

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого»

Кафедра «Гидропневмоавтоматика»

Ю. А. Андреев, Ю. В. Сериков

ТЕОРИЯ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ГИДРОПНЕВМОСИСТЕМ

**ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ
по одноименному курсу для студентов
специальности 1-36 01 07 «Гидропневмосистемы
мобильных и технологических машин»
дневной и заочной форм обучения**

Электронный аналог печатного издания

Гомель 2010

УДК 62-82(075.8)
ББК 34.447я73
А65

*Рекомендовано к изданию научно-методическим советом
машиностроительного факультета ГГТУ им. П. О. Сухого
(протокол № 10 от 01.07.2010 г.)*

Рецензент: канд. техн. наук, доц. каф. «Технология машиностроения» ГГТУ им. П. О. Сухого *Г. В. Петришин*

Андреев, Ю. А.
А65 Теория и проектирование гидропневмосистем : лаборатор. практикум по одному курсу для студентов специальности 1-36 01 07 «Гидропневмосистемы мобильных и технологических машин» днев. и заоч. форм обучения / Ю. А. Андреев, Ю. В. Сериков. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2010. – 49 с. – Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц ; 32 Mb RAM ; свободное место на HDD 16 Mb ; Windows 98 и выше ; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <http://lib.gstu.local>. – Загл. с титул. экрана.
ISBN 978-985-420-968-5.

Рассмотрены конструктивные разновидности фильтров, трубопроводных соединений, гидробаков и изложены основные требования, предъявляемые к их проектированию, а также меры по снижению вибрации и шумов, производимых гидроприводом при работе.

Для студентов специальности 1-36 01 07 «Гидропневмосистемы мобильных и технологических машин» дневной и заочной форм обучения.

**УДК 62-82(075.8)
ББК 34.447я73**

ISBN 978-985-420-968-5

© Андреев Ю. А., Сериков Ю. В., 2010
© Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», 2010

Лабораторная работа № 1

Фильтрация в гидросистемах. Фильтры

Цель работы: изучить источники загрязнения в рабочих жидкостях, защиту гидравлических систем от загрязнений, виды фильтров и схемы установки фильтров в системах; зарисовать фильтр и его основные элементы, проставив основные размеры.

1.1. Общие сведения

Экономический ущерб от применения некондиционных по загрязненности жидкостей гидравлических систем очень значителен. По экспериментальным данным из 100 аварийных ситуаций в гидросистемах 90 происходит вследствие загрязненности жидкости.

Особенно чувствительны к загрязнениям агрегаты, работающие при высоких рабочих давлениях. Для защиты аппаратуры, чувствительной к загрязнениям, жидкость перед заправкой в гидросистему и в самой системе подвергают очистке. Однако используемые в настоящее время методы очистки и конструкции фильтров не могут полностью решить этой задачи. По мере уменьшения размера частиц загрязнений в жидкости заметно возрастает их число и вместе с тем увеличивается стоимость их удаления.

1.1.1. Источники загрязнения в рабочих жидкостях

При эксплуатации, хранении, перевозках загрязнение рабочей жидкости идет *непрерывно*. Загрязняющие вещества выделяются из жидкости в виде частиц красителя, различных присадок и добавок, улучшающих те или иные свойства жидкости. При длительном хранении в условиях положительных температур в маслах могут развиваться колонии микроорганизмов, водорослей и грибков. В основном их наблюдают на границе масло–вода, в отстойной зоне. Загрязнения биологического характера представляют собой желеобразную массу, которая может удерживаться на поверхности трубопроводов, фильтров, агрегатов.

Непрерывно идет процесс окисления рабочей жидкости; активность этого процесса повышается с увеличением температуры. Катализатором окисления являются частицы износа стальных и медных деталей. При окислении в масле образуются растворимые и нерастворимые продукты, которые способствуют его сгущению и могут в конечном счете выпасть в виде «лака» на детали.

Может произойти «самопроизвольное» увеличение размера частиц загрязнений в герметически закрытых сосудах. В жидкости, не имеющей при заполнении агрегатов и сосудов частиц загрязнений размером более 10 мкм, со временем обнаруживаются частицы размером 25–200 мкм в виде рыхлых образований. Быстрый рост размера частиц происходит в жидкости, подвергающейся вибрационному воздействию при транспортировке.

Жидкость может загрязняться частицами пыли из воздуха. Пыль поступает в баки через систему наддува и дренажа, через заливные горловины при «открытой» заправке баков; в гидросистему пыль попадает при сборке и изготовлении, через уплотнения штоков гидроцилиндров при их работе. Большая доля частиц пыли соизмерима с зазорами в подвижных узлах гидроагрегатов, а твердость может значительно превосходить твердость материалов сопрягаемых деталей.

Непрерывно в жидкость генерируются продукты износа трущихся деталей, особенно у насосов и гидромоторов. За время эксплуатации только цилиндры и плунжеры каждого насоса вносят в систему более 800 млн частиц загрязнений. Кроме плунжерной пары, у насосов интенсивно изнашиваются трущиеся поверхности распределительного золотника и блока цилиндров, шаровой опоры толкателей поршней, подшипников и т. п.

Много частиц загрязнений остается в гидросистеме и ее элементах после изготовления и ремонта: это песок, попадающий при литье; пыль, осевшая на стенках; окалина от сварки,ковки или термической обработки; остатки механической обработки деталей; заусенцы от трубопроводов; волокна ветоши, остающиеся после протирки. Кроме того, загрязнения в жидкость попадают при обслуживании системы.

Совместное воздействие влаги, кислорода воздуха и рабочей жидкости может вызвать на поверхности деталей, трубопроводов, баков образование ржавчины и шелушение покрытий. Частицы ржавчины выпадают в виде осадков частиц микронных размеров. Этому способствует вибрация конструкции и пульсация давления.

Источником загрязнения могут служить фильтры, так как в процессе работы фильтрующие элементы (из бумаги, шерсти, войлока, целлюлозы, стекловолокна и т. п.) частично разрушаются и их компоненты вымываются потоком жидкости.

1.1.2. Нормы допустимой загрязненности жидкости

Чистота жидкости регламентируется специальными стандартами: ГОСТ 6370–59, 10227–62, 10577–63 и др. В гидравлических системах общепромышленного назначения жидкость считается чистой, если содержание загрязнений при анализе пробы по ГОСТ 6370–59 по массе не превышает 0,005 %, что составляет 50 мг/л [1, с. 111].

ГОСТ 17216–71 на чистоту рабочей жидкости устанавливает 19 классов чистоты жидкости, каждому из которых соответствует определенное число частиц различного размера, содержащихся в 100 см³ жидкости.

Каждой системе в зависимости от ее назначения и важности выполняемых функций, планируемой надежности и срока службы аппаратуры должен быть определен класс чистоты жидкости. При этом следует учитывать, что работоспособность системы кроме размера частиц загрязнений зависит еще и от концентрации, природы и твердости частиц, величины зазоров в сопрягаемых деталях гидроагрегатов, скорости взаимного перемещения деталей, твердости и шероховатости их поверхностей, величины рабочего давления и температуры жидкости.

1.1.3. Защита гидравлических систем от загрязнений

Наиболее опасными для гидравлических систем является содержание в рабочей жидкости частиц большой твердости, соизмеримых с зазорами в гидроагрегатах. Чем выше требования к чистоте системы, тем она будет дороже как в части фильтровального оборудования, так и в части профилактических эксплуатационных мер.

Желательно обеспечивать изоляцию рабочей жидкости от окружающей среды. Емкости, агрегаты и трубопроводы должны изготавливаться из антикоррозионных материалов. Целесообразно применять агрегаты, нечувствительные или малочувствительные к загрязнениям. Для обеспечения чистоты трубопроводов и агрегатов при их изготовлении и ремонте на заводах выделяют специальные сборочные участки, в которых не должно быть операций, приводящих к загрязнениям – сверления, клепки, окраски. Вводятся нормы допустимой загрязненности воздуха этих участков. К работе с гидросистемами или их компонентами должны допускаться только аттестованные сборщики.

Перед началом любой работы необходимо проверить пломбы на деталях и их упаковку. Детали и трубопроводы с поврежденной герметизацией отправляют на повторную очистку. Разгерметизацию со-

единительных штуцеров производят поочередно, в соответствии с последовательностью сборочных операций отверстия должны оставаться открытыми только очень короткое время. Особо тщательно производят сборку уплотнений и соединений трубопроводов, поскольку сборка под напряжением может вызвать отделение металлических или пластмассовых частиц. Использование для очистки сжатого воздуха категорически запрещается, следует для этого применять пылесосы или специальную противопыльную или неворсистую ветошь.

Системы собирают из предварительно очищенных и промытых агрегатов и непосредственно перед использованием тщательно промывают очищенной рабочей жидкостью. Промывку целесообразно проводить в два этапа: сначала промывают трубопроводы при закольцованных агрегатах, а затем систему с подключенными агрегатами. При промывке фильтры системы заменяют технологическими фильтрами тонкой очистки. Каждый агрегат за время промывки должен сработать не менее 20 раз.

Для устранения возможности попадания в гидросистему загрязнений при заполнении ее жидкостью заправку целесообразно производить закрытым способом, с помощью специальных стенов. Заправляться система должна чистой жидкостью. Заправочные стеноды и емкости для хранения жидкостей должны периодически очищаться от загрязнений, горловины баков маслозаправщиков должны пломбироваться, рукава и наконечники средств заправки должны иметь чехлы.

При эксплуатации рабочие жидкости необходимо периодически проверять на засорение механическими примесями. Критерий или уровень допустимой загрязненности рабочей жидкости системы по ГОСТ 17216–71 следует устанавливать в зависимости от ее назначения и важности выполняемых функций, а также чувствительности агрегатов к загрязнениям.

Все способы очистки жидкости от нерастворимых частиц загрязнений делятся на две группы:

1) фильтрация – отделение загрязнений при прокачке жидкости через пористый фильтровальный материал;

2) очистка жидкости в силовых полях — гравитационных, центробежных, магнитных, электрических и др. Выбор способа очистки жидкости, конструкции и места установки очистителя в гидросистеме должен производиться с учетом необходимой степени очистки и ее стоимости.

При выборе очистителя необходимо учитывать: размер удерживаемых частиц, прочность, пропускную способность, гидравлическое сопротивление, срок службы и удобство обслуживания. Фильтровальный материал не должен влиять на жидкость, также как и жидкость не должна влиять на фильтр. При выборе фильтров обязательен учет температуры жидкости, так как при высоких температурах некоторые фильтроэлементы повреждаются. Все эти факторы взаимосвязаны и не могут рассматриваться изолированно.

1.1.4. Фильтры

Классификация [2, с. 224]. Конструкцию фильтра обычно образуют корпус со штуцерами подвода и отвода жидкости, фильтрующий элемент и иногда устройство для контроля уровня загрязненности.

По способу задержания загрязнений фильтроэлементы делятся:

1) на поверхностные (металлическая сетка). Сетки имеют малое гидравлическое сопротивление, противостоят пульсациям давления, вибрациям, перегрузкам и изменениям температуры; они не требуют замены и легко промываются. Но поверхностные фильтроэлементы имеют малую грязеемкость, не способны задерживать частицы величиной меньше размеров пор фильтрующего материала;

2) объемные фильтроэлементы выполняются из пронизываемого материала значительной толщины: бумаги, картона, целлюлозы, стекловолокна, войлока, замши, сукна, минеральной ваты, пористой керамики и металлокерамики и пр. Жидкость очищается, проходя по узким, длинным и извилистым поровым каналам фильтровального материала. Объемные фильтроэлементы удерживают частицы самых различных размеров. Они имеют более высокое гидравлическое сопротивление и часто не могут быть восстановлены, но обеспечивают более качественную фильтрацию и обладают большей грязеемкостью;

3) комбинированные, в которых в начале по ходу течения жидкости устанавливают объемный фильтроэлемент, а затем поверхностный.

Основными характеристиками фильтров и фильтровальных материалов являются тонкость очистки (фильтрации), пропускная способность, гидравлическое сопротивление и срок службы.

Примеси задерживаются фильтрами (рис. 1.1), принцип работы которых основан на пропуске жидкости через фильтрующие элементы (щелевые, сетчатые, пористые) или через силовые поля (сепараторы). В первом случае примеси задерживаются на поверхности или в глубине фильтрующих элементов, во втором рабочая жидкость проходит че-

рез искусственно создаваемое магнитное, электрическое, центробежное или гравитационное поле, где происходит оседание примесей.

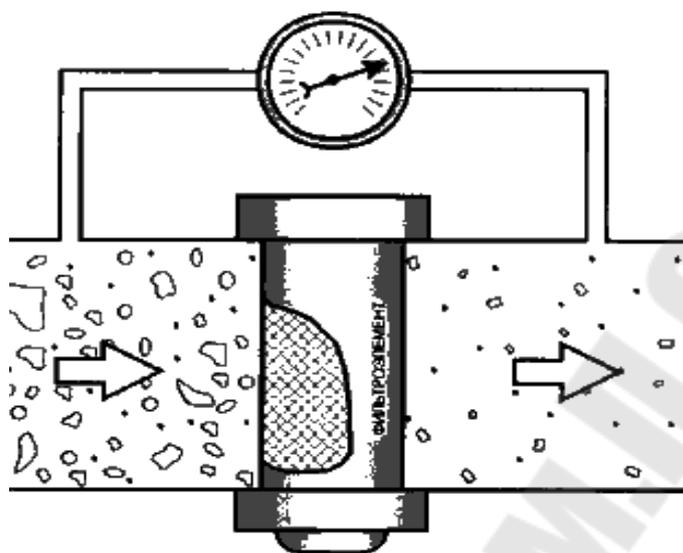


Рис. 1.1. Схема фильтрации рабочей жидкости

По тонкости очистки, т. е. по размеру задерживаемых частиц фильтры делятся на фильтры грубой, нормальной и тонкой очистки.

