

Анализ технического уровня гидроустройств для мобильных подъемников с рабочими платформами

Analysis of technical level of hydraulic units for mobile elevating work platforms

*Г. А. Аврунин, канд. техн. наук, И. Г. Кириченко, д-р техн. наук,
А. В. Ярышко, канд. техн. наук, С. А. Литвин*

Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, Харьков, Украина

Цель. Изучение применения объемного гидропривода, в частности, номенклатуры, особенностей и технического уровня гидроустройств в мобильных подъемниках с рабочими платформами, которые находят широкое применение в промышленности.

Метод исследований. Дан анализ гидравлических принципиальных схем насосных установок и приводов возвратно-поступательного и вращательного движения передвижения и рабочих органов мобильных подъемников LEGUAN (Финляндия) и JLG Lift An Oshkosh Corporation Company (США).

Результаты исследований. Для мобильных телескопических подъемников JLG Lift построены зависимости изменения мощности приводящего дизеля, скорости передвижения и массы платформы, а также объема гидробака от высоты подъема рабочей платформы от 10 до 60 м. Показана тенденция повышения безопасности работы объемных гидроприводов путем применения современных гидрораспределителей, гидрозамков, тормозных клапанов и средств электрогидроавтоматики.

Выводы. Установлено, что в объемных гидроприводах мобильных подъемников с рабочими платформами нашли применение гидроустройства широкой номенклатуры применения, в том числе производителей ведущих мировых фирм, характеризующиеся высоким уровнем давлений, повышенной герметичностью и широким применением средств электрогидроавтоматики для решения задач безопасности эксплуатации, автоматизации управления и энергосбережения. С целью качественной подготовки специалистов в области создания и технического обслуживания гидроприводов мобильных подъемников следует ввести в специализированные дисциплины по объемному гидроприводу разделы, посвященные изучению в вузах современной номенклатуры гидроустройств передовых зарубежных производителей.

Ключевые слова: мобильные подъемники с рабочими платформами, объемный гидропривод, гидроустройство, гидравлическая принципиальная схема.

Введение

Мобильные подъемники с рабочими платформами — *mobile elevating work platform (MEWP)* согласно терминологии ISO 16368:2010, нашли широкое применение при выполнении работ в строительстве, технологическом обслуживании зданий, сооружений и дорог, при ликвидации аварий в высотных домах и др. Рост высотности зданий и появление ветроэнергетических установок привели к созданию подъемников с высотой подъема рабочей платформы до 112 м и грузоподъемностью до 700 кг. Предварительный анализ показал, что объемный гидропривод повсеместно используется для приводов основного технологического оборудования подъемников рабочих платформ, а также для привода хода самоходных шасси и обеспечивает безопасность персонала, находящегося на рабочей платформе. Поэтому сокращенно называем автогидроподъемники для мобильных подъемников с рабочими платформами, оснащенными гидроприводами, словосочетанием «автогидроподъемник».

Постановка проблемы

Проведенный обзор гидравлических принципиальных схем и номенклатуры гидроустройств позволил не только систематизировать полученную информацию, но и остановиться на рассмотрении наиболее важных аспектов их применения в автогидроподъемниках. Практически полное отсутствие учебной и специальной литературы по объемный гидропривод для автогидроподъемника является основанием для написания статьи в качестве первой попытки по ликвидации этого пробела. Объектом изучения стали объемные гидроприводы мобильных подъемников с рабочими платформами отечественного производства и ведущих мировых фирм, в том числе представленных дилерской сетью в Украине.

Целью статьи является изучение применения объемного гидропривода, в частности, номенклатуры, особенностей и технического уровня гидроустройств в мобильных подъемниках с рабочими платформами.

Основная часть

Большинство выпускаемых в мире автогидроподъемников имеет максимальную высоту подъема рабочей платформы от 10 до 40 м при полезной массе поднимаемого груза порядка 200 кг. Рекордными показателями отличаются автогидроподъемник компании *Bronto Skylift* (Финляндия) с полезной массой на рабочей платформе до 700 кг и максимальной высотой подъема 112 м.

Высокий уровень информационной поддержки, включая гидравлические принципиальные схемы и конструкции отдельных узлов, стали основанием для первоочередного анализа гидроустройств, применяемых отечественными производителями, а также фирмами *Leguan* (Финляндия) и *JLG Lift* (США) в автогидроподъемниках с высотой подъема рабочей платформы от 10 до 60 м [1—6].

Для прицепных, самоходных и агрегатированных на автомобильном шасси автогидроподъемников удалось систематизировать номенклатуру применяемых гидроустройств в следующем виде.

Количество гидрофицированных приводов рабочих органов прицепных автогидроподъемников составляет не менее 3-х и более 10-и в автогидроподъемниках на самоходных шасси.

Номенклатура основных гидроустройств. Насосы:

- шестеренные с наружным зацеплением, с рабочим объемом от 4 до 32 см³ и сдвоенные тандем-насосы на рабочее давление 10—16 и 20 МПа,

- аксиальнопоршневые насосы с регулируемым рабочим объемом, в том числе для обслуживания технологического оборудования с автоматическим регулятором «подача—давление» (рабочий объем до 50 см³ на максимальное давление 28 МПа),

- Насосы объемного гидропривода хода для автогидроподъемников, включающие тандем-насосы (рабочий объем 2х45 см³ на давление до 35 МПа) со следящим пропорциональным электрогидравлическим регулятором изменения рабочего объема,

- насосы, используемые в качестве резервных — шестеренные с рабочим объемом 2—32 см³ и поршневые с ручным приводом.

Гидромоторы и поворотные гидродвигатели:

- аксиальнопоршневые гидромоторы для привода вращения платформы и хода автогидроподъемников с рабочим объемом от 30 до 45 см³, в том числе с регулируемым рабочим объемом и встроенными тормозами нормально-замкнутого типа [7],

- героторные гидромоторы с рабочим объемом от 50 до 523 см³ для приводов вращения платформы и хода автогидроподъемника,

- радиальнопоршневые гидромоторы многократного действия с рабочим объемом 500 см³ для привода хода автогидроподъемников,

- поворотные гидродвигатели на рукояти для поворота рабочей платформы — с рабочим объемом 230 см³ на давление до 23 МПа.

Гидроцилиндры:

- поршневые с односторонним штоком диаметром поршня от 50 до 200 мм и ходом от 250 до 2150 мм,

- телескопические с ходом от 1700 до 8500 мм.

Установочная мощность приводящих двигателей находится в диапазоне от 2,2 кВт для электродвигателей и до 55—75 кВт для ДВС.

Объем гидробаков составляет от 4 до 390 дм³. Для объемного гидропривода автогидроподъемника устанавливают тонкость фильтрации рабочей жидкости на уровне 25 мкм при рабочем давлении до 16 МПа и 10 мкм при повышенных давлениях и использовании аксиальнопоршневых гидромашин и радиальнопоршневых гидромоторов.

В номенклатуру гидроаппаратов входят: гидрораспределители стыкового, ввертного монтажа и секционного типа, в том числе с пропорциональным электрическим управлением, клапаны обратные и обратные управляемые (гидрозамки), предохранительные и тормозные клапаны, регуляторы потока с пропорциональным электрическим управлением, клапаны давления типа «или».

Нашли широкое применение устройства электрогидроавтоматики для обеспечения безопасности работы автогидроподъемников путем блокировки операций, нарушающих заданный алгоритм их работы. Для соединения гидроустройств применяют металлические трубопроводы и рукава высокого давления.

Контроль параметров объемного гидропривода автогидроподъемника осуществляется с помощью манометров и преобразователей давления и температуры с электрическим выходным сигналом.

Рассмотрим объемный гидропривод машин фирмы *JLG Lift An Oshkosh Corporation Company* (США), в состав продукции которой входят 28 моделей самоходных автогидроподъемников с дизельным приводом и 30 моделей с электроприводом хода. В производственную программу фирмы входит также автогидроподъемник с гибридным приводом модели H340 AJ (*Hybrid articulating boom lifts*) с дизелем мощностью 8,3 кВт и электродвигателем напряжением 48 В постоянного тока в качестве привода вращения насоса объемного гидропривода.

Самоходные автогидроподъемники модели *JLG Lift* отличаются высоким уровнем гидрофикации и использованием гидроустройств ведущих мировых производителей. Высота подъема рабочей платформы достигает 60 м, полезная грузоподъемность до 230 кг (при втянутой рукояти платформы до 450 кг), мощность дизельных двигателей 36—75 кВт, скорость передвижения до 7,2 км/ч, масса от 18,5 до 27 т автогидроподъемник может комплектоваться автономным генератором мощностью 7 кВт. Емкость бака гидросистем составляет 106—390 дм³. Максимальное давление в объемном гидроприводе достигает 35 МПа.

Автогидроподъемник может быть оборудован системами безопасной работы:

- мягкого касания рабочей платформы (*Soft Touch*),
- опускания нижней стрелы, реверсирования движения, вращения нижней стрелы, втягивания ее звеньев и остановки (*SkyGuard*),
- обеими системами *Soft Touch* и *SkyGuard*.

В состав продукции *JLG Lift* входят также автогидроподъемники со стрелой пантографного типа с высотой подъема рабочей платформы от 8 до 14 м и мачтовые от 8 до 13 м. В программе производства электрической серии имеются так называемые «персональные» автогидроподъемники с высотой подъема до 6 м, объем гидробака которых равен 4 или 6 дм³. Ряд подъемников комплектуются двигателями *Kubota 0C60Air-cooled* мощностью 5 кВт для привода генератора.

