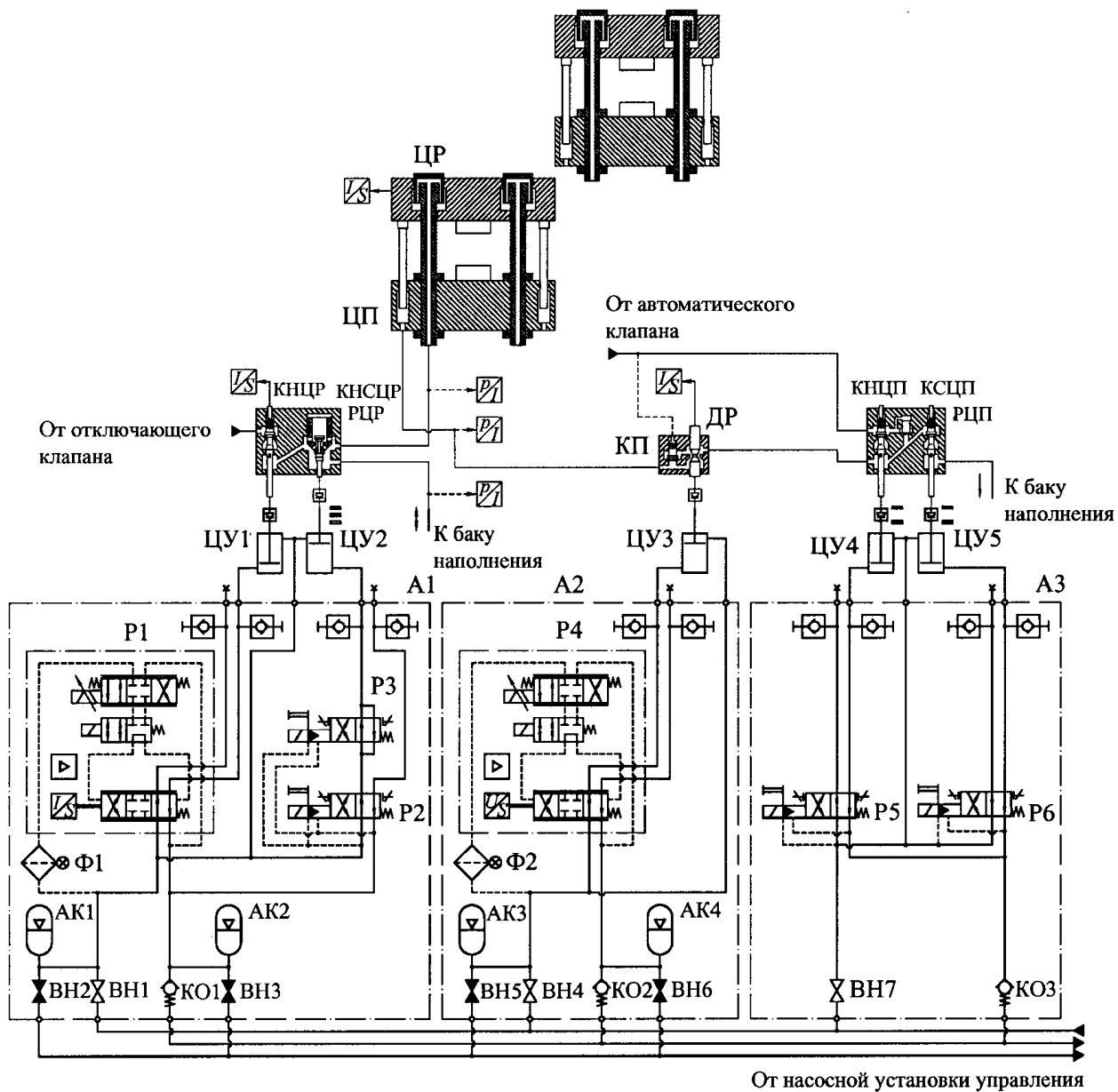


Рис. 2. Фрагмент принципиальной гидравлической схемы модернизированной электрогидравлической системы управления пресса НП-130