Фильтры грубой очистки задерживают частицы размером до 0,1 мм (сетчатые, пластинчатые) и устанавливаются в отверстиях для заливки рабочей жидкости в гидробаки, во всасывающих и напорных гидролиниях и служат для предварительной очистки.

Фильтры нормальной очистки задерживают частицы от 0,1 до 0,05 мм (сетчатые, пластинчатые, магнитно-сетчатые) и устанавливаются на напорных и сливных гидролиниях.

Фильтры тонкой очистки задерживают частицы размером менее 0,05 мм (картонные, войлочные, керамические), рассчитаны на небольшой расход и устанавливаются в ответвлениях от гидромагистралей.

В зависимости от мест установки фильтров в гидросистеме различают фильтры высокого и низкого давления. Последние можно устанавливать только на всасывающих или сливных гидролиниях.

Конструкции фильтров. *Сетчатые фильтры* (рис. 1.2) устанавливаются на всасывающих и сливных гидролиниях, а также в заливочных отверстиях гидробаков. Фильтрующим элементом является латунная сетка. Сетка устанавливается в один и более слоев. Для уменьшения сопротивления фильтрующую поверхность делают как можно большей.

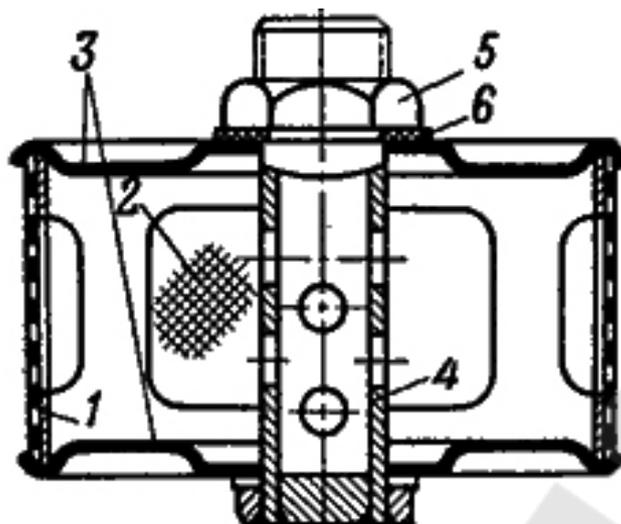


Рис. 1.2. Сетчатый фильтр:
 1 – корпус; 2 – сетка; 3 – диски; 4 – перфорированная трубка;
 5 – гайка; 6 – прокладки

Фильтр состоит из корпуса 1 с отверстиями для пропуска рабочей жидкости и обтянутого двумя слоями сетки 2. Торцевые поверхности фильтра закрыты двумя дисками 3. Через центральные отверстия дисков проходит стальная перфорированная труба 4, соединяемая с всасывающей трубой насосной установки.

Проволочные фильтры имеют аналогичную конструкцию. Они состоят из трубы с большим количеством радиальных отверстий или пазов, на наружной поверхности которой навивается калибровочная проволока круглого или трапециевидного сечения. Зазор между рядами проволок определяет тонкость фильтрации рабочей жидкости (до 0,05 мм). Недостаток сетчатых и проволочных фильтров – трудность очистки фильтрующих элементов от скопившихся на их поверхности загрязнений.

Пластинчатые (щелевые) фильтры устанавливают на напорных и сливных гидролиниях гидросистем. Пластинчатый фильтр типа Г41 (рис. 1.3) имеет набор дисков 1, сваренных по периферии. Фильтр оборудован перепускным клапаном и индикатором 2 загрязнения. Крышка, имеющая отверстия для подвода и отвода жидкости, крепится к корпусу болтами, а стык между ними уплотняется резиновым кольцом. Жидкость поступает в корпус фильтра и через щели между пластинами попадает во внутреннюю полость фильтра, образованную вырезами в основных пластинах. При протекании жидкости через щели содержащиеся в ней механические примеси задерживаются.

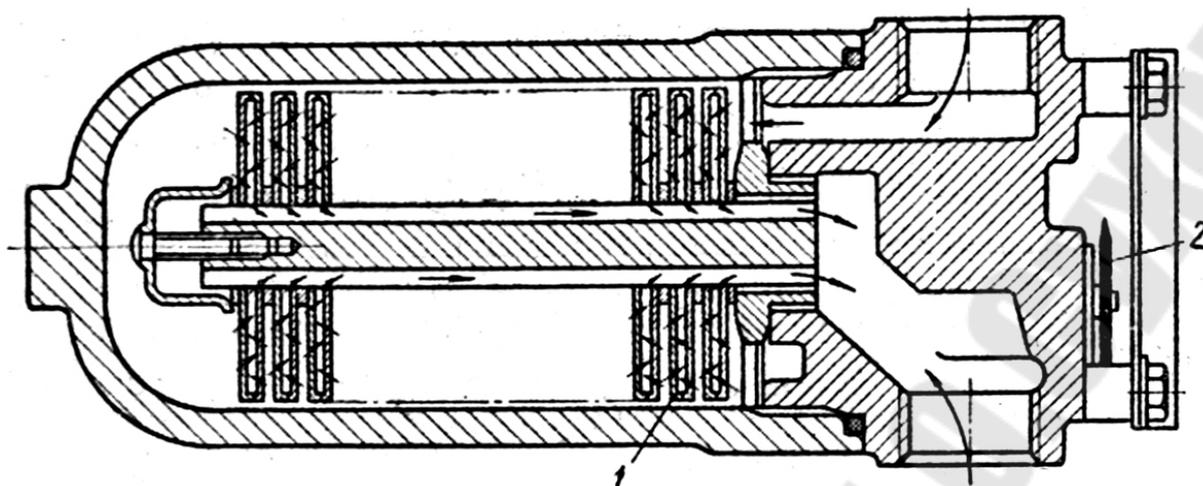


Рис. 1.3. Пластинчатый фильтр типа Г41

Пластинчатые фильтры Г41 выпускают на расход до 70 л/мин при перепаде давлений 0,1 и 0,2 МПа. В зависимости от типоразмера фильтров наименьший размер задерживаемых частиц составляет 0,08; 0,12 и 0,2 мм.

Сетчатые, проволочные и щелевые фильтры имеют небольшое сопротивление при протекании через них рабочей жидкости, но тонкость их очистки невелика.

Для улучшения очистки рабочей жидкости применяют фильтры тонкой очистки, которые имеют большое сопротивление и рассчитаны на небольшие расходы. Их устанавливают на ответвлениях от гидромагистралей. Во избежание быстрого засорения перед фильтрами тонкой очистки устанавливают фильтры грубой очистки.

В фильтрах тонкой очистки используют тканевые, картонные, войлочные и керамические фильтрующие элементы.

Фильтры с картонными и тканевыми элементами задерживают за один проход значительную (до 75 %) часть твердых включений размером более 4–5 мкм. Схема такого фильтра с комбинированным элементом, состоящим из элементов тонкой 2 и грубой 1 очистки, представлена на рис. 1.4. До открытия перепускного клапана 3 жидкость последовательно проходит через оба элемента (рис. 1.4, а). При засорении элемента тонкой очистки открывается перепускной клапан 3 и жидкость через элемент грубой очистки поступает к выходному штуцеру, минуя элемент тонкой очистки (рис. 1.4, б).

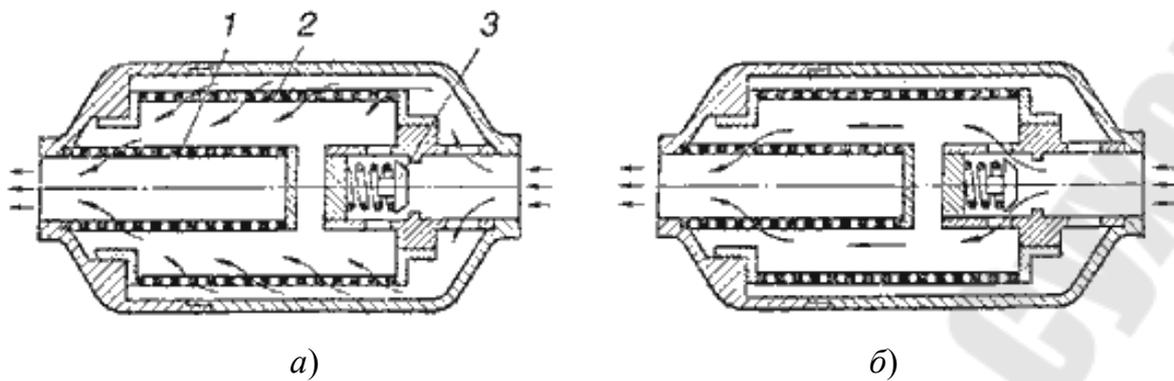


Рис. 1.4. Комбинированный фильтр из элементов грубой и тонкой очистки

Бумажный элемент обычно выполняется в виде цилиндра, стенки которого для увеличения фильтрующей поверхности собирают в складки той или иной формы.

Войлочные и металлокерамические фильтры относятся к фильтрам тонкой очистки. Их также называют глубинными, поскольку жидкость проходит через толщу пористого материала (наполнителя). Они имеют более высокую грязеемкость и сравнительно большой срок службы.

Войлочные фильтры (рис. 1.5) состоят из корпуса 1, крышки 2 с отверстиями для подвода и отвода рабочей жидкости, перфорированной трубы 3 с закрепленными на ней фильтрующими элементами в виде войлочных колец 4.

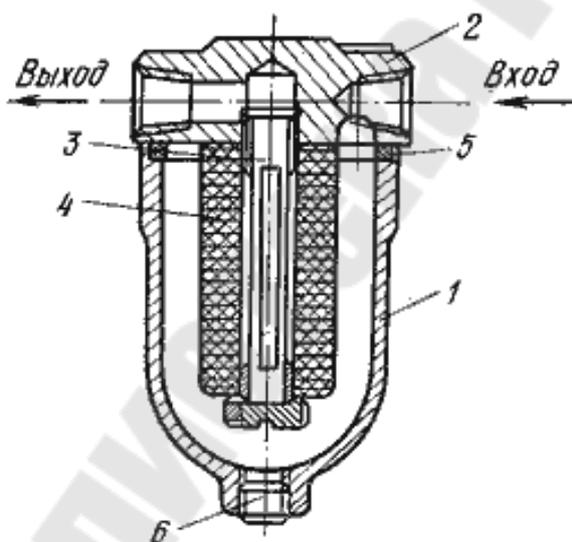


Рис. 1.5. Войлочный фильтр типа Г43

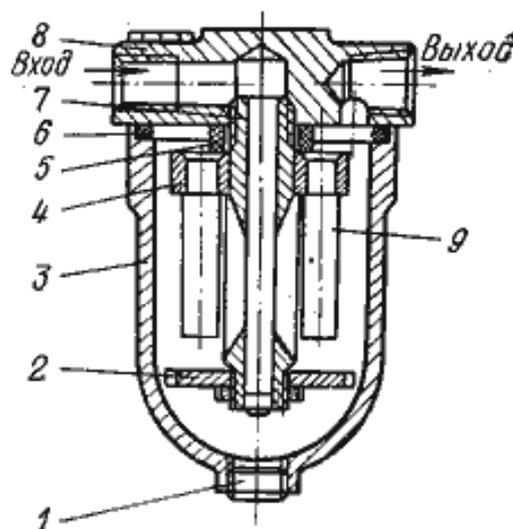


Рис. 1.6. Магнитный фильтр типа С43-3

Сепараторы имеют неограниченную пропускную способность при малом сопротивлении. Принцип их работы основан на пропуске рабочей жидкости через силовые поля, которые задерживают примеси. Магнитный фильтр С43-3 (рис. 1.6) предназначен для улавливания ферромагнитных примесей. Фильтр состоит из корпуса 3, крышки 8 с ввернутой в нее латунной трубой 7 и магнитного уловителя. Уловитель включает круглую шайбу 4 с шестью отверстиями, в которые запрессованы постоянные магниты 9. От крышки фильтра магниты изолированы фибровой прокладкой 5. В нижней части трубы укреплена латунная шайба 2, предназначенная для экранирования магнитного поля, создаваемого постоянными магнитами, и исключения его замыкания на корпус фильтра.

Содержащиеся в жидкости ферромагнитные примеси задерживаются на поверхности магнитов, а по мере необходимости удаляются из корпуса через отверстие, закрываемое пробкой 1.

Установка фильтров в гидросистему. При выборе схемы установки необходимо учесть многие факторы:

- источник загрязнений;
- чувствительность элементов гидропривода к загрязнениям;
- режим работы машины;
- рабочее давление;
- регулярность и нерегулярность обслуживания;
- тип рабочей жидкости;
- условия эксплуатации.

Установка возможна на всасывающей, напорной и сливной гидролиниях (рис. 1.7), а также в ответвлениях.