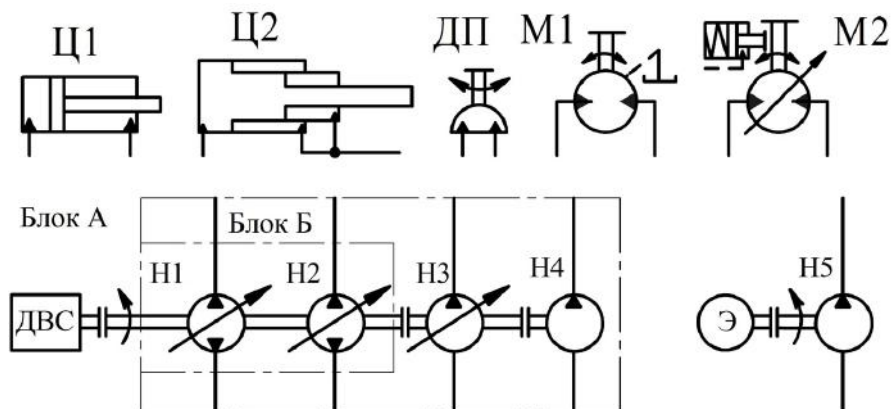


Рисунок 1 — Насосы и гидродвигатели объемных гидроприводов автогидроподъемников *JLG Lift*

На рисунке 1 показаны применяемые гидромашины в объемных гидроприводах *JLG Lift*, обеспечивающие ход автогидроподъемника, выдвигание выносных опор и функционирование технологического оборудования — подъем, вертикальное и азимутальное перемещение рабочей платформы: гидроцилиндры Ц, поворотные двигачи ДП и гидромоторы М) и насосы объемных гидроприводов, объединенные в две группы: моноблок насосов с приводящим ДВС (блок А), включающий блок Б — насосы Н1 и Н2 аксиальнопоршневого типа со следящим регулятором изменения рабочего объема для колесного привода передвижения автогидроподъемника, аксиальнопоршневой насос Н3 с автоматическим регулятором рабочего объема «подача-давление» и Н4 — шестеренный насос систем подпитки, регулирования рабочего объема насосов Н1 и Н2, и охлаждения рабочей жидкости, Н5 — вспомогательный (резервный) насос с приводом от электродвигателя Э. При использовании встроенных насосов подпитки насос Н4 в блок А не устанавливается.

На рисунке 2 представлены характеристики самоходных дизельных АГП в составе 14 типоразмеров с высотой подъема рабочей платформы Н от 14 до 59 м, скоростью передвижения от 2,6 до 7,2 км/ч, мощностью дизеля от 36,4 до 74,4 кВт, массой от 6,6 до 27 т и объемом бака объемного гидропривода от 136 до 284 дм³. Полезная грузоподъемность рабочей платформы составляет преимущественно 230 кг, и только для двух моделей с высотой подъема 14 и 16 м достигает 270 кг. Все подъемники снабжены вспомогательным электродвигателем напряжением 12 В постоянного тока. Анализ технических характеристик позволил установить следующие закономерности — увеличение высоты подъема рабочей платформы, как правило, сопровождается увеличением массы машины и установочной мощности дизеля, однако этот прирост мощности недостаточен и максимальная скорость снижается с 7,2 до 4,5 км/ч. Наблюдается также увеличение объема гидробака, что является косвенным показателем увеличения подачи насоса, и это повышение

объема является вполне естественным для обеспечения быстродействия работы гидроцилиндров при увеличении типоразмера автогидроподъемника. Для ориентировочной оценки установочной гидравлической мощности объемного гидропривода воспользуемся обычно применяемым соотношением для расчета объема гидробака

$$V_6 \approx a \cdot Q_{HT}, \text{ дм}^3, \quad (1)$$

где Q_{HT} — теоретическое значение подачи насоса, л/мин, a — коэффициент учета вида цепи циркуляции рабочей жидкости в объемных гидроприводах — замкнутой или разомкнутой.

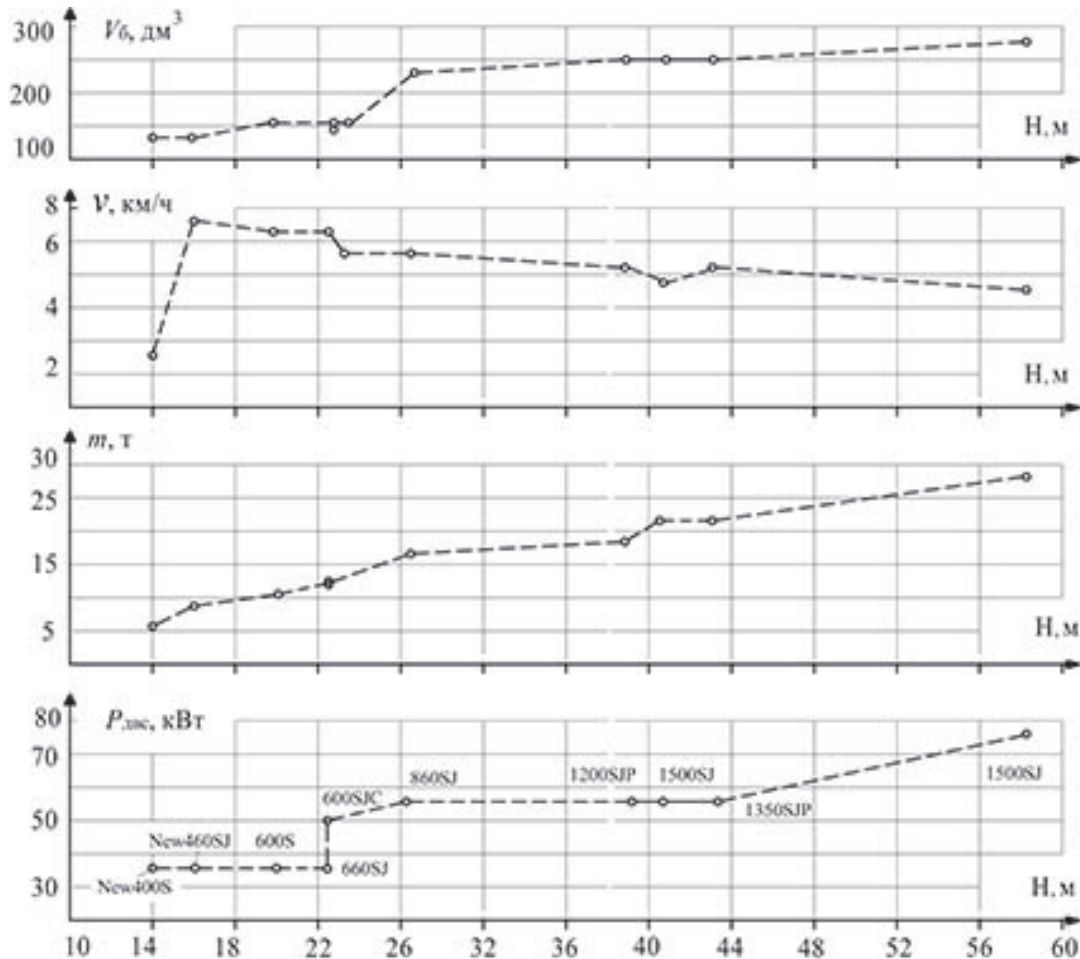


Рисунок 2 — Зависимости мощности дизеля, массы, скорости и объема бака объемных гидроприводов от высоты подъема платформы телескопических автогидроподъемников JLG Lift

Тогда потребляемая мощность объемного гидропривода может быть представлена в виде

$$P_{\text{потр}} = \frac{p_H \cdot Q_{HT}}{60 \cdot \eta_{HTM}} \approx \frac{p_H \cdot V_6}{a \cdot 60 \cdot \eta_{HTM}}, \text{ кВт}, \quad (2)$$

где p_H — рабочее давление нагнетания насоса, т.е. развиваемое при эксплуатации конкретного объемного гидропривода, МПа, η_{HTM} — гидромеханический КПД насоса, определяемый как частное от деления общего КПД на коэффициент подачи.

В качестве давления принимают максимальное значение, например настройки предохранительных клапанов, и получают максимальную потребляемую мощность, используемую для выбора мощности приводящего двигателя, если принимают максимальное значение по каталогу производителя, то получают значение так называемой «угловой» мощности [8] равной произведению максимальных значений давления и подачи в технической характеристике насоса.