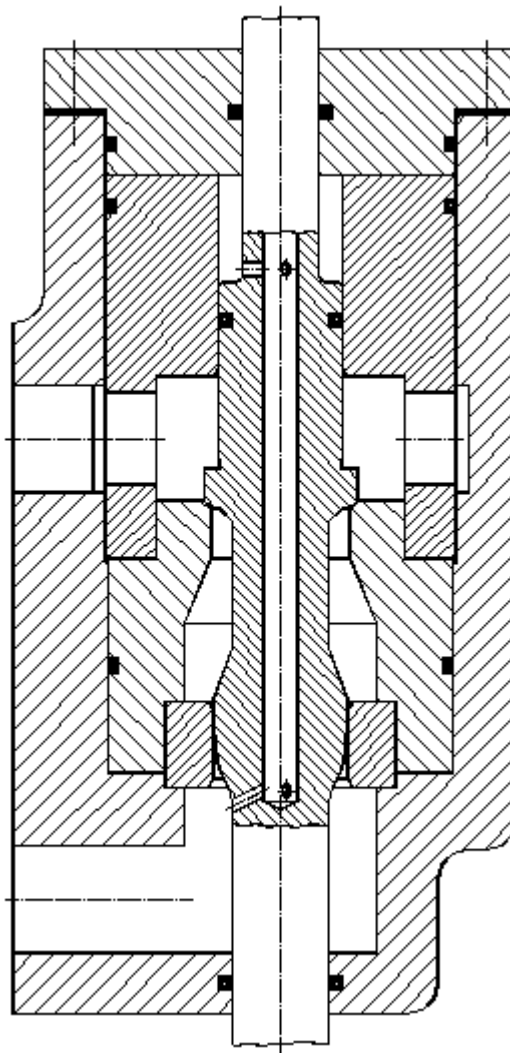


Рис. 3. Конструктивная схема запорно-регулирующего клапана модернизированной электрогидравлической системы управления пресса НП-130 (патент на изобретение RU № 2334906)



Рис. 4. Комплект запорно-регулирующих элементов для напорных клапанов гидрораспределителей рабочих гидроцилиндров пресса НП-130