Установка фильтров на всасывающей гидролинии обеспечивает защиту всех элементов гидросистемы. Недостатки: ухудшается всасывающая способность насосов и возможно появление кавитации. Дополнительно устанавливают индикатор, выключающий привод насоса совместно с обратным клапаном, включающимся в работу при недопустимом засорении (рис. 1.7, а).

Установка фильтров в напорной гидролинии обеспечивает защиту всех элементов, кроме насоса. Засорение может вызвать разрушение фильтрующих элементов. Для этого устанавливают предохранительные клапаны (рис. 1.7, б).

Установка фильтров на сливной гидролинии наиболее распространена, так как фильтры не испытывают высокого давления, не создают дополнительного сопротивления на всасывающей и напорной

гидролинии и задерживают все механические примеси, содержащиеся в рабочей жидкости, возвращающейся в гидробак. Недостаток такой схемы заключается в создании подпора в сливной гидролинии, что не всегда является желательным (рис. 1.7, в).

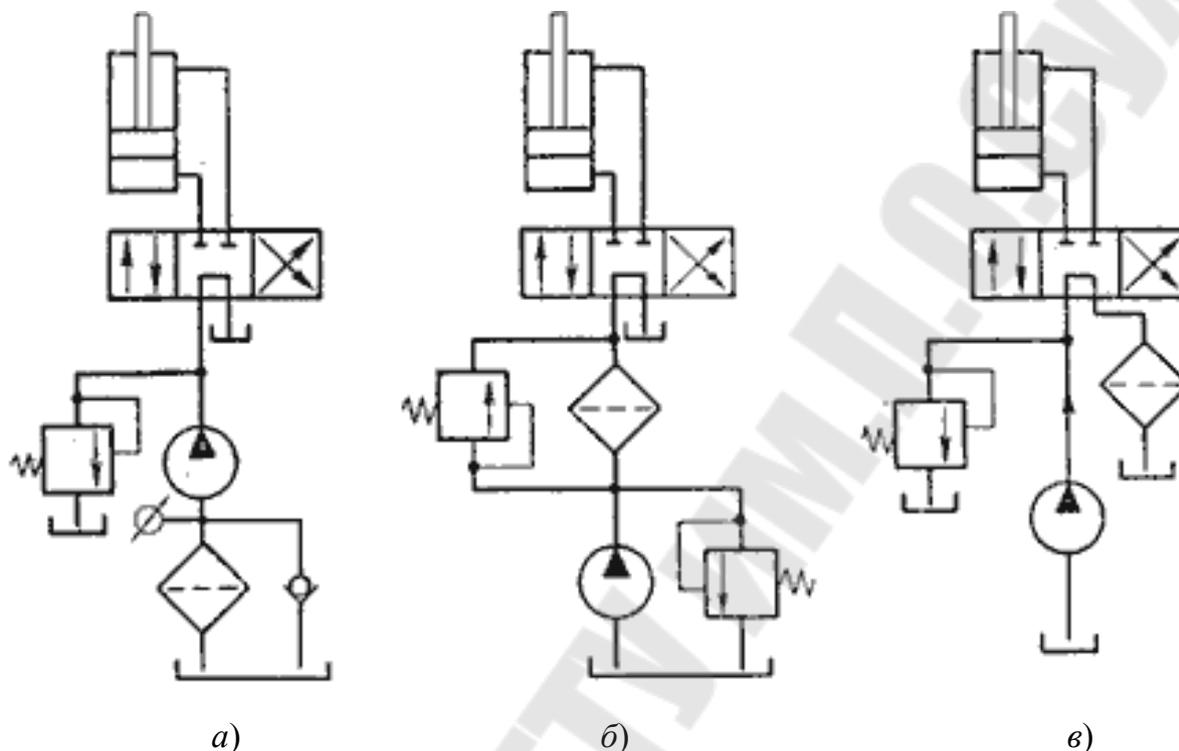


Рис. 1.7. Схемы включения фильтров:
 а – на всасывающей гидролинии; б – в напорной гидролинии;
 в – в сливной гидролинии

Установка на ответвлениях не обеспечивает полной защиты, но уменьшает общую загрязненность рабочей жидкости. Монтируется как дополнительная очистка к основной очистке. Наиболее выгодна схема установки фильтра тонкой очистки в ответвлениях от сливной гидролинии.

1.2. Порядок проведения работы

1. Изучить теорию к лабораторной работе.
2. Изучить различные типы фильтров на лабораторных материалах.
3. Получить индивидуальное задание у преподавателя и выполнить его.
4. Составить отчет к лабораторной работе в соответствии с индивидуальным заданием.

Лабораторная работа № 2

Трубопроводы и трубопроводные соединения

Цель работы: изучить типы гидролиний в гидросистемах, материал трубопроводов, схемы соединений гидролиний, типы заглушек, уплотнения неподвижных соединений и соединений труб, применение соединений различных труб; зарисовать трубопроводное соединение, проставив основные размеры.

2.1. Общие сведения

Гидролиния – устройство, предназначенное для прохождения рабочей среды в процессе работы объемного гидропривода [2, с. 202].
Различают:

- всасывающую линию, по которой рабочая жидкость движется к насосу;
- напорную линию, по которой жидкость движется от насоса к распределителю или к гидродвигателю;
- сливную линию, по которой жидкость движется в бак от гидроаппарата или от объемного гидродвигателя.

Гидролинии конструктивно могут быть выполнены в виде труб, рукавов, каналов и различных соединений.

Трубопроводы являются важной частью всей гидравлической системы. В них энергия жидкости передается на большие расстояния. Трубопроводы должны выдерживать высокие давления, пульсацию и вибрации, которым подвергается система.

Система трубопроводов – это соединительные трубопроводы между гидравлическими агрегатами и потребителями. При проектировании системы трубопроводов исходят из определенных диаметров и из имеющихся в обычной продаже трубопроводов и соединительных элементов для них. При проектировании необходимо учитывать прокладку трасс, их доступность и безопасность. При проектировании систем трубопроводов должны учитываться следующие аспекты:

- величины давления;
- величины скоростей;
- внешние факторы;
- чистота;
- возможности обзора, монтажа и демонтажа;
- безопасность, предотвращающая повреждения;
- наличие контрольных устройств;

- качество материалов;
- крепление.

Для уменьшения возможности скопления механических загрязнений и исключения остатков технологических загрязнений гидролинии необходимо делать плавными, без резких изгибов, переходов и глухих камер, а их внутренние поверхности обрабатывать очень чисто, иногда прибегая к полированию. Иногда по условиям компоновки применяют резкие изгибы каналов в виде Г-образных штуцеров и сложных сверлений в корпусе или резкие переходы от одного сечения к другому.

2.1.1. Соединения труб

Различают следующие способы соединений: неразъемный и разъемный. Под *неразъемными* соединениями в гидравлических системах понимают соединения труб сваркой или пайкой, образующих «бесконечную» цепочку. В сварных и паяных соединениях штуцеры, фланцы, пояски, трубы, колена и другие фасонные детали привариваются друг к другу. Этот способ не дает возможности изменения системы трубопроводов.

При *разъемных* соединениях трубы сначала соединяются с резьбовым элементом или фланцем. Это может выполняться различными способами: резьбовые соединения сфера по конусу; резьбовые соединения с врезными кольцами; резьбовые соединения с зажимными кольцами; резьбовые соединения с отбортовкой; резьбовые соединения с коническим штуцером под сварку; фланцевые соединения.

Все трубные соединения выполняют функции фиксации и уплотнения. Кроме того, различают резьбовые соединения труб и резьбовые соединения элементов системы (вентилей, опорных плит, блоков управления, насосов).

Резьбовое соединение сфера по конусу (рис. 2.1, а). Это соединение выполняется при помощи резьбы на трубе. Уплотнение обеспечивается работой металла по металлу. Фиксация осуществляется за счет резьбы. Используются для вспомогательных целей в диапазоне низкого давления.

Резьбовые соединения с врезными кольцами. Наиболее применяемый способ трубного соединения. Врезное кольцо насаживается на трубу при помощи специального устройства и выполняет функцию фиксации и уплотнения резьбового элемента, выполняется металлом по металлу. Фиксация кольца относительно резьбового соединительного элемента выполняется при помощи накидной гайки. Эти соеди-

нения имеют утечки, из-за уплотнения металла по металлу. В настоящее время устанавливаются одинарные (рис. 2.1, б) и двойные (рис. 2.1, в) врезные кольца.

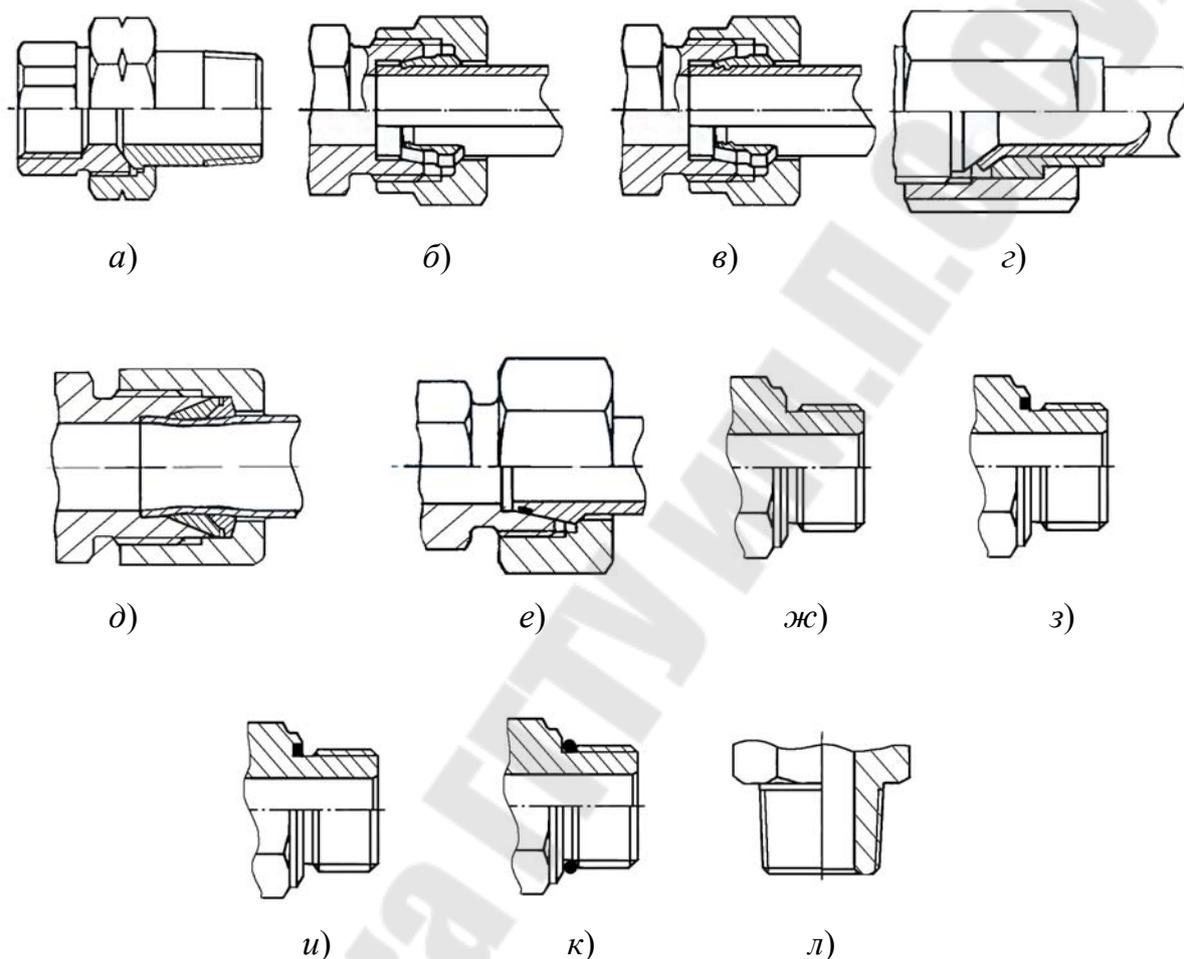


Рис. 2.1. Виды соединений трубопроводов

Двойное врезное кольцо повышает фиксацию и уплотнение за счет врезания в тело трубы по двум линиям.

Одним из основных признаков всех резьбовых соединений с врезными кольцами является наличие внутреннего конуса с углом 24° на соединительном резьбовом элементе.

Резьбовые соединения с уплотняющей отбортовкой (рис. 2.1, г).

Фиксация достигается при помощи отбортовки конца трубы, прижимающейся к проточке на штуцере. Уплотнение «металл по металлу» работает при помощи опорного кольца.

Резьбовые соединения с зажимным кольцом (рис. 2.1, д). В этих соединениях должны использоваться нестандартные резьбо-

вые соединительные элементы. Они образуют ответную деталь резьбовому соединению с врезными кольцами, в котором фиксация обеспечивается зажимом кольца на поверхности трубы. Уплотнение «металл по металлу» используется для трубы и для резьбового соединительного элемента.

Резьбовые соединения с коническим штуцером под сварку (рис. 2.1, е). В этом соединении конический штуцер приваривается к трубе. Уплотнение между штуцером и соединением эластичное. Фиксация обеспечивается при помощи накидной гайки и сварного шва.