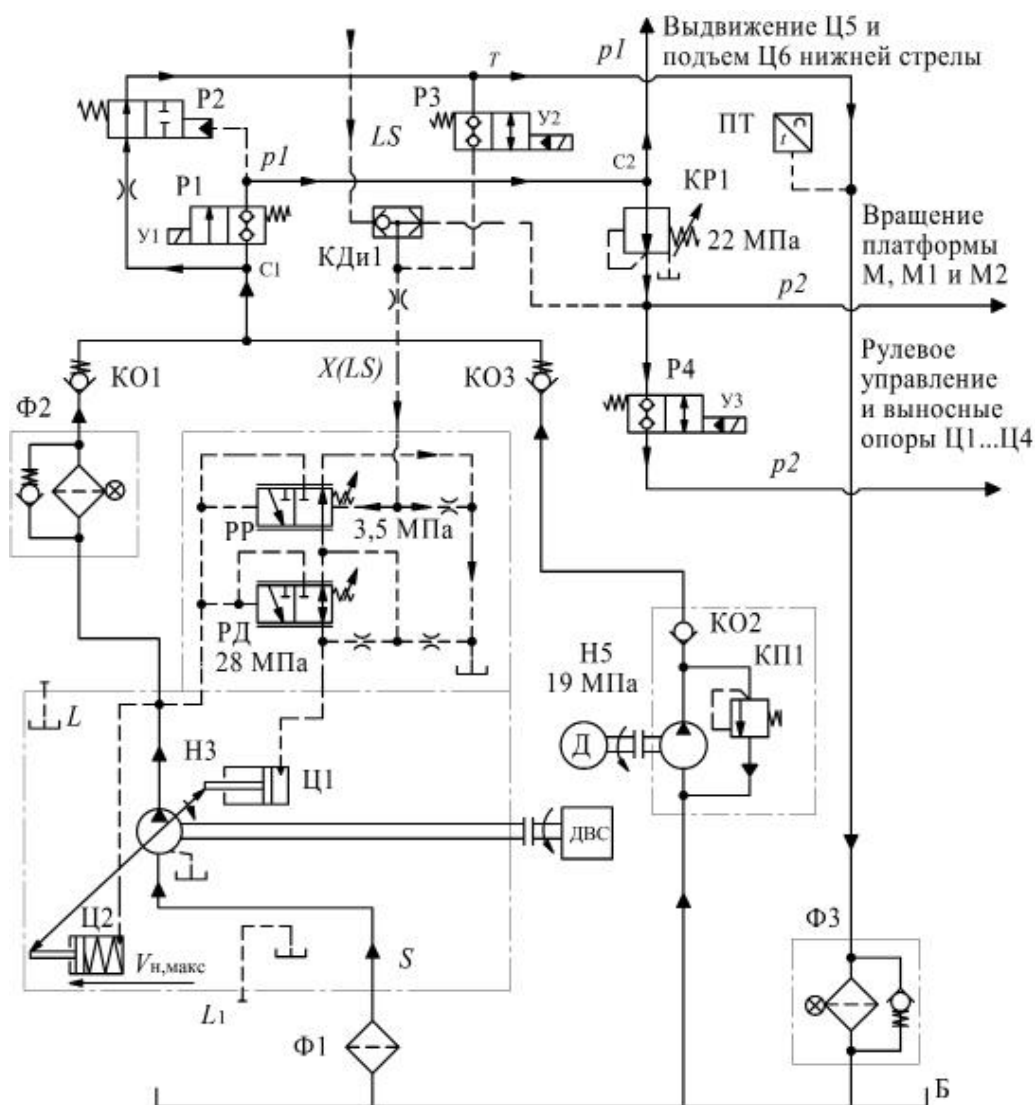


Рисунок 3 — Насосная установка технологического оборудования автогидроподъемника JLG Lift

На рисунке 3 показана гидравлическая принципиальная схема насосной установки объемного гидропривода.

Насос Н3 аксиальнопоршневого типа с автоматическим регулятором рабочего объема «подача-давление» всасывает рабочую жидкость из бака Б через фильтр Ф1 и нагнетает через фильтр высокого давления Ф2 и обратный клапан КО1. Приводящим двигателем насоса Н1 является основной двигатель ДВС (дизель) автогидроподъемника. Максимальное давление, развиваемое насосом, составляет 28 МПа и определяется настройкой регулятора давления РД. Давление питания регулятора расхода (подачи) РР составляет 3,5 МПа.

Резервный насос Н5 шестеренного типа нагнетает рабочую жидкость через обратные клапаны КО2 (встроен в насос) и КО3 в общую магистраль (точка С1) с максимальным давлением не более 19 МПа (обеспечивается встроенным предохранительным клапаном КП1). Приводящим двигателем насоса Н2 является электродвигатель Д вспомогательной силовой установки объемного гидропривода (система *auxiliary power unit*).

В точке С1 поток рабочей жидкости поступает к гидрораспределителю Р1 с электромагнитным управлением и Р2 с гидравлическим управлением (через дроссель). При отсутствии электропитания на магните У1 гидрораспределителя Р1 подача рабочей жидкости насоса Н3 или Н5 поступает к гидрораспределителю Р2 и далее на слив в гидробак Б через фильтр Ф3. Таким образом, при пуске приводящего двигателя все насосы объемного гидропривода разгружены от давления.

Гидравлическая принципиальная схема объемного гидропривода выдвигания выносных опор и рулевого управления представлена на рисунке 4.

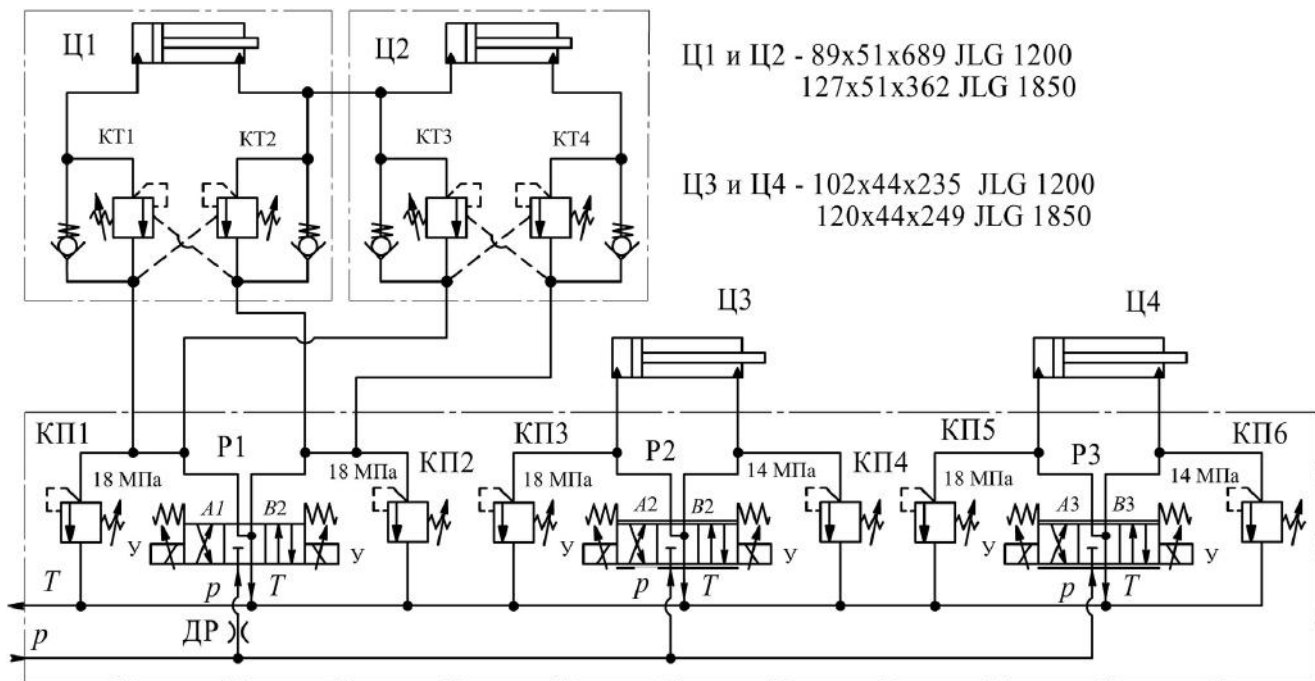


Рисунок 4 — Гидравлическая принципиальная схема объемного гидропривода выносных опор и рулевого управления колесами JLG Lift

Для выдвигания опор (гидроцилиндры Ц1 и Ц2 с параллельным подключением) применяется гидрораспределитель P1 с электромагнитным дискретным управлением, для рулевого управления (гидроцилиндры Ц3 и Ц4) гидрораспределители P2 и P3 с электромагнитным пропорциональным управлением. Для гидроцилиндров Ц1 и Ц2 плавное перемещение в случае появления попутной нагрузки обеспечивается тормозными клапанами КТ1—КТ4. Для предотвращения от повышенных давлениях со стороны рабочих органов (колес) предусмотрена установка так называемых «вторичных» предохранительных клапанов КП3—КП6 в линиях и гидроцилиндров, причем с различными значениями настройки — не более 18 МПа для бесштоковых (поршневых) полостей и 14 МПа для штоковых. Для ограничения расхода рабочей жидкости, поступающего к гидроцилиндрам Ц1 и Ц2 выносных опор, установлен дроссель ДР.

На рисунке 5 показаны гидравлические принципиальные схемы объемных гидроприводов вращения нижней стрелы автогидроподъемника JLG Lift. Общими гидроустройствами в этих схемах являются гидрораспределители P — трехпозиционные, четырехлинейные, с электромагнитным пропорциональным управлением, с объединением полостей и в нейтральном положении золотника, с ручным дублированием перемещения золотника, тормозные клапаны КТ1 и КТ2, клапаны давления КДи1 типа «или» системы растормаживания нормально-замкнутых (с помощью пружин) тормозов гидроцилиндров Цт, Цт1 и Цт2. При использовании одного гидромотора М (рисунок 5, а) клапан давления КДи2 типа «или» сообщает линии и с предохранительным клапаном КП, который имеет настройку давления на 10 МПа. Блок обратных клапанов КО1 и КО2 выполняет функции антикавитационных для сообщения с гидробаком при падении давления ниже 0,1 МПа и создает противодействие порядка 0,035 МПа для повышения равномерности работы привода. При применении двух гидромоторов М1 и М2 в автогидроподъемниках JLG Lift 1850 (рисунок 5, б) для регулирования подачи рабочей жидкости на входе в гидрораспределитель P и, соответственно, частоты вращения гидромоторов, установлен регулятор потока РП с пропорциональным электромагнитным управлением, обеспечивающий стабильное значение настроенного расхода вне зависимости от значения внешней нагрузки (крутящего момента и давления в линиях нагнетания гидромоторов М1 и М2). Регулятор РП включает два гидроаппарата — регулируемый пропорциональный дроссель ДР1 и гидроклапан давления КД, обеспечивающий на дросселе ДР1 постоянный перепад давлений. Особенностью объемного гидропривода является также введение в линию управления тормозами Цт1 и Цт2 гидромоторов дросселя ДР2 в комбинации с обратным клапаном. При растормаживании привода расход рабочей жидкости под давлением управления поступает к гидроцилиндрам Цт1 и Цт2 через обратный клапан, т.е. практически без сопротивления, способствуя сокращению времени растормаживания. При остановке привода рабочей жидкости из гидроцилиндров Цт1 и Цт2 под действием возвратных пружин вытесняется через дроссель ДР2 с регламентированным сопротивлением, замедляя процесс торможения, что способствует плавности работы механизма вращения нижней стрелы.