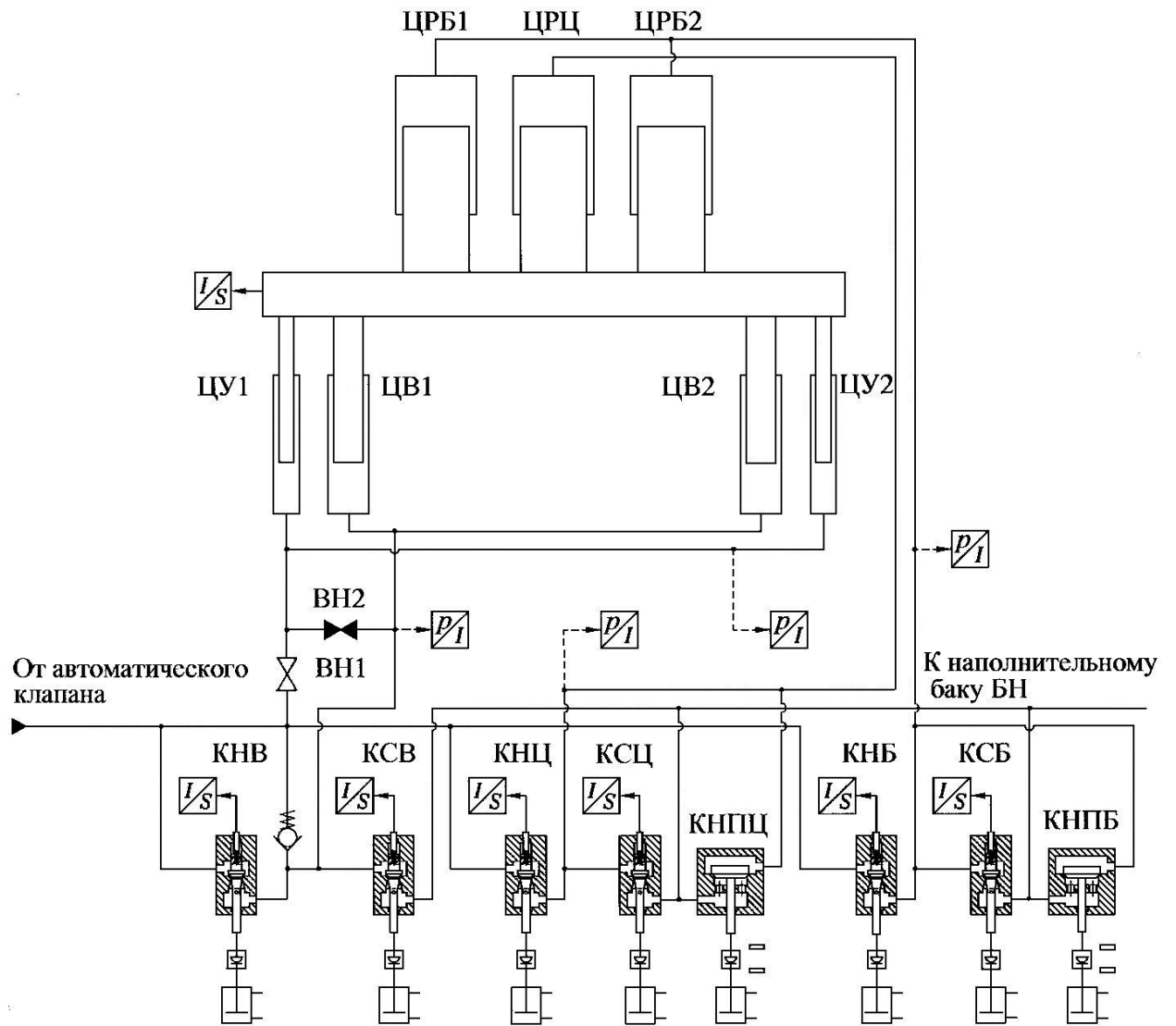


Рис. 5. Фрагмент принципиальной гидравлической схемы модернизированной электрогидравлической системы управления прессы № 1-4657.00



Рис. 6. Главный гидрораспределитель для модернизированной электрогидравлической системы управления прессы № 1-4657.00 на участке отгрузки готовой продукции ООО “УриЦ”