Резьбовое присоединение компонентов системы. Во всех присоединениях фиксация между ввертываемым элементом и компонентом системы обеспечивается за счет резьбы. Резьбовые шейки отличаются только видом уплотнения резьбового элемента относительно подключаемых компонентов системы:

– уплотнительная кромка (рис. 2.1, ж). На резьбовых шейках протачивается уплотнительная кромка, обеспечивающая уплотнение «металл по металлу» на компонентах системы. Необходимым условием является перпендикулярность уплотняющей поверхности к резьбе и отсутствие каких-либо поперечных рисок;

– резьбовой соединительный элемент с O-образной прокладкой (рис. 2.1, з). При использовании такого соединительного элемента уплотнение обеспечивается за счет O-образной прокладки. Необходимым условием является перпендикулярность уплотняющей поверхности к резьбе и отсутствие каких-либо поперечных рисок. Эластичное уплотнение;

– резьбовое соединение с профильной прокладкой (рис. 2.1, и). В этих соединениях устанавливается уплотняющее кольцо прямоугольного сечения. Выход резьбы в отверстии должен быть полностью зачищен от заусенцев для обеспечения безопасности уплотнительного кольца. Прижимная поверхность должна быть перпендикулярной к резьбе;

– резьбовое соединение с O-образной прокладкой под резьбовым отверстием (рис. 2.1, к). В этом соединении O-образная прокладка закладывается в канавку выхода резьбы резьбовой шейки;

– коническая резьба (рис. 2.1, л). Уплотнение «металл по металлу». Обычно они используются с посадкой на клеящие вещества. Отличаются высокой опасностью разрыва и произвольным положением конца соединяемой трубы.

В качестве уплотняющих элементов могут быть использованы кольца различного сечения, изготовленные из резины марок, соответствующих типу применяемых рабочих жидкостей. Наиболее широкое распространение получили резиновые кольца круглого сечения (рис. 2.2).

Уплотнение (рис. 2.2, *г* и *д*) имеет зазор между поверхностями, в который кольцо под действием давления может выдавливаться. При низких давлениях (до 5 МПа) эти кольца устанавливаются в канавку (рис. 2.2, *а*). При более высоких давлениях в зазор устанавливают защитные кольца (рис. 2.2, *в* и *е*). Защитные кольца выполняют из фторопласта, твердой резины, капрона, кожи и других материалов, твердость которых выше твердости резиновых колец.

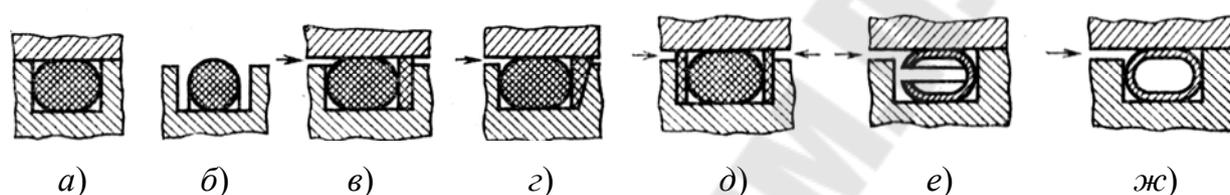


Рис. 2.2. Схемы уплотнений упругими кольцами круглого сечения

Защитные кольца устанавливают со стороны более низкого давления. Если же давление знакопеременное, то уплотнительное кольцо снабжается двумя защитными кольцами (рис. 2.2, *д*).

Уплотнения резиновыми кольцами имеют недостатки, ограничивающие область их применения, так как резина может со временем набухать или усаживаться и зависит от температуры. При низких температурах резина твердеет, а при высоких температурах выгорает или плавится. Эти недостатки отсутствуют у металлических самораспорных толсто-стенных колец (рис. 2.2, *е*). Они применяются при температуре до 800 К и давлений до 100 МПа. При высоких температурах рабочей жидкости применяются полые металлические кольца (рис. 2.2, *ж*). Незаполненные газом кольца применяют при давлениях до 0,7 МПа. Для более высоких давлений кольца заполняют инертным газом давлением 4–5 МПа и используют в системах с таким же давлением.

Для предотвращения утечек жидкости наружу соединяющий канал снабжается заглушкой. В устройствах гидроавтоматики применяются самые разнообразные типы заглушек (рис. 2.3).

Простыми заглушками являются пробка (рис. 2.3, *а*) или шарик (рис. 2.3, *б*), которые ставятся в канал по плотной посадке. Для предотвращения их выдавливания на наружной кромке, в основном при установке шарика, производится завальцовка канала. Такие заглушки являются неразборными.

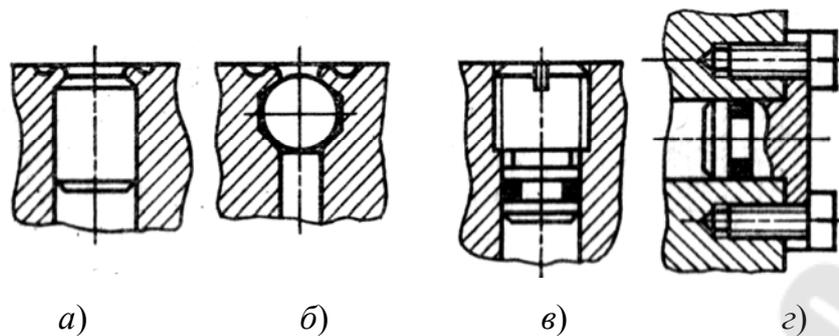


Рис. 2.3. Типы заглушек

На рис. 2.3, в показана заглушка с уплотнением, крепление которой в корпусе обеспечивается с помощью резьбы на ее хвостовой части. Такие заглушки применяются в тех случаях, когда глубина канала для заглушки достаточно велика, а вокруг наружного отверстия канала пространство ограничено.

Если вокруг отверстия канала на плоскости корпуса достаточно места, а длина канала под заглушку ограничена, то применяется заглушка с уплотнением (рис. 2.2, г) и крепится к корпусу винтами.

2.1.2. Шланги

Шланги являются надежными элементами энергопередачи в гидравлических системах. Они должны надежно компенсировать движения трубопроводов или являться продольными компенсаторами на длинных участках систем. Шланговые (или рукавные) линии состоят из шлангов и соответствующей арматуры. При этом арматура согласуется с системой соединений, принятой для данных трубопроводов.

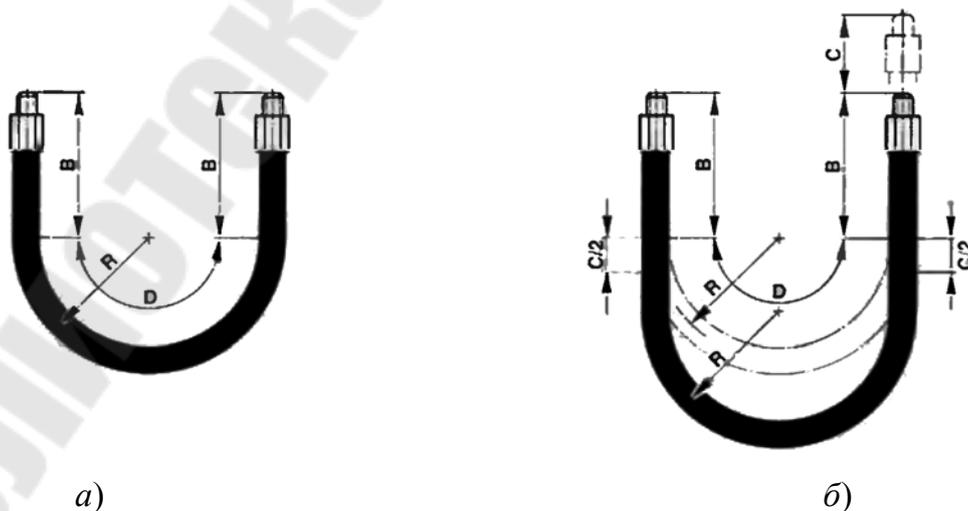


Рис. 2.4. Расчет жестко установленных (а) и жестко передвижных (б) шлангов

Выбор арматуры зависит от системы трубопроводной обвязки: соединения с уплотняющей отбортовкой; с врезными кольцами; на приварных конусах или на фланцах. Используемая в гидравлических системах арматура изготавливается из стали.

При выборе шлангов необходимо в общем исходить из диаметра условного прохода и давления в линии. Кроме того при выборе необходимо учитывать стойкость материалов к среде, рабочую температуру и влияние внешних условий.

В напорных и сливных шланговых линиях скорость движения жидкости для снижения уровня шума не должна превышать 2–3 м/с.

Необходимая длина шланговой линии рассчитывается с учетом минимального радиуса изгиба (рис. 2.4).

2.1.3. Монтаж шланговых линий

Правильная прокладка шланговых линий повышает срок их эксплуатации. При проектировании шланговых линий необходимо выполнять следующие требования:

- 1) избегать скручивания шланга при монтаже;
- 2) шланговые линии должны монтироваться так, чтобы на них действовала только нагрузка от собственного веса (рис. 2.5);

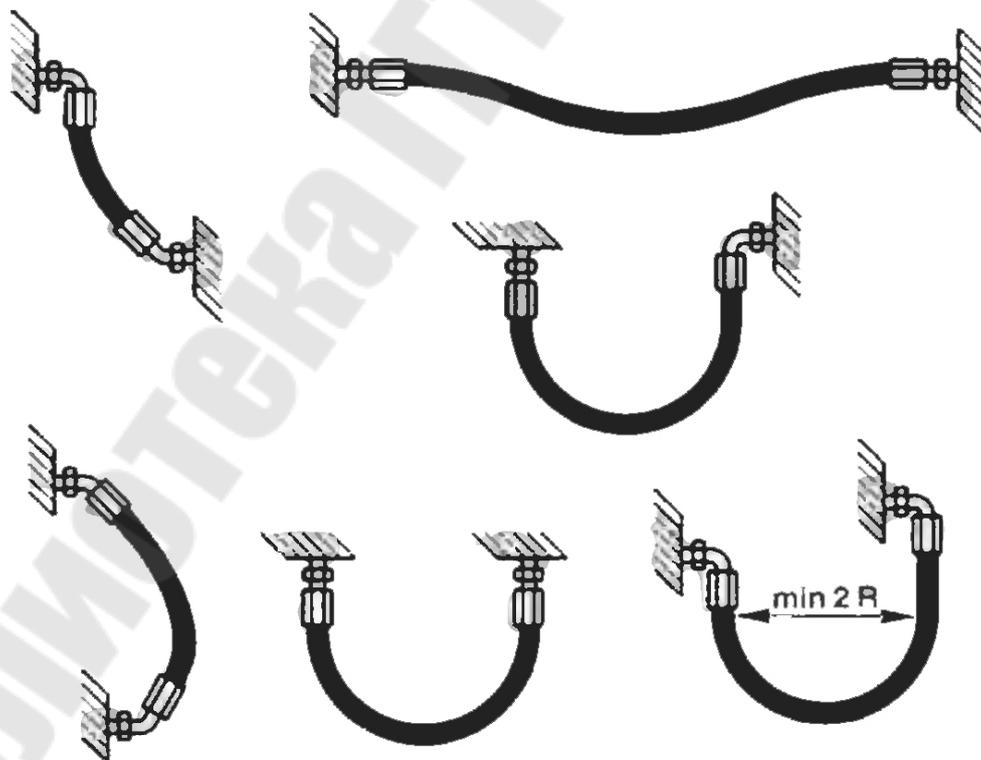


Рис. 2.5. Примеры правильной прокладки шланговых линий

3) при сложной конфигурации прокладки длина шланговых линий должна выбираться так, чтобы оставалась зона без изгиба;

4) арматура должна выбираться таким образом, чтобы не было дополнительных нагрузок на шланг;

5) шланговые линии должны быть защищены от внешних воздействий. Элементы конструкций с острыми краями должны иметь защитные покрытия. В случае необходимости шланги сами должны иметь защитные покрытия.

2.1.4. Применение соединений различных труб

В станочных гидроприводах применяют стальные бесшовные холоднодеформированные трубы по ГОСТ 8734–75, стальные прецизионные трубы по ГОСТ 9567–75, медные трубы по ГОСТ 617–72, алюминиевые трубы по ГОСТ 18475–82, латунные трубы по ГОСТ 494–76 и рукава высокого давления по ГОСТ 6286–73 [3, с. 365].

Соединения трубопроводов применяются для давлений до 6,3 МПа (со стальными трубами до 16 МПа). Соединения медных, алюминиевых и латунных труб чаще всего применяются в системах низкого (до 2,5 МПа) давления. Эти трубы используются также для дренажных линий, подключения манометров, для линий управления.

Соединения трубопроводов с врезающимся кольцом применяются для давлений до 16 МПа, в специальных случаях до 40 МПа. Такие соединения требуют применения прецизионных труб.

Разборные соединения рукавов используются со штуцерами, угольниками, тройниками и крестовинами.

2.1.5. Общие требования по монтажу трубопроводов

Приступая к монтажу трубопровода, следует проверить правильность выбора его диаметра; следует тщательно очистить трубопровод от окалины, грязи и ржавчины. Внутренние поверхности должны быть протравлены и промыты в специальных промывочных ваннах, просушены сухим сжатым воздухом и закупорены до начала установки в машину.

Скобы для крепления труб следует устанавливать как можно ближе к коленам или изгибам. Расстояние между опорами или скобами выбирают в зависимости от наружного диаметра трубы.