В качестве гидромоторов применяют героторные с внутренними роликами (геролерного типа) гидромашины. Например, в JLG Lift 1200 установлен гидромотор с рабочим объемом 100 см³.

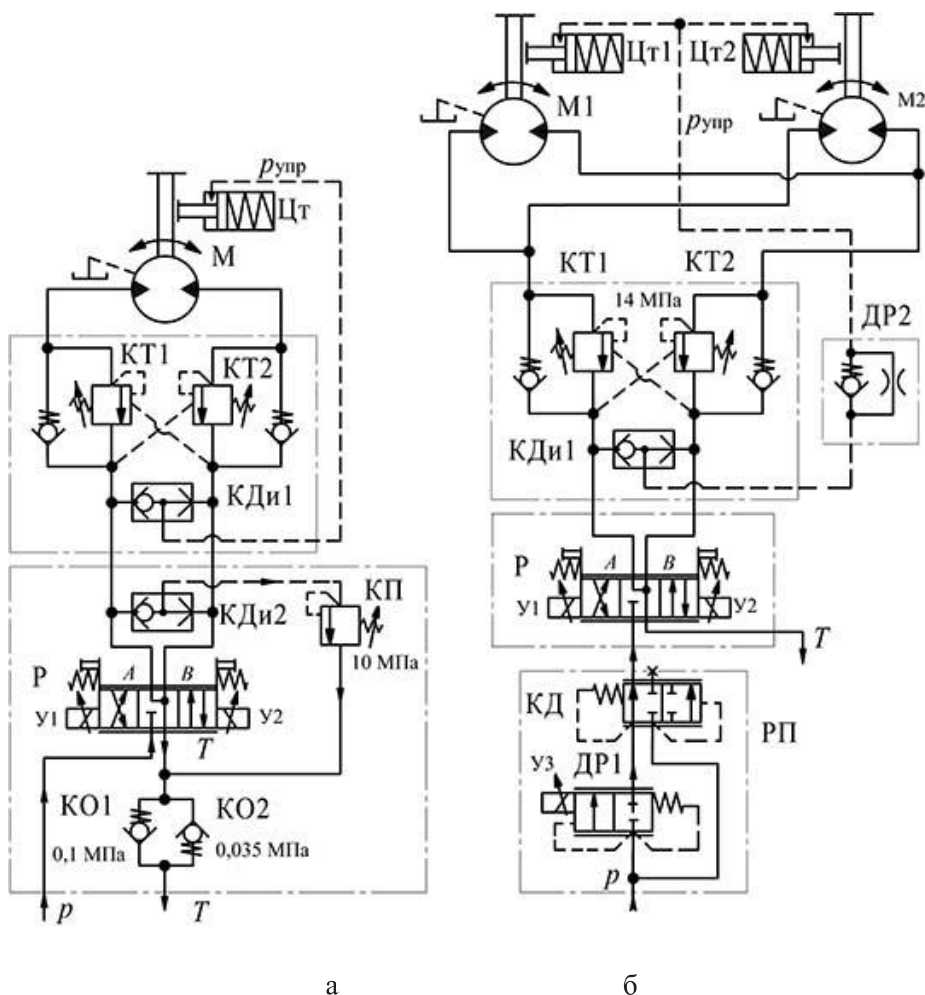


Рисунок 5 — Гидравлические принципиальные схемы объемного гидропривода вращения нижней стрелы автогидроподъемника JLG Lift: а — модели 1200, б — модели 1850

На рисунке 6 представлены гидравлические принципиальные схемы объемного гидропривода поворота рабочей платформы с помощью поворотных двигателей ДП1 и ДП2. Отличие схем в различной настройке дросселей ДР1 и ДР2, ограничивающих расход рабочей жидкости к поворотным гидродвигателям и системах безопасности. Например, на схеме согласно рисунку 6,а дополнительно установлены вторичные предохранительные клапаны КП1 и КП2 с различной настройкой давлений.

Рабочий объем поворотных двигателей достигает 230 см^3 , давление до 21—23 МПа.

На рисунке 7 приведена гидравлическая принципиальная схема аксиальнопоршневого насоса серии Н1 фирмы Sauer Danfoss [9] с пропорциональным бесступенчатым электрогидравлическим регулятором рабочего объема. Насосы данного типа предназначены для работы в замкнутой цепи циркуляции рабочей жидкости и являются последней разработкой фирмы, предшественниками которой были серия 20 (в бывшем СССР на эту серию была закуплена лицензия) и 90. В серию Н1 входят насосы с рабочим объемом от 45 до 165 см^3 на максимальное давление до 48 МПа.

В блок насоса А входят основной аксиальнопоршневой насос Н1 с наклонным диском, система регулирования рабочего объема с двумя электропропорциональными гидрораспределителями Р1 и Р2, гидроцилиндр Ц изменения угла наклона диска ведения поршней, насос подпитки Н2, обеспечивающий подачу рабочей жидкости в систему регулирования рабочего объема основного насоса и защиту объемного гидропривода от кавитации, предохранительный клапан КП3 системы подпитки и управления, и основные предохранительные КП1 и КП2 и антикавитационные (подпиточные) обратные клапаны КО1 и КО2. Насос подпитки может поставляться в одном корпусе с основным насосом или отдельно в зависимости от типа гидравлической схемы объемного гидропривода.

Для надежной эксплуатации объемного гидропривода предусмотрены всасывающий Ф1, нагнетательный (напорный) фильтр Ф2 в системе подпитки насоса Н2 и фильтр Ф3 в линии подачи рабочей жидкости к гидрораспределителям

P1 и P2 регулювання робочого об'єму основного насоса Н1. Тонкість очистки фільтрів повинна быть не грубее 10 мкм. Охлаждение рабочей жидкости обеспечивается масловоздушным охладителем АТ, в состав которого входит приводящий электродвигатель Д вентилятора и обратный клапан КОЗ для защиты трубной системы охладителя от разрыва при работе на высокой вязкости рабочей жидкости при «холодном» пуске.

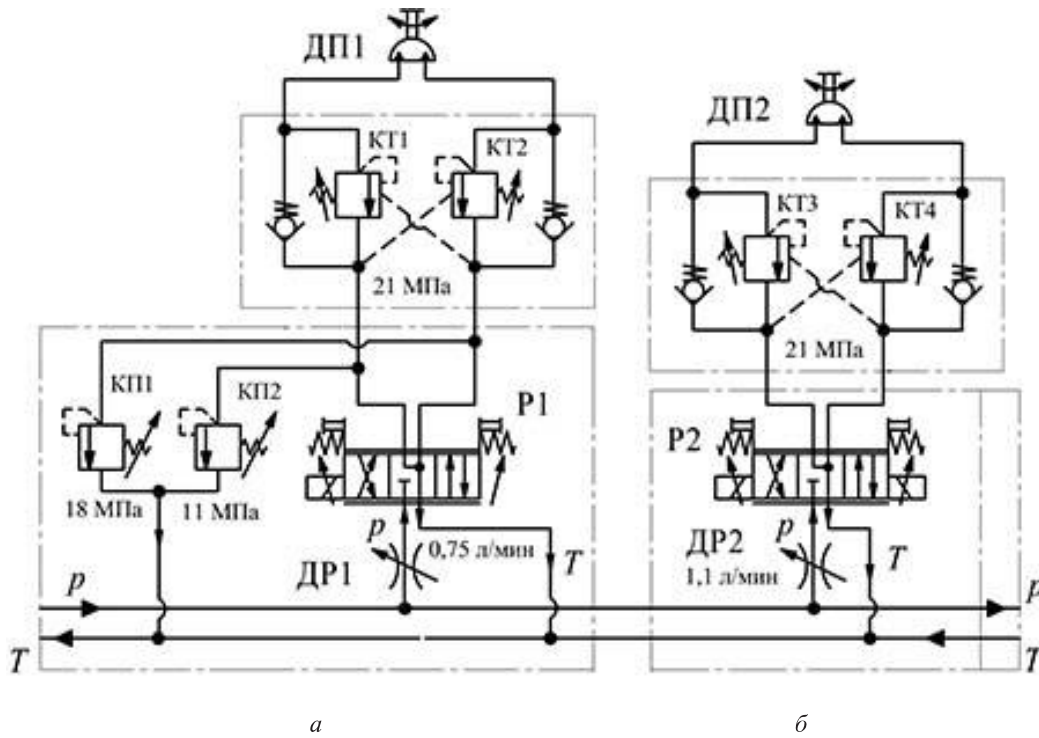


Рисунок 6 — Гидравлические принципиальные схемы объемного гидропривода поворота рабочей платформы автогидроподъемника JLG Lift с различной настройкой расхода рабочей жидкости