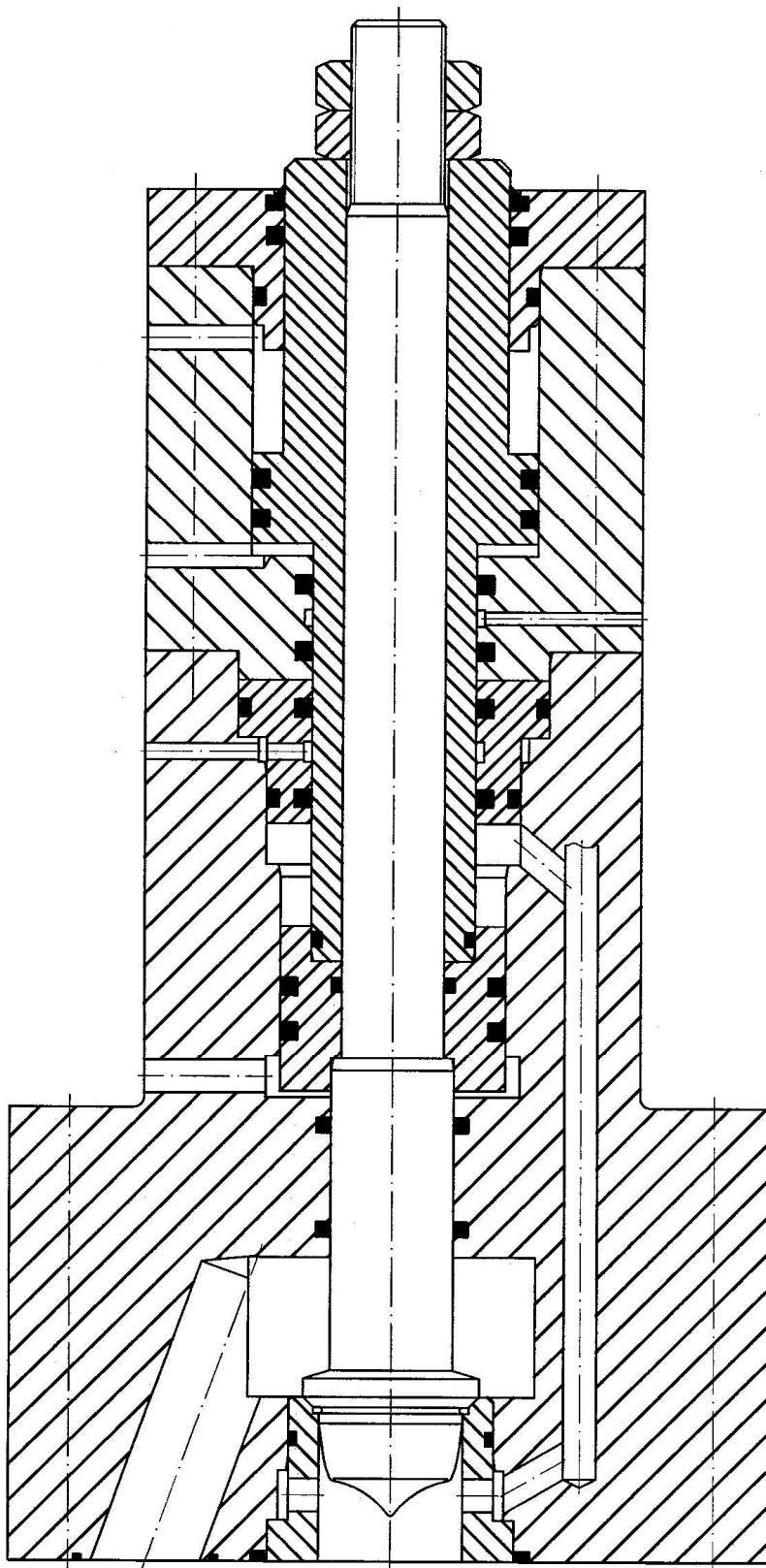


Рис. 7. Конструктивная схема запорно-регулирующего клапана с улучшенными эксплуатационными характеристиками (патент на полезную модель RU

№ 96924)



Рис. 8. Главный гидрораспределитель для модернизированной электрогидравлической системы управления прессы П8148 на участке испытаний готовой продукции ООО «УриЦ»

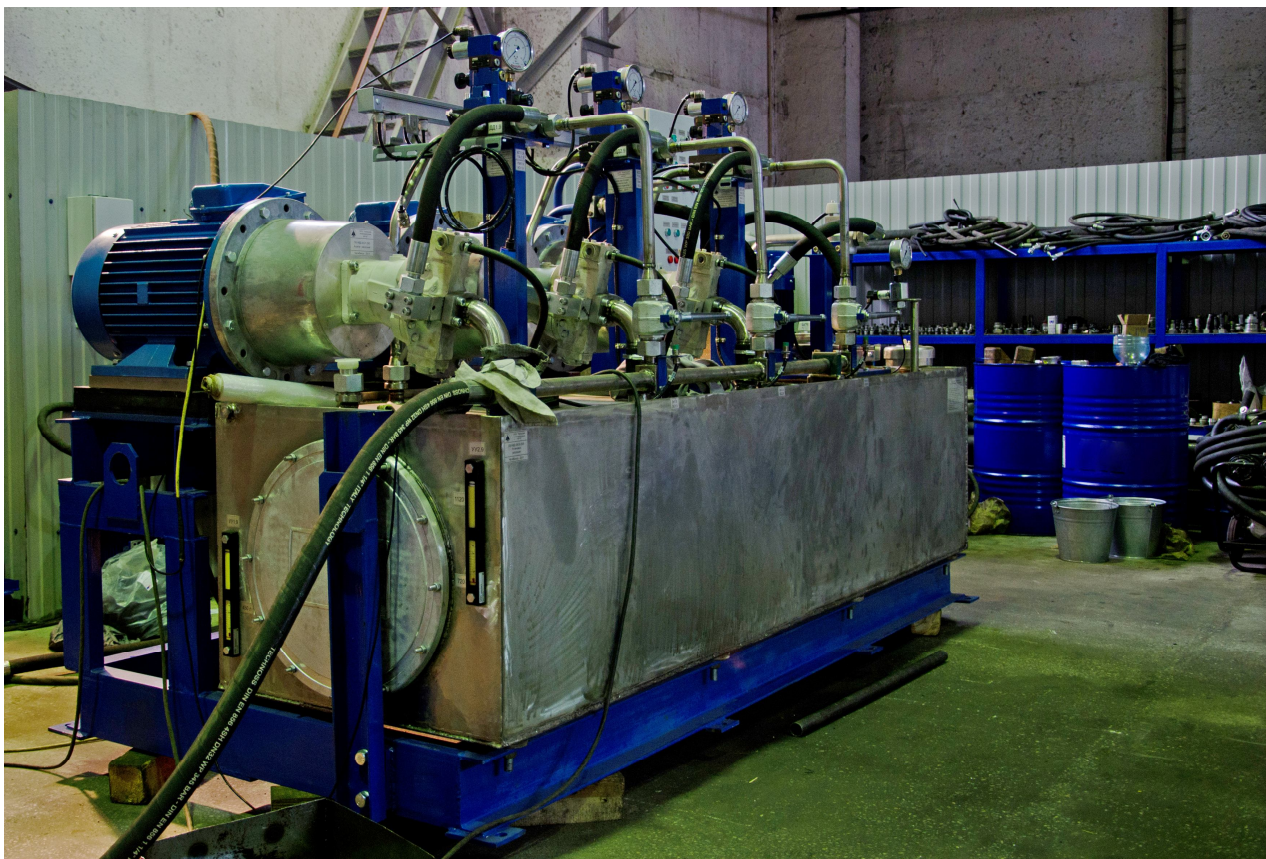


Рис. 9. Насосная установка системы управления на участке испытаний готовой продукции ООО “УриЦ”