Ко всем элементам трубопровода необходимо иметь свободный доступ. Трубопроводы должны отсоединяться без снятия агрегатов.

Штуцера следует располагать так, чтобы можно было осуществлять сборку и разборку каждого соединения в отдельности. При

большой длине трубопровода необходимо предусматривать компенсацию температурных расширений.

В штуцерах, которыми трубопроводы присоединяют к агрегатам, нарезают цилиндрическую и коническую резьбы. Коническая резьба не требует уплотняющих прокладок, однако в соединениях, подвергаемых частой разборке, применять ее не следует, так как она теряет герметичность.

Трубопроводы должны быть жестко закреплены во избежание утечек рабочей жидкости в трубных соединениях вследствие ослабления из-за вибраций. Кронштейны для крепления труб устанавливаются на расстоянии не более 1,5 м на прямых участках трубопровода, а при изгибах и у трубных соединений – с двух сторон.

Трубопроводы у места присоединения к ним шлангов должны иметь опоры. Радиус изгиба должен быть не менее десяти наружных диаметров шланга.

Смонтированную систему проверяют на герметичность (обычно полуторным рабочим давлением).

Гидравлические трубопроводы следует проектировать без местных возвышений, чтобы в них не собирался воздух, а также без изгибов, препятствующих сливу жидкости. В воздухопроводах необходимо избегать резких изменений направления движения воздуха и «воздушных мешков», способствующих выделению влаги и скоплению конденсата. В самой высокой точке трубопровода устанавливают воздухопускное устройство.

Радиусы изгиба труб. Наименьшие радиусы изгиба труб и наименьшие длины прямых участков указаны на рис. 2.6. Длина изогнутого участка A определяется по формуле

$$A = \frac{\pi \cdot \alpha}{180} \cdot \left(R + \frac{d_H}{2} \right),$$

где R – наименьший радиус изгиба, мм; d_H – наружный диаметр трубы, мм.

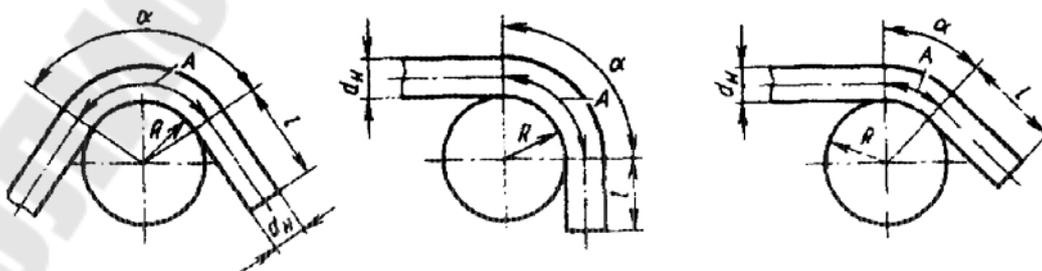
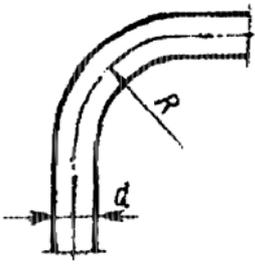


Рис. 2.6. Радиусы изгиба труб

Наименьшая длина прямого участка необходима для зажима конца трубы при изгибе.

Радиусы изгиба стальных труб зависят от их диаметров и толщины стенок (табл. 2.1).

Таблица 2.1

	Диаметр трубы d , мм	Наименьший радиус изгиба при толщине стенки, мм	
		До 2	Свыше 2
	От 5 до 20	$4d$	$3d$
	От 20 до 35	$5d$	$3d$
	От 35 до 60	–	$4d$
	От 60 до 140	–	$5d$

2.2. Порядок проведения работы

1. Изучить теорию к лабораторной работе.
2. Изучить трубопроводы, применяемые в лабораторных установках и в различных гидросистемах.
3. Получить индивидуальное задание у преподавателя и выполнить его.
4. Составить отчет к лабораторной работе в соответствии с индивидуальным заданием.

Лабораторная работа № 3 Гидравлические баки для гидросистем

Цель работы: изучить назначение и конструктивные разновидности гидробаков; устройства, входящие в комплект гидробака; основные требования при проектировании гидробаков; зарисовать гидробак, проставив основные размеры.

3.1. Общие сведения

3.1.1. Конструктивные разновидности

Гидробаком называется гидравлическая емкость, предназначенная для питания объемного гидропривода рабочей жидкостью [2, с. 216].

Гидробак имеет следующие функции:

- резервуар для масла системы;
- охладитель;
- грубый фильтр, для отстаивания загрязнений;
- отделитель воздуха и воды;
- источник для насоса и т. д.

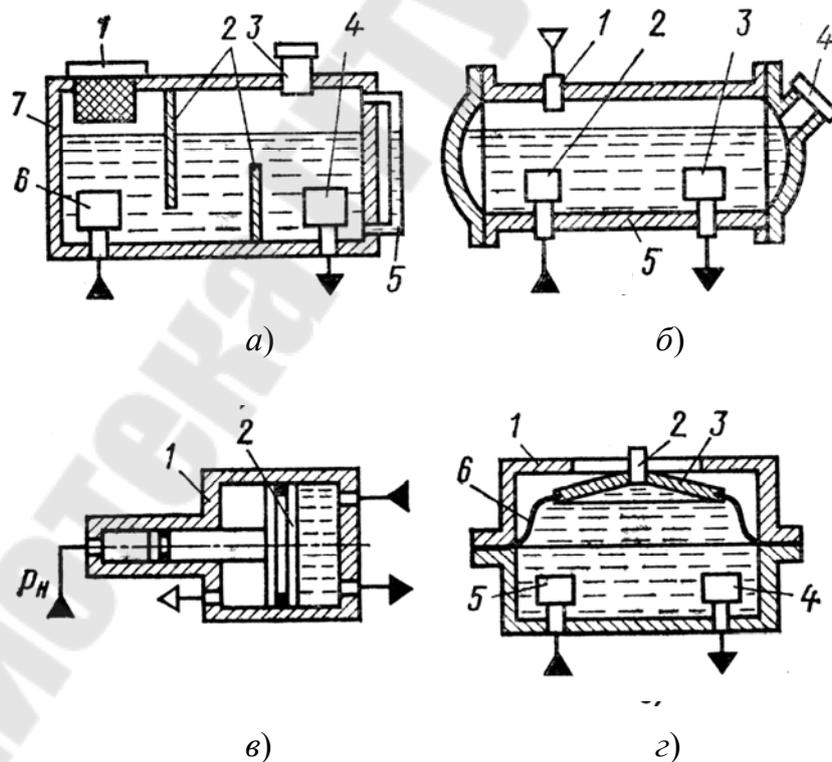


Рис. 3.1. Схемы гидробаков

Наиболее простым баком является гидробак открытого типа (рис. 3.1, *a*). В корпус 7 бака заливается рабочая жидкость через горловину 1 с сеткой. Ее уровень регистрируется с помощью маслоуказателя 5. Жидкость попадает в насос из бака через насадок 4, а отработанная жидкость из гидропривода попадает в бак через насадок 6. Перегородки 2 и 3 служат для успокоения жидкости, чтобы взвешенные механические частицы успели опуститься на дно, а пузырьки газа – всплыть на поверхность. Объем над свободной поверхностью жидкости сообщается с окружающим воздухом через сапун 3, содержащий фильтр для защиты внутреннего объема бака от попадания грязи из окружающей бак среды.

Иногда для сбора ферромагнитных частиц, содержащихся в рабочей жидкости, внутри гидробака устанавливаются постоянные магниты. Для периодической очистки бака на его стенках делаются крышки-люки.

Недостатком рассмотренной схемы бака является то, что над свободной поверхностью жидкости постоянно обновляется воздух, содержащий влагу. Это происходит из-за изменения объема жидкости, участвующей в работе гидропривода. Воздух входит в бак и выходит из него через сапун. Рабочая жидкость в результате работы гидропривода нагревается и имеет температуру выше, чем температура окружающей среды. Воздух над свободной поверхностью также нагревается, а поскольку температура стенок бака, соприкасающихся с этим воздухом, ниже, то на стенках бака оседает конденсат воды, который, скапливаясь, образует крупные капли воды. Вода, попадая в рабочую жидкость, ухудшает ее свойства и приводит к уменьшению времени между моментами замены жидкости. Кроме того, фильтр сапуна не гарантирует исключения попадания грязи в гидробак. Мелкие и тонкие волокнистые частицы все-таки проходят через него и скапливаются в гидросистеме.

Указанных недостатков не имеет гидробак (рис. 3.1, *б*). Он содержит насадок 2, через который жидкость из гидросистемы попадает в бак, и насадок 3, через который жидкость поступает к насосу. Корпус 5 бака герметичен и закрывается крышкой 4, через которую бак перед работой заполняется рабочей жидкостью.

Основной особенностью рассматриваемого гидробака является наличие избыточного давления над свободной поверхностью жидкости. Это давление обеспечивается за счет подачи инертного газа, например азота, через штуцер 1. При этом достигается изоляция рабо-

чей жидкости от окружающего воздуха и облегчается работа насоса, если его конструкция требует обеспечения избыточного давления на входе во всасывающую гидролинию.

К недостаткам такого гидробака следует отнести необходимость заправки инертным газом и контакт рабочей жидкости с газом, находящимся под давлением (0,3 МПа), в результате чего происходит более интенсивное растворение газа в рабочей жидкости со всеми вытекающими отсюда последствиями.

Отсутствует контакт рабочей жидкости с газом и обеспечивается избыточное давление жидкости в гидробаке (рис. 3.1, в). В его корпусе 1 цилиндрической формы размещен поршень 2. Поршень снабжен дополнительным плунжером, к торцу которого рабочая жидкость из гидросистемы попадает под давлением p_n . Это давление создает избыточное давление в гидробаке меньшее, чем давление p_n на величину, пропорциональную отношению площади плунжера к площади поршня.

К недостаткам такого бака следует отнести его относительную сложность из-за наличия поршня и плунжера с уплотнительными устройствами.

Наиболее простым гидробаком, обеспечивающим герметизацию полости с рабочей жидкостью от окружающего воздуха и газа вообще, является гидробак с эластичным разделителем (рис. 3.1, г). В его корпусе 1 размещена эластичная диафрагма б, выполненная, например, из резины с жестким центром 3, имеющим форму конуса. Жидкость перед работой может заливаться или через специальный штуцер, или через насадок 5. Воздух из бака удаляется через штуцер 2. К насосу жидкость поступает через насадок 4.

Благодаря отсутствию контакта рабочей жидкости с газом или воздухом значительно увеличивается срок ее службы, а также срок службы и надежность гидросистемы.

Различают гидробаки, находящиеся под атмосферным и избыточным давлением. В связи с этим отличаются и их условные обозначения (рис. 3.2).



Рис. 3.2. Условные изображения гидробаков

На рис. 3.2, *а* показано условное изображение гидробаков, находящихся под атмосферным давлением, Таким образом изображаются на гидросхемах гидробаки, приведенные на рис. 3.1, *а* и *г*.

Гидробаки, находящиеся под избыточным давлением (рис. 3.1, *б* и *в*), изображаются, как показано на рис. 3.2, *б*.

Важное значение для работы гидросистем имеют насадки, по которым жидкость поступает в гидробаки из гидросистемы и из гидробака в насос.

Если рабочую жидкость впускать в гидробак из обыкновенного насадка в виде короткого отрезка трубы, то поток жидкости, вытекающий из такого насадка и обладающий значительным запасом кинетической энергии, будет, во-первых, интенсивно перемешивать жидкость в баке, а, во-вторых, приводить к выделению пузырьков газа и вспениванию жидкости. Перемешивание же жидкости не позволяет механическим частицам, содержащимся в жидкости, вовремя осесть, а пузырькам газа, особенно мелким, – подняться к поверхности.

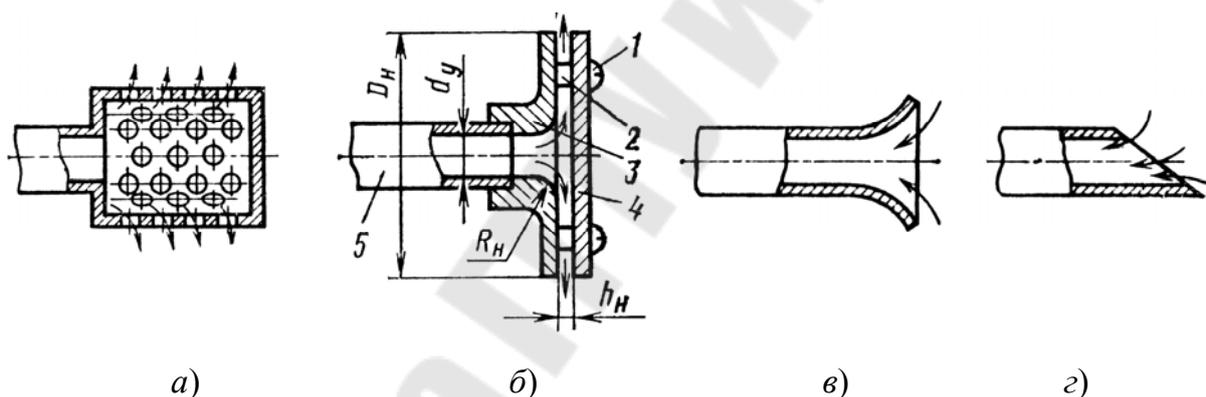


Рис. 3.3. Схемы входных (*а* и *б*) и всасывающих (*в* и *г*) насадков

Для уменьшения перемешивания жидкости иногда применяются насадки в виде полого цилиндра с глухим дном, на цилиндрической поверхности которого располагаются небольшие отверстия (рис. 3.3, *а*). Однако такой насадок не позволяет решить вопрос пенообразования, так как в нем имеются участки, где происходит возмущение потока или его струек, приводящее к выделению из рабочей жидкости пузырьков нерастворенного газа, а следовательно, к образованию пены.