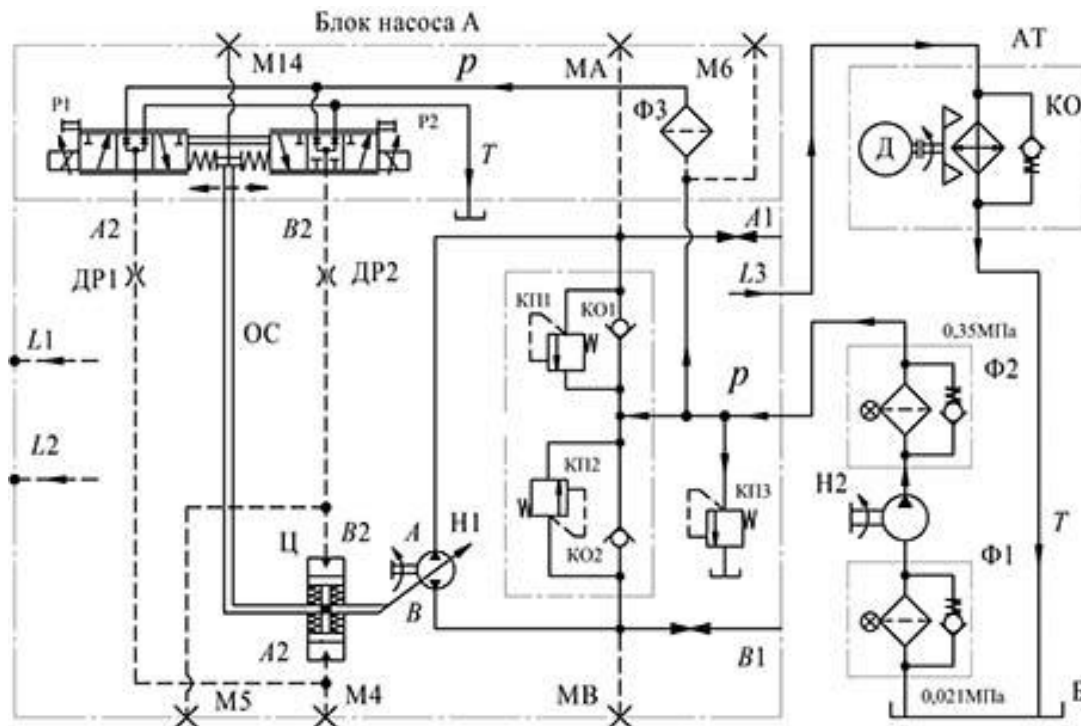


Рисунок 7 — Гидравлическая принципиальная схема аксиальнопоршневого насоса серии Н1 фирмы Sauer Danfoss

С помощью дросселей ДР1 и ДР2 регулируется время перемещения наклонного диска насоса, т.е. быстродействие объемного гидропривода. При отсутствии перемещения гидрораспределителей P1 и P2 наклонный диск основного насоса Н1 с помощью пружин гидроцилиндра Ц устанавливается в нейтральное положение, при котором подача насоса отсутствует, потери мощности на вращение блока цилиндров принимают минимальное значение и такой режим используется при пуске приводящего двигателя насоса, снижая нагрузку на аккумуляторную батарею.

Контрольные точки, т.е. специально выполненные в корпусе насоса отверстия, предназначены для проведения диагностики систем насоса. Так точки МА и МВ позволяют измерять давление в основных (силовых) магистралях и насоса и объемного гидропривода в целом, с помощью точки М6 измеряют давление подпитки, точки М4 и М5 служат для измерения в полостях гидроцилиндра Ц регулирования рабочего объема, точка М14 для контроля давления в линии слива из гидрораспределителей P1 и P2.

Отверстия и служат для отвода утечек из корпуса насоса в гидробак, а также используются для заправки рабочей жидкости перед пуском.

Сдвоенный (тандем-насос) фирмы Rexroth Bosch Group [10] для объемного гидропривода хода (рисунок 8) включает основные аксиальнопоршневые насосы Н1 и Н3 с электрогидравлическим пропорциональным бесступенчатым управлением, и насосы подпитки и управления Н2 и Н4, которые всасывают рабочую жидкость из бака Б через фильтр Ф1. Фильтр Ф2 обеспечивает фильтрацию рабочей жидкости в линии нагнетания насосов подпитки. Давление в системе подпитки поддерживается переливным клапаном КП5. Охлаждение рабочей жидкости осуществляется с помощью маслоохладителя АТ с электродвигателем Д вращения вентилятора, а рабочая жидкость подается из линии дренажа насосов Т1.

Два регулятора рабочего объема, каждый из которых состоит из гидрораспределителя P1(P2) с пропорциональным управлением и гидроцилиндра Ц1(Ц2), служат для изменения угла наклона дисков насосов Н1 и Н3.

Предохранительные КП1—КП4 высокого давления и антикавитационные КО1—КО4 клапаны обеспечивают соответствующую защиту насосов.

Основные магистрали А1 и В1, А2 и В2 насосов Н1 и Н3 служат для подачи рабочей жидкости к гидромоторам хода автогидроподъемника.

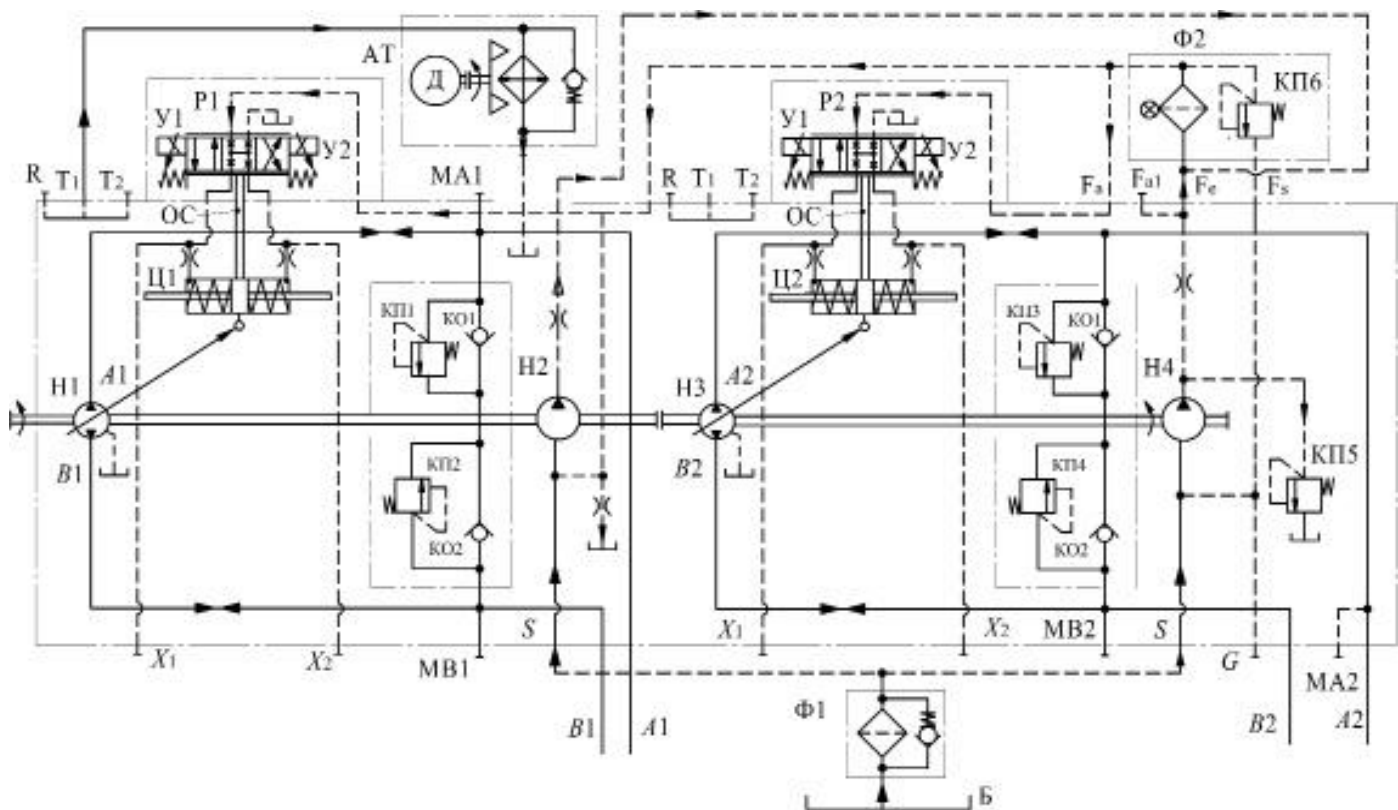


Рисунок 8 — Гидравлическая принципиальная схема тандем-насоса A4VG Rexroth Bosch Group

В настоящее время компания Rexroth Bosch Group расширила номенклатуру насосов A4VG по рабочему объему до 280 см³ и максимальному давлению до 50 МПа [11].

В автогідропідъемник *JLG Lift* применяются различные типы гидрораспределителей (рисунок 9) для реализации необходимых функциональных характеристик и обеспечения требований по безопасности работы. Гидрораспределители имеют двух и трехпозиционное исполнение, гидравлическое, электромагнитное, в том числе пропорциональное, и ручное виды управления.

Двухпозиционные гидрораспределители ввертного монтажа:

а — двухлинейный с пропорциональным электромагнитным управлением, обеспечивает разобщение или сообщение каналов p и A (потребителя),

б — трехлинейный с электромагнитным дискретным управлением, обеспечивает сообщение канала нагнетания p с линиями потребителя A или слива T ,

в — трехлинейный с электромагнитным дискретным управлением и сообщением линии нагнетания p с потребителями A или B ,

г — трехлинейный с гидравлическим управлением и сообщением линии потребителя A с подводами нагнетания p или слива T ,

д — четырехлинейный с сообщением нагнетания p с отводами гидродвигателя (потребителя) A или B , или слива T ,

е — двухпозиционный двухлинейный гидрораспределитель клапанного типа, отличающийся высоким уровнем герметичности. Управление гидрораспределителем дискретное электрогидравлическое, для повышения надежности работы гидрораспределитель снабжен фильтрами $\Phi 1$ и $\Phi 2$, контрольная точка $M2$ используется для измерения давления.