Указанные недостатки отсутствуют у насадка (рис. 3.3, *б*). Жидкость из трубы 5 попадает в центральное отверстие диска 3, которое имеет радиус закругления R_n , а затем в щель, образованную диском 3 и диском 4. Зазор h_n обеспечивается тремя втулками 2. Диск 4 крепит-

ся к диску 3 винтами, проходящими через втулки 2, которые расположены на краю дисков.

Работа такого насадка основана на падении кинетической энергии потока за счет уменьшения его скорости, так как площадь кольцевого зазора между двумя дисками от центра к краям уменьшается.

Экспериментально установлено, что минимальная скорость жидкости, вытекающей из насадка, при которой визуально не наблюдается мелких пузырьков газа, равна примерно 0,03 м/с.

Радиус закругления отверстия диска 3 следует выбирать равным половине внутреннего диаметра трубы: $R_n \approx 0,5 \cdot d_y$.

Зазор между дисками связан с диаметром трубы: $h_n = 0,125 \cdot d_y$.

Для обеспечения скорости потока на выходе из зазора между дисками, равной 0,03 м/с, необходимо диаметр дисков выбирать исходя из максимальной подачи насоса по формуле

$$D_n = \frac{85}{d_y} \cdot Q_{n,\max}$$

Такой насадок не приведет к появлению пены при пропуске через него минеральных масел. Кроме того, он не приводит к перемешиванию жидкости в баке.

При проектировании насадков, по которым жидкость из бака поступает во всасывающую гидролинию, стремятся уменьшать потери энергии при входе жидкости в насадок, который принято называть всасывающим.

Наиболее подходящим для этих целей является коноидальный насадок (рис. 3.3, в), форма которого обеспечивает наименьшее сопротивление потоку. Однако на практике иногда применяются насадки более простые в технологическом отношении, которые представляют собой отрезок трубы со скошенным под углом торцом (рис. 3.3, г). Угол между плоскостью среза и осью трубы составляет обычно 45°.

3.1.2. Определение объема гидробака

Выбор объема гидробака определяется исходя из функций, которые он выполняет, а также конструкции бака с точки зрения обеспечения отстоя жидкости и подготовки ее поступления в насос. Объем бака должен быть не менее объема рабочей жидкости, участвующей в рабочем цикле системы. С точки зрения излучения тепла его объем должен быть увеличен.

Вместимость гидробака W принимается в 1,5–2 раза больше суммарного внутреннего объема всех элементов гидропривода, но не менее $0,3 \cdot Q_{\text{ном}}$ и не более 1–3-минутной подачи насоса $Q_{\text{ном}}$.

Окончательно вместимость гидробака принимается по ближайшему большему значению из ряда ГОСТ 12448–80: 0,4; 0,63; 1; 1,6; 2,5; 4; 6,3; 10; 16; 25; 40; 63; 100; 125; 160; 200; 250; 320; 400; 500; 630; 800; 1000 и т. д. [4, с. 8].

3.1.3. Основные требования при проектировании гидробаков

Размеры бака и его форма имеют большое значение, поэтому он, как и другие элементы гидросистемы, должен быть специально спроектирован в соответствии с назначением. При проектировании необходимо соблюдать некоторые требования:

1) обеспечивать удобство монтажа и демонтажа гидроаппаратов и трубопроводов;

2) легкий доступ к регуляторам и контролирующим устройствам;

3) фильтры должны располагаться выше уровня масла в баке так, чтобы их можно было легко заменить без существенной утечки масла;

4) заливные горловины должны быть доступны для обслуживания;

5) ножки бака должны быть высотой не менее 100 мм, для лучшего охлаждения конструкции;

6) для увеличения способности бака отделять грязь и воду его дно должно быть немного наклонено (более глубокая часть напротив входного или выходного патрубка) (рис. 3.4);

7) сливной кран устанавливается так, чтобы все загрязнения могли быть легко слиты, т. е. в самой низкой точке бака (рис. 3.4);

8) минимальный диаметр сливного отверстия должен быть не меньше 25 мм;

9) должны быть установлены перегородки внутри бака, разделяющие зону слива и всасывания и для максимально возможного охлаждающего действия (рис. 3.4, а);

10) для обеспечения легкости доступа к внутренней поверхности при ежегодной чистке бак должен иметь большие смотровые люки размером более 200×200 мм со съемными крышками;

11) заливная горловина должна быть поднята над поверхностью бака как минимум на 20 мм, иметь пропускную способность более 20 л/мин и снабжена сетчатым фильтром;

12) внутренняя полость бака должна быть герметичной;

13) глубина сливной и дренажной линии должна быть ниже минимального уровня жидкости в баке на 4–5 внутренних диаметров трубопроводов, в то же время расстояние от края трубопровода до дна бака не должно быть меньше 2-х диаметров трубопровода. Это необходимо, чтобы устранить вспенивание в линии возврата и предотвратить затягивание воздуха в линию всасывания, особенно когда резервуар наклоняется в сторону;

14) устанавливать маслоуказатели на минимальном и максимальном уровне масла в баке;

15) при необходимости нужно устанавливать магнитные патроны в сливном отсеке и легко демонтироваться;

16) в боковых стенках нужно предусмотреть отверстия для транспортирования бака с жидкостью или без нее;

17) рекомендуется подвергнуть внутреннюю часть бака поверхностной обработке, причем используемая краска должна быть стойкой к горячему маслу гидросистемы.

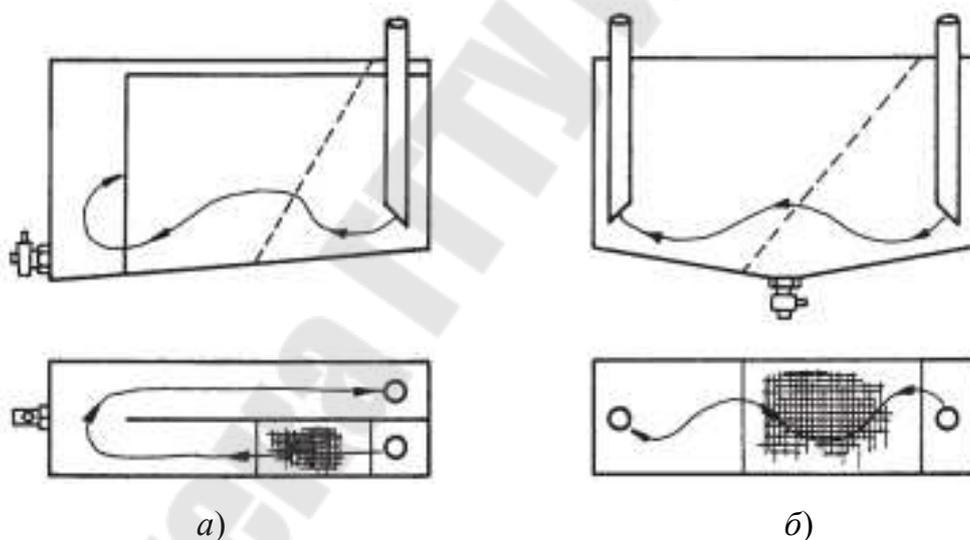


Рис. 3.4. Схемы расположения баков

3.2. Порядок проведения работы

1. Изучить теорию к лабораторной работе.
2. Изучить гидравлические баки, применяемые в лабораторных установках и в различных гидросистемах.
3. Получить индивидуальное задание у преподавателя и выполнить его.
4. Составить отчет к лабораторной работе в соответствии с индивидуальным заданием.

Лабораторная работа № 4

Меры по снижению шума и вибрации в гидросистемах

Цель работы: изучить источники вибрации и шума; способы виброизоляции насосной установки в целом; методы демпфирования колебаний трубопроводов, насосов и электродвигателей; меры по снижению шума, производимого насосными установками и гидроаппаратами.

4.1. Общие сведения

4.1.1. Источники вибрации и шума

В гидравлических приводах шум (корпусной и жидкостный) создается разнообразными источниками, передается несколькими путями и в конце концов излучается разными поверхностями (рис. 4.1). Отдельные элементы, такие как приводной двигатель с насосом, клапаны для управления или регулирования энергетического потока и т. п. часто объединяются в функциональные группы, расположенные на гидробаке.

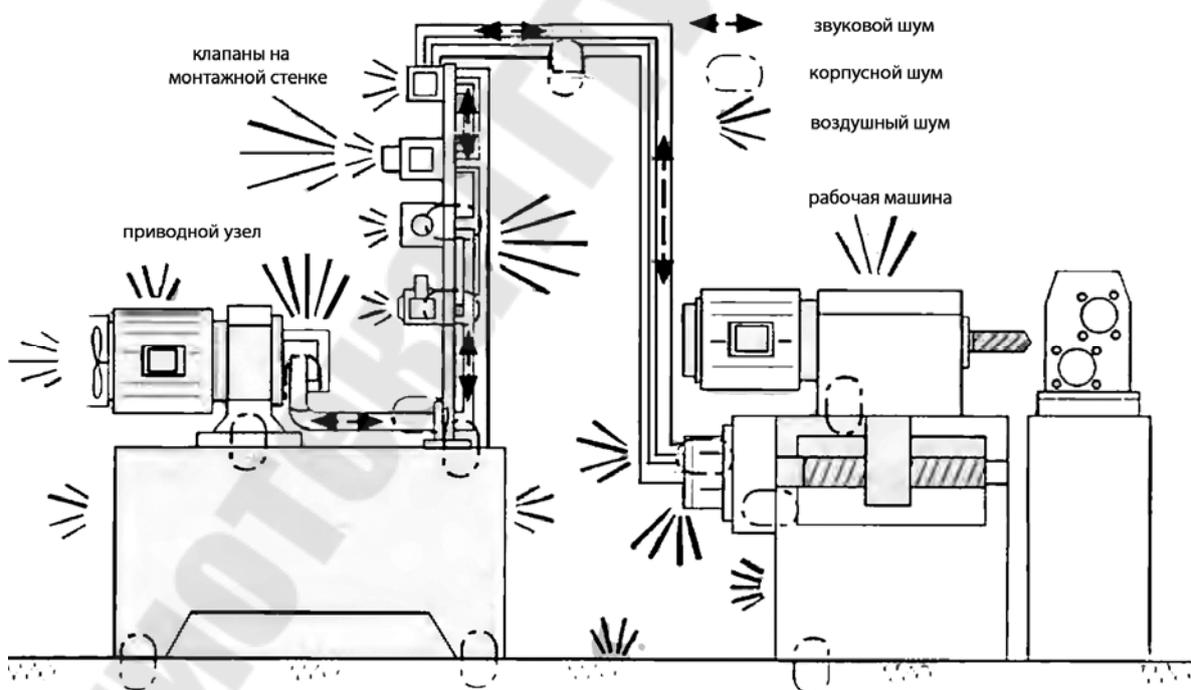


Рис. 4.1. Звуковой поток в гидроприводе и системах управления

Как правило [7, с. 208], гидроагрегаты устанавливаются отдельно от рабочей машины. Для соединения с гидродвигателями этих агрегатов служат трубо- и/или шлангопроводы. При составлении схемы

шумового потока для этой приводной системы выясняется, что основной источник воздушного шума – это насос, который к тому же генерирует корпусный и жидкостный шум. Дальнейшей передаче и распространению корпусного шума содействует механическая связь между моторно-насосной группой и гидробаком. Еще один способ передачи корпусного шума возникает при непосредственной связи насоса с вентилями через трубопроводы.

Кроме того, сам принцип подачи жидкости насосом обуславливает постоянный жидкостный шум в виде периодических пульсаций давления. Жидкостный шум распространяется по всей системе труб. Эти колебания воспринимает сам насос, а также все последовательно включенные элементы, в том числе гидроагрегат и рабочая машина.

Колебания передаются и примыкающим полам и стенам, вдоль которых проложены трубы. Все эти приемники колебаний излучают воздушный шум, непосредственной причиной которого является процесс подачи жидкости насосом.

Гидроклапаны также генерируют воздушный корпусный и жидкостный шум. При переключении распределителей ходовых клапанов потоки жидкости затормаживаются или ускоряются. При этом возникают колебания давления, распространяющиеся в установке в виде жидкостного шума. Клапаны могут генерировать высокочастотные шипящие шумы, обусловленные турбулентными и кавитационными явлениями в местах дросселирования.

Возбужденный в детали корпусный шум в дальнейшем передается корпусом и распространяется в примыкающей структуре. Процесс распространения зависит от изолирующих или демпфирующих свойств структуры. Излучающая поверхность, колеблясь с некоторой скоростью, создает в своем окружении переменное давление воздуха (т. е. воздушный шум), которое зависит от определенных свойств этой поверхности (площадь, форма, материал и толщина).

4.1.2. Виброизоляция насосной установки

В идеальном [5, с. 73] случае насос и приводной электродвигатель собирают на общей плите, которую затем монтируют на крышке масляного резервуара с применением амортизаторов.

Применяют амортизаторы резиновые, резинометаллические (рис. 4.1, а), пластмассовые и комбинированные.

Широкое распространение получили резинометаллические амортизаторы с мягким демпфирующим элементом (рис. 4.1, б). В случае

разрушения резинового упругого элемента или его отслоения от металлических деталей амортизатор продолжает удерживать амортизируемый объект на несущем основании.

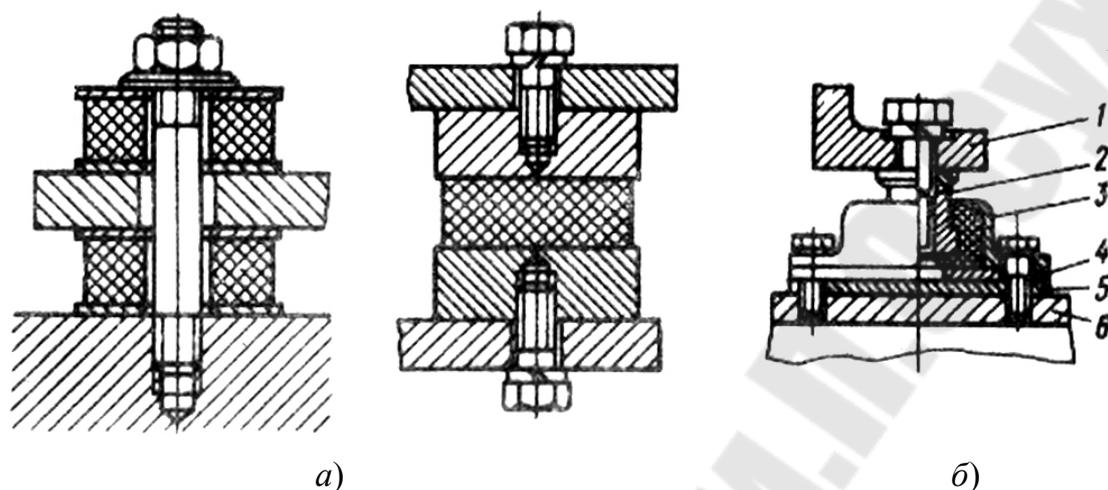


Рис. 4.1. Амортизаторы:

a – резинометаллические; *б* – резинометаллические с мягким демпфирующим элементом:

1 – лапы амортизируемого объекта; 2–4 – детали металлической арматуры, соединенные с резиновым массивом; 5 – накладка, приваренная к фундаменту; 6 – фундамент

Демпфирование передачи вибраций монтажной плите и гидравлическому резервуару привело к снижению уровня звуковой мощности, создаваемого гидросистемой на 2–3 дБА.

Значительное уменьшение уровня звуковой мощности обеспечивается при установке между насосом и его опорой звукопоглощающего фланца, представляющего собой пербутановое кольцо, привулканизированное к металлической втулке. Снижение уровня звуковой мощности в этом случае составляет от 2 до 5 дБА.

Эффективность применения эластичных опор зависит от характеристик упругого материала типа опоры и может быть определена как отношение амплитуды колебаний монтажной плиты насосной установки при непосредственном креплении к ней насоса и электродвигателя к амплитуде колебаний монтажной плиты при использовании эластичных опор между насосной установкой и плитой.

Как правило, резинометаллические виброопоры эффективно демпфируют колебания на средних и высоких частотах и исключают их передачу и распространение на большие поверхности монтажных плит, баков и т. п. Достижимое снижение уровня звуковой мощности составляет 2–5 дБА.

В то же время эффективное снижение колебаний при установке насосного агрегата на амортизаторах может быть достигнуто только при допустимых величинах биения вала. В противном случае амплитуда вибрации при снижении жесткости крепления насоса к установочной плоскости значительно возрастет.

4.1.3. Выбор и монтаж трубопроводов

Диаметры трубопроводов должны быть достаточно большими, чтобы скорости потока соответствовали приведенным ниже:

- 1) для линий всасывания диаметром до 32 мм – 0,6–1,2 м/с, более 32 мм – 1,6 м/с;
- 2) для линий нагнетания диаметром до 50 мм – 3 м/с, более 50 мм – 3,6 м/с.

Скорость протекания рабочей жидкости через клапаны управления и другие короткие участки труб с меньшим сечением – 6,0 м/с, скорость в переливных и предохранительных клапанах – 30 м/с.

При изготовлении элементов гидропривода следует применять плавные изгибы труб. Радиусы изгиба труб должны составлять 5–6 диаметров труб. По возможности следует избегать изгибов трубопроводов, поскольку каждый из них повышает создаваемый гидроприводом шум. Для подавления вибрации трубопроводов, вызываемой пульсирующим потоком, целесообразно применять массивные трубы с большой толщиной стенки. Эффективной мерой для демпфирования колебаний служит применение в линии нагнетания армированных гибких рукавов. С этой целью в отдельных участках трубопроводов устанавливают гибкие рукава, которые ослабляют передачу вибрации от одного участка трубопровода к другому. Лучшее демпфирование достигается, когда гибкие шланги присоединяются к жесткому трубопроводу с обеих концов.

Тип всасывающего трубопровода влияет на создаваемый гидросистемой уровень звуковой мощности. Рациональна замена металлического трубопровода на пластмассовый.

Для изоляции вибрирующих труб от непосредственного контакта с металлическими деталями гидропривода используют различные конструктивные решения: всасывающие, сливные и дренажные трубопроводы, проходящие через крышку резервуара или другие металлические перегородки, уплотняют упругими втулками или манжетами (рис. 4.2, а). Применение эластичных промежуточных соединений трубопроводов в сочетании с другими виброизолирующими элементами обеспечивает снижение шума установки до 20 %.

Напорные магистрали иногда выполняют из отдельных отрезков труб, соединенных между собой промежуточной кольцеобразной муфтой с демпфирующим элементом (рис. 4.2, б).

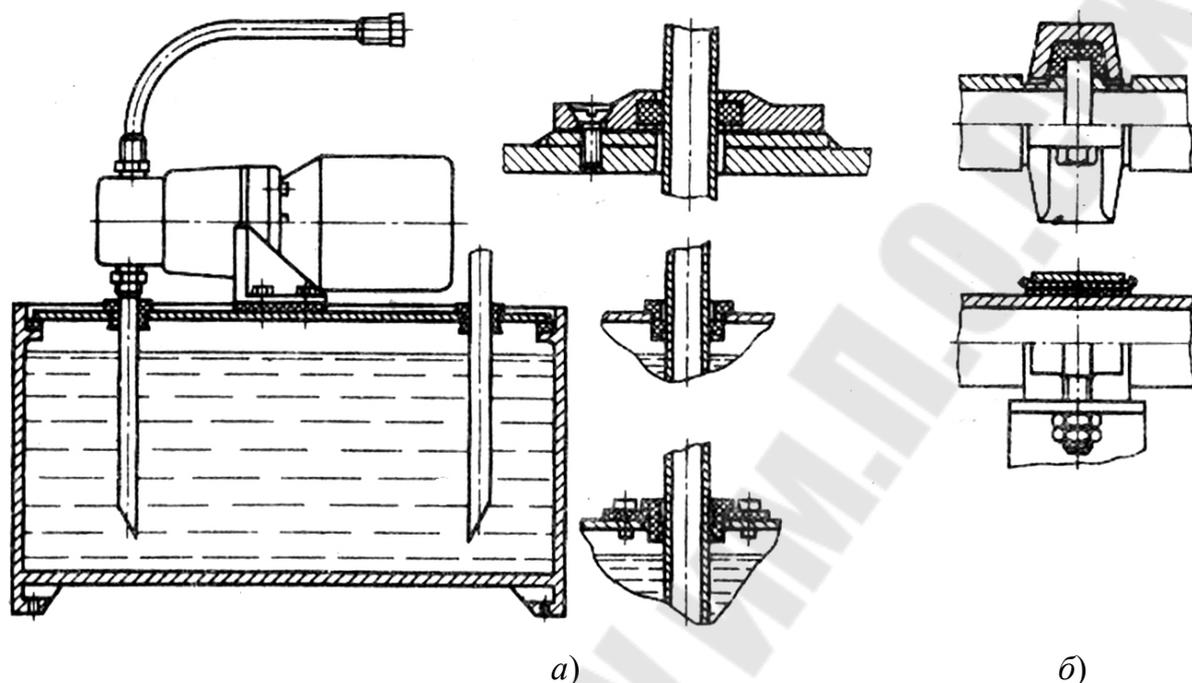


Рис. 4.2. Виброизоляция металлических трубопроводов упругими втулками и муфтами при прохождении трубопровода через крышку резервуара (а) и промежуточными кольцеобразными муфтами с демпфирующим элементом (б)

Поперечная вибрация трубопровода может быть устранена с помощью установки кронштейнов, зажимов или колодок таким образом, чтобы основная резонансная частота пролета незакрепленной части трубы была больше, чем самая высокая частота, создаваемая насосом. Для этого определяют критическую длину пролета между опорами, исходя из ее собственной частоты.

Трубы должны устанавливаться с зазором, который обеспечивает удобство монтажа и отсутствие касаний при вибрации или перемещениях других элементов конструкции. Кронштейны для труб и зажимы должны быть облицованы эластичным материалом и прикреплены к относительно массивным фундаментам или к стойкам.

4.1.4. Демпфирование роторных колебаний в насосных установках

Сложение колебаний ротора насоса, вызванных пульсацией расхода и давления, с колебаниями ротора электродвигателя, являющи-

мися следствием взаимодействия магнитных сил, образует гармоники, влияющие на уровень звука и вибрацию насосной установки. Для демпфирования этих колебаний применяют соединительные муфты с упругими элементами различной конструкции.

В гидроприводе преимущественное распространение получили муфты с резиновыми элементами, отличающимися высокими компенсационными свойствами и хорошей демпфирующей способностью при сравнительной простоте конструкции и отсутствии специальных требований к уходу при эксплуатации.

Для монтажа небольших насосных станций часто применяют муфты со звездочкой (ГОСТ 14084–76) [6, с. 328] (рис. 4.3, а), а для более крупных установок – втулочно-пальцевые муфты (ГОСТ 21424–75) [6, с. 314] (рис. 4.3, б).

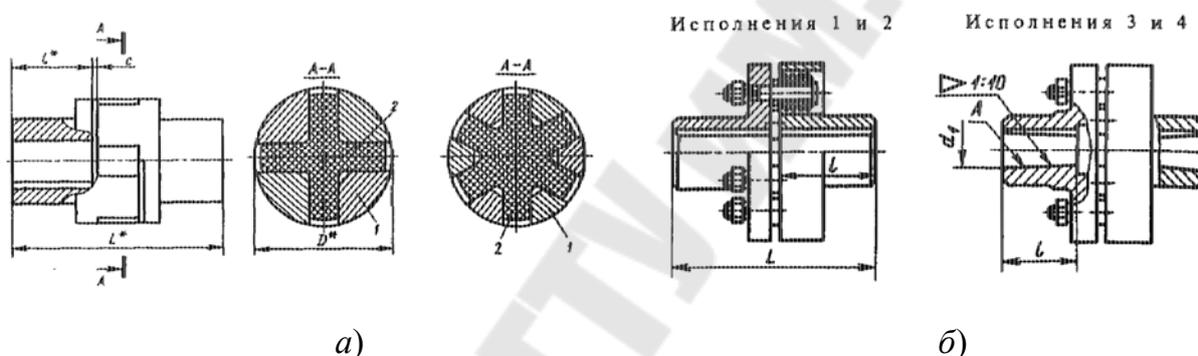


Рис. 4.3. Муфты с эластичными элементами

На рис. 4.4 показаны конструкции муфт с упругими элементами. Резиновый демпфирующий элемент выполнен в форме восьмиугольной втулки (рис. 4.4, а). При такой форме элемента обеспечивается сравнительно большая поверхность контакта полумуфт, воспринимающих крутящий момент. Указанная муфта обеспечивает снижение уровня звуковой мощности насосной установки на 6 дБА.

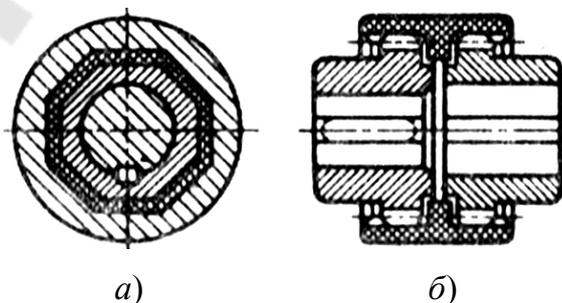


Рис. 4.4. Муфты с эластичными демпфирующими элементами

Зубчатая муфта с эластичной оболочкой (рис. 4.4, б), изготовленной из полиуретана или суперполиамида, обладающих высоким сопротивлением изнашиванию и хорошими виброакустическими свойствами. Муфты этого типа изготавливают для компенсации несоосности насосных установок и агрегатов.

Испытания муфт разных конструкций показали недостаточные демпфирующие свойства оболочковой муфты. К наиболее оптимальным с точки зрения снижения шума можно отнести втулочно-пальцевые муфты (уровень звука снижается на 2–4 дБА).