Трехпозиционные гидрораспределители стыкового монтажа:

ж — четырехлинейный с электромагнитным дискретным управлением, центрированием с помощью пружин в нейтральном положении, объединением подвода A с линией слива T и перекрытием отвода B из линии нагнетания p ,

з — четырехлинейный, с электромагнитным дискретным управлением, центрированием с помощью пружин в нейтральном положении и объединением подводов A и B с баком T (предпочтительная схема при установке гидрозамков перед гидроцилиндрами), с ручным дублированием перемещения золотника,

и — с обеспечением функций согласно схеме з, но с пропорциональным электромагнитным перемещением золотника,

к — трехлинейный гидрораспределитель с гидравлическим управлением, обычно использующийся в объемном гидроприводе с замкнутой цепью циркуляции рабочей жидкости для автоматического обеспечения слива части потока из контура низкого давления A или B (подпитки) в корпус гидромотора и далее в маслоохладитель (встречаются термины — промывочный гидрораспределитель, блок обмена и др.),

л — трехпозиционный гидрораспределитель модели *PVG32* фирмы *Sauer-Danfoss* [12], входящий в секционной блок распределителей. Гидрораспределитель имеет электрогидравлическое и ручное пропорциональные виды управления, и систему каналов LS для обеспечения режимов энергосбережения в объемного гидроприводе с дроссельным регулированием скорости гидродвигателей и использованием насосов с постоянным и регулируемым рабочим объемом (с комбинированным автоматическим регулятором давления и подачи). Гидрораспределитель имеет 7-линейное исполнение (основные подводы p , $2xT$, A , B и каналы системы энергосбережения LS_a и LS_b). От подводов A или B к линии LS_i воздействие давления осуществляется системой клапанов давления КДи типа «или».

Электромагнитное управление обеспечивается системами:

1. PVES — пропорциональной сверхвысокой точности,
2. PVEH — пропорциональной высокой точности,
3. PVEM — пропорциональной средней точности,
4. PVEO — двухпозиционной дискретной (On/Off).

Гидрораспределители могут иметь до 10 секций, каждая из которых обеспечивает функционирование определенного гидроцилиндра или гидромотора, номинальное давление достигает 30 МПа (максимальное до 35 МПа), расход рабочей жидкости до 240 л/мин . Напряжение питания на электромагнитах 12 или 24 В постоянного тока.

Безопасность эксплуатации гидрораспределителей *PVG* может быть обеспечена различными по уровню степенями.

1. Максимальные требования к безопасности обеспечивают работу в автоматическом режиме без участия оператора и реализуются при использовании управления электромагнитами PVES и PVEH. На гидросхеме (рисунок 10, а), содержащей гидроцилиндр Ц, гидрозамок ЗМ, гидрораспределитель P1 с пропорциональным электромагнитом PVEH, насос Н и гидробак Б, показаны компоненты безопасности:

- гидрораспределитель P2 с электромагнитом дискретного срабатывания,
- логический сигнализатор (реле) R, подключенный к системе контроля неисправностей в электромагните PVEH,
- кнопка Е аварийного отключения электропитания.

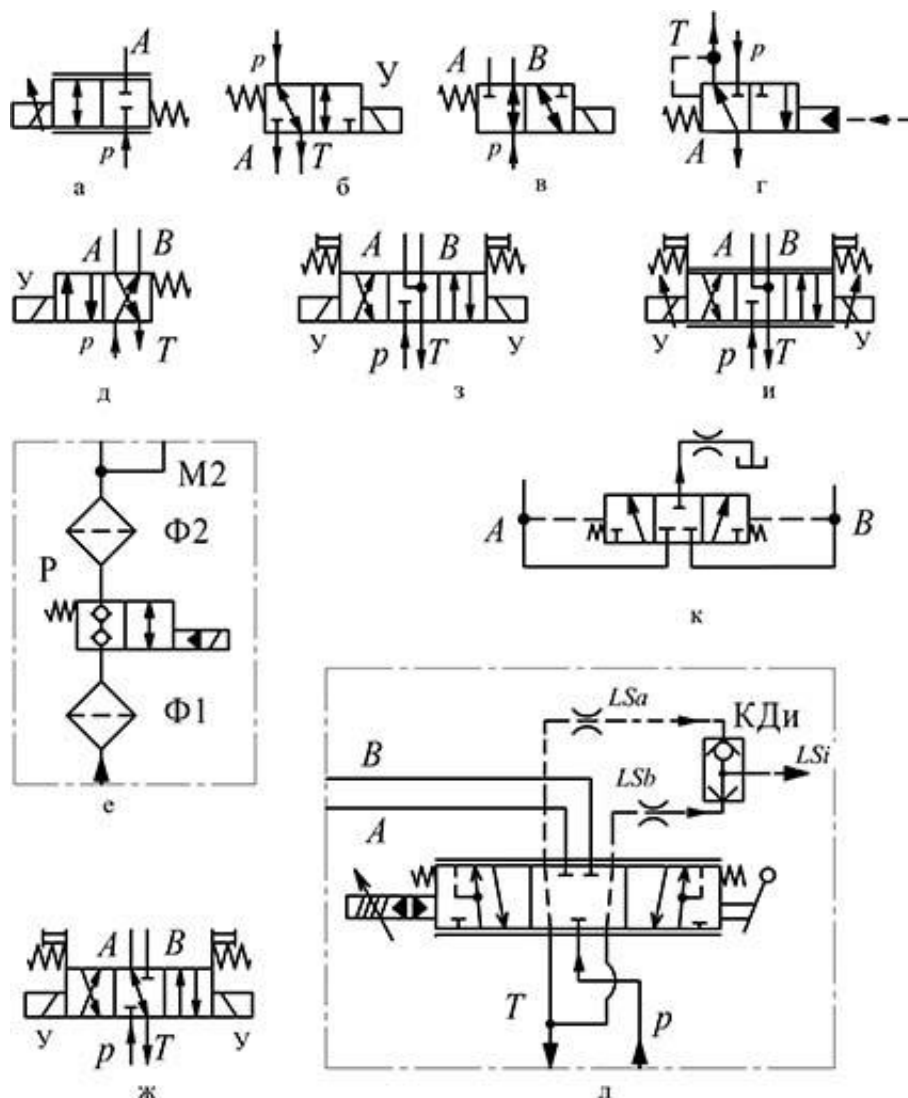


Рисунок 9 — Гидрораспределители автогидроподъемников JLG Lift

При наличии питания на электромагните У гидрораспределителя P2 рабочая жидкость направляется от насоса Н к гидрораспределителю P1, обеспечивая нормальное функционирование объемного гидропривода. При обнаружении в PVEN неисправности в виде заклинивания золотника реле R автоматически отключает питание на электромагните гидрораспределителя P2, что под действием пружины приводит к смещению его золотника в положение, показанное на рисунке. При этом рабочая жидкость направляется в бак Б и гидроцилиндр Ц блокируется в установившемся положении благодаря гидрозамку ЗМ. Возможно также отключение тока от электромагнита У оператором с помощью кнопки Е. Кроме того, возможно использование реле R для отключения электропитания от приводящего двигателя насоса Н.

2. Обеспечение высокой степени безопасности (рисунок 10, б) используется только при вмешательстве оператора с помощью кнопки Е, что приводит к отключению тока в электромагните У на гидрораспределителе P2 (по аналогии с ручным режимом управления) и переключателе нейтрального положения N, с помощью которого отключается ток на электромагните PVEN и, соответственно, система диагностики контроля положения золотника гидрораспределителя P1.

3. Обеспечение средней степени безопасности. (рисунок 10, в) используется также только при вмешательстве оператора с помощью кнопки Е, но воздействует на управляющее давление системы LS путем его снижения до 0,8—1,4 МПа во всех гидроустройствах объемного гидропривода с помощью гидрораспределителя P2 при обесточивании электромагнита У.

4. Ограниченные требования по безопасности (рисунок 10, г) реализуются только путем отключения тока на электромагните гидрораспределителя P1 с помощью кнопки Е или переключателя N. В такой системе безопасности отсутствует контроль и защита от гидравлических и механических неисправностей, например, при заклинивании золотника в крайнем положении.

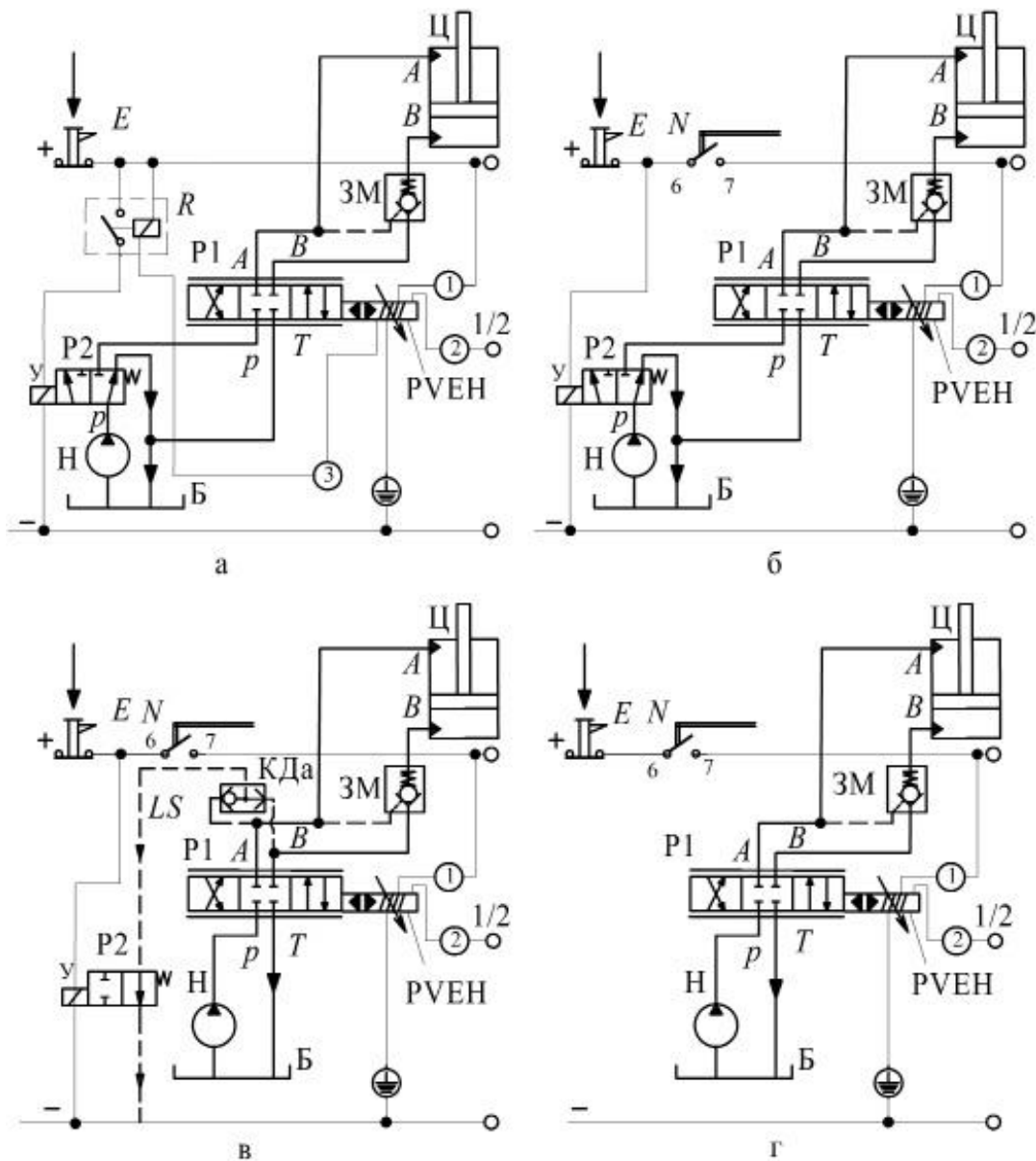


Рисунок 10 — Комбинированная принципиальная схема объемного гидропривода с гидрораспределителями PVG различного уровня безопасности

Для безопасной работы автогидроподъемных гидроустройств объемных гидроприводов решаются задачи плавного подъема-опускания, фиксации и защиты от самопроизвольного падения рабочей платформы при отказе источников энергоснабжения. Для этой цели применяют гидрозамки, тормозные гидроклапаны и нормально-замкнутые тормоза на базе гидроцилиндров и устройств автоматики.

Гидрозамок двухстороннего действия и трубного присоединения (рисунок 11) [13] содержит в осевой расточке корпуса 1 двухступенчатую конструкцию обратных клапанов с каждой стороны: основные обратные клапаны 2 и 3, обратные клапаны предварительного открытия 4 и 5, размещенные в осевых расточках основных клапанов, толкатель 6.

Рабочая жидкость может свободно поступать из канала В в В1 и из канала А в А1, преодолевая усилие торцовых пружин, а из каналов В1 в В и А1 в А только при открытии обратных клапанов с помощью толкателя 6. Толкатель 6 при своем смещении воздействует сначала на один из предварительных клапанов 4 или 5, а затем на основные 2 или 4, соответственно. На этом же рисунке показаны встречающиеся на гидравлических принципиальных схемах условные изображения гидрозамков.

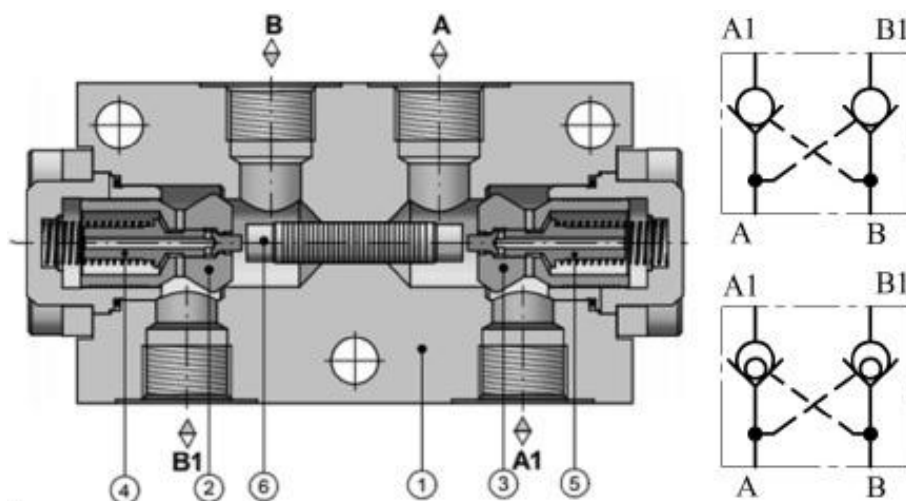


Рисунок 11 — Двухсторонний гидрозамок 2UZSG16 PONAR WADOWICE

На рисунке 12 показана схема объемного гидропривода с тормозным клапаном модели CBVE (RSM10121-01) фирмы *Hydac* (ФРГ), который обладает исключительно высокой герметичностью — при давлении 35 МПа утечки в сочленении клапан–седло не превышают 5 капель в минуту ($0,25 \text{ см}^3/\text{мин}$) [14]. При подаче электропитания на магнит У2 пропорционального гидрораспределителя Р золотник последнего смещается влево и рабочая жидкость поступает через обратный клапан КТ в бесштоковую полость гидроцилиндра Ц, приводя к выдвигению его поршня. Для опускания поршня гидроцилиндра Ц подают электропитание на магнит У1, благодаря чему рабочая жидкость поступает в штоковую полость гидроцилиндра и вытесняется из бесштоковой через КТ на слив Т. При этом давления $p_{\text{адоп}}$ и p_0 способствуют перемещению тормозного клапана КТ вправо и течению рабочей жидкости через встроенный дроссель. При опускании поршня без давления в полости (режим безнасосного опускания) давление $p_0 \approx 0$ и КТ вернется в положение, соответствующее запираанию потока рабочей жидкости из бесштоковой полости, что приведет к остановке гидроцилиндра.

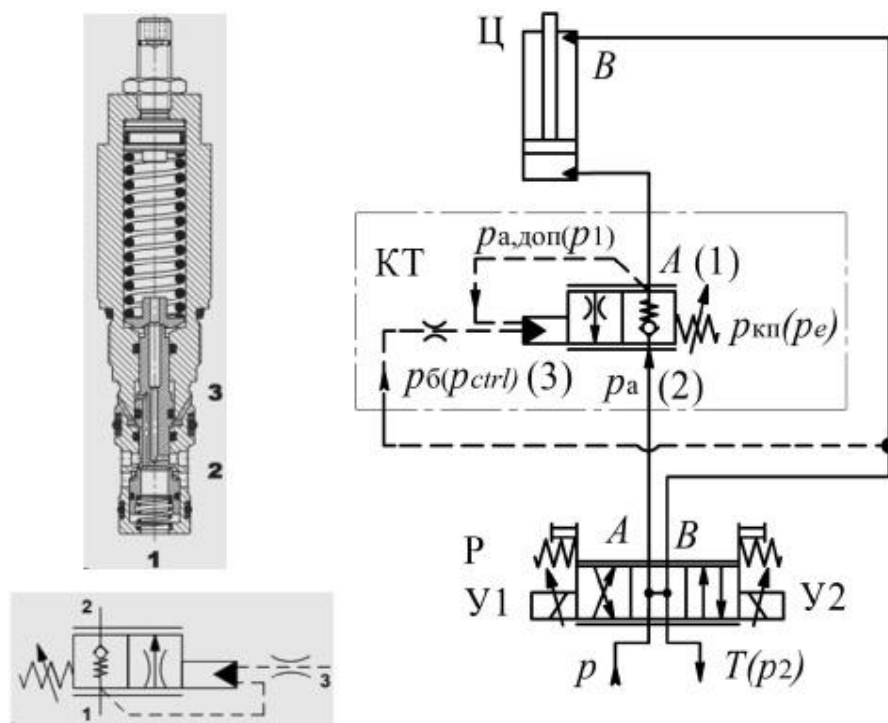


Рисунок 12 — Тормозной клапан CBVE (RSM10121-01)-Hydac и его установка в объемном гидроприводе с гидроцилиндром (в скобках — в обозначениях фирмы *Hydac*) [14]

Тормозные клапаны относятся к ввертному исполнению, выпускаются на максимальное рабочее давление до 35 МПа (давление настройки клапана предохранительного до 42 МПа) и расход до 30 и 100 л/мин (модели SBVE-R1/2 и SBVE-R1, соответственно).

Давление управления, обеспечивающее открытие обратного клапана рекомендуется определять по формуле

$$p_{ctrl} = \frac{p_e - p_1}{\varphi} + kf \times p_2, \text{ МПа}, \quad (3)$$

где p_e — значение давления настройки предохранительного клапана, МПа, которое должно назначаться из условия

$$p_e \geq 1,2 \times p_1 \text{ МПа}, \quad (4)$$

p_1 — давление, создаваемое внешней нагрузкой на гидроцилиндр, МПа, p_2 — давление на сливе, МПа, φ — соотношение площадей в плунжере предохранительного клапана, kf — коэффициент, зависящий от соотношения φ : $kf_{\varphi=1} = 2$, $kf_{\varphi=1} = 1,5$, $kf_{\varphi=3} = 1,3$, $kf_{\varphi=5} = 1,2$.

При давлении на сливе (версия «vented») давление управления равно

$$p_{ctrl} = \frac{p_e - p_1}{\varphi}, \text{ МПа}. \quad (5)$$

Выводы

1. В объемных гидроприводах мобильных подъемников с рабочими платформами нашли применение гидроустройства широкой номенклатуры применения, в том числе производителей ведущих мировых фирм, характеризующиеся высоким уровнем давлений, повышенной герметичностью и широким применением средств электрогидроавтоматики для решения задач безопасности эксплуатации, автоматизации управления и энергосбережения.

2. С целью качественной подготовки специалистов в области создания и технического обслуживания гидроприводов мобильных подъемников следует ввести в специализированные дисциплины по объемному гидроприводу разделы, посвященные изучению в вузах современной номенклатуры гидроустройств передовых зарубежных производителей.

Литература

1. Автоподъемник телескопический АП-18-09. Руководство по эксплуатации. 18.00.00.000-09 РЭ/ ГП Мелитопольский завод «Гидромаш» 2011, 81стр.
2. LEGUAN 125. Operators and Service Manual 2014. — Version 6/2015.— 27.8.2015/ — 39 p.
3. LEGUAN 135. Operators Manual 2015. — Edited 26.1.2016. — 20 p.
4. Service and Maintenance Manual. Model 1200SJP, 1350SJP. — JLG An Oshkosh Corporation Company. — P/N-3121142. — May 23, 2017. — 718 p.
5. Service and Maintenance Manual. Model 1250AJP. — JLG An Oshkosh Corporation Company. — P/N-3121171. — June 22, 2017, — 732 p.
6. Service and Maintenance Manual. Model 1850SJ. — JLG An Oshkosh Corporation Company. — P/N-3121619. — May 23, 2017, — 700 p.
7. Аврунін Г.А. Гідравлічне обладнання будівельних та дорожніх машин / Г. А. Аврунін, І. Г. Кириченко, В. Б. Самородов. — Підручник, ХНАДУ, 2016. — 438 с.
8. SAUER DANFOSS. Application Manual. Section 1 of Driveline Components. BLN-9855. July 1997.Rev. B — 32 p.
9. Axial Piston Pump H1. Size 147/165. Single. Technical Information. — SAUER DANFOSS. — 11063347.Rev BC. Mar 2011. — 36 p.
10. Axial piston variable pump A4VG Series 32. Rexroth Bosch Group. — RE-E 92003. — Edition: 04.2016, Replaces: 06.2012. — 72 p.
11. Аксиально-поршневой регулируемый насос А4VG Серия 40. .Rexroth Bosch Group. — RS 92004. — Редакция: 02.2017, Заменен: 07.2016. — 72 с.

12. Независящие от нагрузки пропорциональные распределители PVG 32: каталог : SAUER-DANFOSS. — М. : ЗАО Данфосс. — 02/02. — 40 с.
13. Клапан управляемый двойной 2UZSG16. PONAR WADOWICE, WK 4760 010. — 07.2008, p. 641—646.
14. Counterbalance Valve Poppet Type RSM10121-01, Direct-Acting Metric Cartridge - 420 Bar HYDAC INTERNATIONAL, EN 5.933.1.1/11.17. — p. 1—4.

References

1. Avtopodemnic telescopicheskiy AP-18-09. Rucovodstvo po ekspluatatsii. 18.00.00.000-09 RE / GP Melitopolskiy zavod Hidromash 2011, 81 p.
2. LEGUAN 125. Operators and Service Manual 2014. — Version 6/2015.— 27.8.2015/ — 39 p.
3. LEGUAN 135. Operators Manual 2015. — Edited 26.1.2016. — 20 p.
4. Service and Maintenance Manual. Model 1200SJP, 1350SJP. — JLG An Oshkosh Corporation Company. — P/N-3121142. — May 23, 2017. — 718 p.
5. Service and Maintenance Manual. Model 1250AJP. — JLG An Oshkosh Corporation Company. — P/N-3121171. — June 22, 2017, — 732 p.
6. Service and Maintenance Manual. Model 1850SJ. — JLG An Oshkosh Corporation Company. — P/N-3121619. — May 23, 2017, — 700 p.
7. Avrunin G.A. Gidravlichne obladnannya bydivelnykh ta dorozhnikh mashin / G. A/ Avrunin, I. G. Kyrychenko, V. B. Samorodov. — Pidruchnik, KHNADU, 2016. — 438 p.
8. SAUER DANFOSS. Application Manual. Section 1 of Driveline Components. BLN-9855. July 1997.Rev. B — 32 p.
9. Axial Piston Pump H1. Size 147/165. Single. Technical Information. — SAUER DANFOSS. — 11063347.Rev BC. Mar 2011. — 36 p.
10. Axial piston variable pump A4VG Series 32. Rexroth Bosch Group. — RE-E 92003. — Edition: 04.2016, Replaces: 06.2012. — 72 p.
11. Aksialnoporshnevoi reguliruyemyi nasos A4VG Seria 40 Rexroth Bosch Group. — RS 92004. — Redaktsia: 02.2017, zamenen: 07.2016. — 72 s.
12. Nezavisyashchie ot nagruzki proportsionalnye raspredeliteli PVG 32: katalog : SAUER-DANFOSS. — М. : ZAO Danfoss. — 02/02. — 40 с.
13. Klapan upravliayemyi dvoinoi 2UZSG16. PONAR WADOWICE, WK 4760 010. — 07.2008, s. 641—646.
14. Counterbalance Valve Poppet Type RSM10121-01, Direct-Acting Metric Cartridge — 420 Bar HYDAC INTERNATIONAL, EN 5.933.1.1/11.17.— p. 1—4.

Надійшла 13.04.2018

УДК 621.22

УДК 621.22

Аналіз технічного рівня гідропрстроїв для мобільних підіймачів з робочими платформами

Г. А. Аврунін, І. Г. Кириченко,
О. В. Ярижко, С. А. Литвин

Мета. Вивчення застосування об'ємного гідропривода, зокрема, номенклатури, особливостей та технічного рівня гідропрстроїв в мобільних підійомниках з робочими платформами, які знаходять широке застосування в промисловості.

Методи досліджень. Даний аналіз гідравлічних принципових схем насосних установок і приводів

Analysis of technical level of hydraulic units for mobile elevating with work platforms

G.A. Avrunin, I. G. Kyrychenko,
A.V. Yaryzhko, S. A. Lytvyn

Aim. Study of application of by hydraulic fluid power, in particular, nomenclature, features and technical level of hydraulic units in mobile lifts with working platforms (MEWP) that find a wideuse in industry.

Research method. The analysis of hydraulic fundamental charts of pumping options and drives of recurrently-forward and rotatory motion of movement and working organs of

зворотньо-поступального і обертального руху пересування і робочих органів мобільних підйомників *LEGUAN* (Фінляндія) і *JLG Lift An Oshkosh Corporation Company* (США).

Результати досліджень. Для мобільних телескопічних підйомників *JLG Lift* побудовані залежності зміни потужності приводного двигуна, швидкості пересування і маси платформи, а також об'єму гідробака від висоти підйому робочої платформи від 10 до 60 м. Показана тенденція підвищення безпеки роботи об'ємних гідроприводів шляхом застосування сучасних гідророзподільників, гідрозамків, гальмівних клапанів і засобів електрогідравтоматики.

Висновки. Встановлено, що в об'ємних гідроприводах мобільних підйомників з робочими платформами знайшли застосування гідроприсстрої широкої номенклатури, у тому числі виробників провідних світових фірм, що характеризуються високим рівнем тисків, підвищеною герметичністю і широким застосуванням засобів електрогідравтоматики для вирішення завдань безпеки експлуатації, автоматизації управління і енергозбереження. З метою якісної підготовки фахівців в області створення і технічного обслуговування гідроприводів мобільних підйомників слід ввести в спеціалізовані дисципліни по об'ємному гідроприводу розділи, присвячені вивченню сучасної номенклатури гідроприсстроїв передових зарубіжних виробників.

Ключові слова: мобільні підйомники з робочими платформами, об'ємний гідропривід, гідроприсстрої, гідравлічна принципова схема.

mobile lifts of *LEGUAN* (Finland) and *JLG Lift An Oshkosh Corporation Company* (USA) is given.

Results of research. For the mobile telescopic lifts of *JLG Lift* dependences of change of power of diesel, speed of movement and mass of platform are built, and also volume of hydraulic reservoir from the height of getting up of working platform a from 10 to 60 m. The tendency of increase of safety of work of by hydraulic fluid power is shown by application of modern directional control valve, pilot-controlled check valve, brake valves and facilities of electric hydraulic automation.

Conclusion. It is set that in by hydraulic fluid power of mobile lifts with working platforms found application of hydraulic unit of wide nomenclature of application, including producers of leading world firms, being characterized the high level of pressures, enhanceable impermeability and wideuse of facilities of electric hydraulic automation for the decision of tasks of safety of exploitation, automation of management and energy-savings.

With the purpose of quality preparation of specialists in area of creation and technical maintenance of hydraulic fluid power of mobile lifts it is necessary to enter in the specialized disciplines on by volume hydraulic fluid power the divisions sanctified to the study in institutions of higher learning of modern nomenclature of hydraulic units of front-rank foreign producers.

Keywords: mobile lifts with working platforms (MEWP), hydraulic fluid power, hydraulic unit, hydraulic fundamental chart.