4.1.5. Погружение насоса в рабочую жидкость

Экспериментальные исследования уровней звука и уровней звукового давления, создаваемых насосной установкой с аксиально-поршневым насосом НА...8/320М, при монтаже его на резервуаре и в погружном состоянии показали, что в последнем случае уровень шума значительно ниже, что объясняется главным образом улучшением условий всасывания и исключением подсоса воздуха.

При погружном исполнении в качестве элемента виброизоляции может быть использован гибкий установочный фланец, который способен снизить уровень звука на 2–4 дБА.

4.1.6. Меры по снижению уровня шума электродвигателей и теплообменников

Электродвигатель занимает одно из первых мест по уровню создаваемого шума. Создаваемая им звуковая энергия представляет собой результат взаимодействия различных факторов, в том числе: механического, магнитного и аэродинамического происхождения, что является следствием неудовлетворительной балансировки вращающихся элементов, трения, колебаний ротора и статора под воздействием магнитных сил, циркуляции внутри машины охлаждающего воздуха, нагнетаемого вентилятором.

Борьба с шумом ограничивается, как правило, пассивными методами; наиболее эффективно акустическое ограждение, не препятствующее циркуляции охлаждающего воздуха. Снижение шума, создаваемого вентилятором, достигается установкой глушителя на впуске охлаждающего воздуха и приданием лопастям вентилятора оптимальной геометрической формы. Это позволяет снизить уровень звука на 5–7 дБА при 1500 об/мин.

Глушитель аэродинамического шума представляет собой металлическую конструкцию с двойными стенками, пространство между которыми заполнено звукопоглощающим материалом. Такое решение может понизить уровень звука до 10 дБА и более.

Существенное снижение уровня звуковой мощности достигается также при замене прямых лопастей вентилятора наклонными.

Электротехнической промышленностью выпускаются электродвигатели с пониженными шумовыми характеристиками. Они имеют уменьшенный воздушный зазор между статором и ротором, лопасти вентиляторов выполнены из пластмассы или специальной синтетической резины, применены прецизионные подшипники качения. В зарубежной практике для комплектации насосных гидроагрегатов используют электродвигатели с водяным охлаждением.

Указанные меры по снижению шумовых характеристик приводных электродвигателей применяются и для теплообменников с воздушным охлаждением.

4.1.7. Звукоизолирующие ограждения

При акустическом ограждении всей насосной установки можно достичь уровня звука до 25–45 дБА. Ограждение должно быть сплошным, выполненным из материалов большой плотности при минимальном количестве пустот.

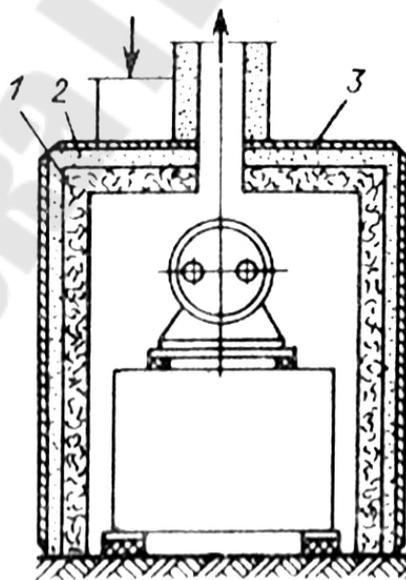


Рис. 4.5. Звукоизолирующее ограждение насосных станций с трехслойной изоляцией:

1 – пористый звукопоглощающий материал; 2 – звукопоглощающая замазка; 3 – металлические листы

Наиболее эффективно трехслойное ограждение из тяжелых металлических стенок, оснащенных ребрами жесткости, а также слоев стекловолокна и звукопоглощающей пасты (рис. 4.5). Насосный агрегат установлен на резиновые амортизаторы. Дверцы проемов для обслуживания и ухода за агрегатом уплотнены. Такое ограждение обеспечивает снижение уровня звука 25–35 дБА.

Суммарное сечение вентиляционных отверстий не должно превышать 10 % общей площади ограждающих стенок.

4.1.8. Вибропоглощающие покрытия

Снижение шума может быть достигнуто демпфированием вибрирующей поверхности различными покрытиями. Материал покрытия должен плотно прилегать к колеблющейся поверхности.

Поглощение энергии происходит в основном за счет деформации вибропоглощающего слоя и особенно эффективно для высоких звуковых частот.

Вибропоглощающие покрытия подразделяют:

- 1) на жесткие, к которым относят твердые пластмассы с наполнителями (например, листы из спеченного алюминия толщиной 2–3 мм);
- 2) мягкие, к которым относят мягкие резины и пластмассы, порезиненный войлок, мастики.

Звукопоглощающие покрытия должны иметь большую величину звукопоглощения; хорошую газопроницаемость и теплоизолирующую способность и минимальную толщину; обладать такой же прочностью, как металлы, хорошей обрабатываемостью, коррозионной стойкостью и негорючестью; не электризоваться; допускать применение воды и моющих растворов при обслуживании; иметь невысокую стоимость.

4.1.9. Снижение шума гидроаппаратуры

Основными источниками шума гидроаппаратуры являются: механические вибрации элементов управления и регулирования (расхода, давления), вызванные воздействием гидродинамических сил потока; удары, связанные с переключением распределительных золотников и срабатыванием электромагнитов; турбулентность рабочей жидкости (при высоких скоростях потока), кавитация (при наличии в жидкости незначительного количества воздуха и воды).

Снижение уровня звука достигается: правильным выбором диаметра условного прохода гидроаппаратов, обеспечивающего реко-

мендуемые скорости потока жидкости при максимальной подаче насосной установки; применением гидроаппаратуры модульного монтажа (снижает шум установки до 6 дБА), а также распределительной аппаратуры, оснащенной магнитами с «мокрым» якорем.

При монтаже насосной установки целесообразно: предохранительный клапан установить на некотором расстоянии от масляного резервуара, а слив из него осуществить с помощью эластичного трубопровода; вместо одного нерегулируемого дросселя, работающего при полном перепаде давления, установить последовательно два дросселя, каждый из которых будет работать на половинном перепаде давления; обеспечить абсолютную герметизацию присоединений клапанов, устанавливаемых на сливной магистрали.

4.2. Порядок проведения работы

1. Изучить теорию к лабораторной работе.
2. Изучить методы звуко- и вибропоглощения, применяемые в лабораторных установках.

Лабораторная работа № 5
Изучение типов насосных установок.
Конструктивные разновидности
насосных агрегатов

Цель работы: изучить типы насосных установок гидроприводов с цикловым программным управлением; основные требования при проектировании насосных установок; конструктивные разновидности насосных агрегатов; разработать насосную установку в соответствии с заданием.

5.1. Общие сведения

5.1.1. Насосные установки гидроприводов с цикловым программным управлением

Насосный агрегат (насос с приводным электродвигателем) с комплектующим оборудованием, смонтированным по определенной схеме, обеспечивающей работу насоса, называют *насосной установкой*.

Насосные установки, предназначенные для гидропривода исполнительных механизмов промышленного гидрофицированного оборудования (металлообрабатывающих станков, прессов, технологических линий), представляют собой один или несколько насосов, приводимых от электродвигателей переменного тока. Они состоят из основных компонентов: бака для рабочей жидкости с заливной горловиной и воздушным фильтром, измерителя уровня жидкости и температуры масла, установленных в баке насоса. На верхней крышке бака в зависимости от назначения и гидравлической схемы устанавливают направляющие и регулирующие гидроаппараты, сливной фильтр, теплообменник, гидропневмоаккумулятор и другие гидроаппараты.

Другой тип насосных установок – малогабаритных и компактных с электродвигателями постоянного тока применяют на мобильных машинах и во многих других областях техники.

Особенность гидроприводов с цикловым программным управлением – периодически изменяющийся режим работы. Чтобы обеспечить исполнительную часть гидропривода с цикловым программным управлением рабочей жидкостью с требуемыми подачами Q и давлениями p , могут применяться насосные установки различных типов [8, с. 109]:

- 1) однонасосная с переливным клапаном (рис. 5.1, а);
- 2) двухнасосная с двумя переливными клапанами (рис. 5.1, б);
- 3) насосно-аккумуляторная (рис. 5.1, в);
- 4) установка с авторегулируемым насосом (рис. 5.1, г).

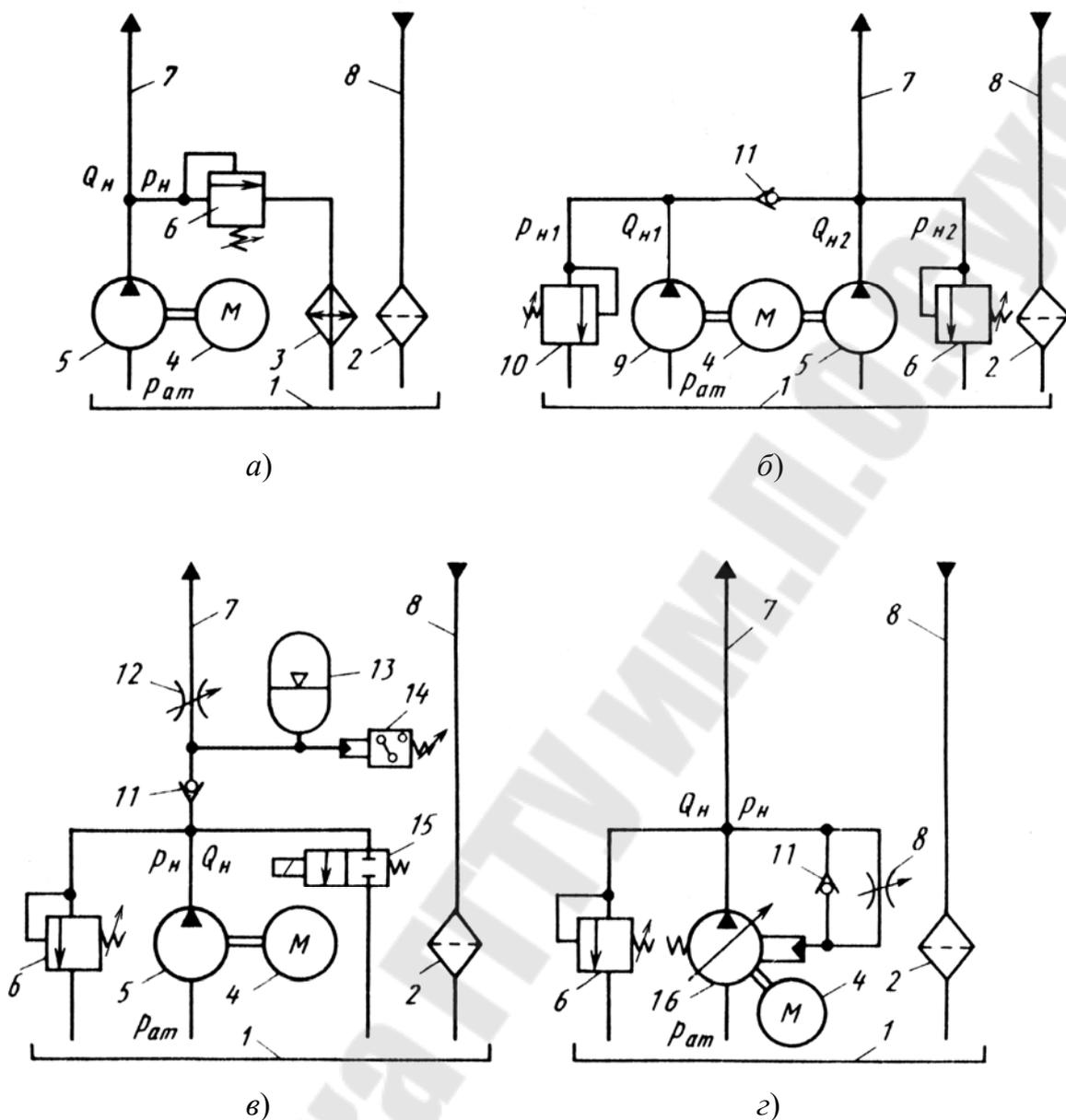


Рис. 5.1. Типовые схемы насосных установок

Наиболее простой вариант установки – *однасосная с переливным клапаном*. В ней применены нерегулируемый самовсасывающий насос 5 (рис. 5.1, а), приводной электродвигатель 4, переливной (предохранительный) клапан 6, фильтр 2 в сливной линии 8, теплообменный аппарат 3 и масляный бак 1. Типоразмер насоса выбирается по каталогу, выпускаемому данной отраслью машиностроения в соответствии с требуемыми подачами и давлениями. Например, при номинальном давлении жидкости до 6,3 МПа целесообразно применять шестеренные или пластинчатые насосы, при давлении выше 10 МПа – аксиально- или радиально-поршневые.

По величинам мощности и частоты вращения вала насоса подбирают приводящий двигатель. Для гидроприводов стационарных машин и технологического оборудования обычно используют асинхронные электродвигатели. В мобильной машине насос может присоединяться к валу отбора мощности от теплового двигателя.

Существенный недостаток однонасосной установки с переливным клапаном – значительная потеря мощности потока жидкости во втором периоде работы гидропривода. Причиной служит перелив большого количества жидкости через клапан при полном рабочем давлении. Отрицательный результат потери мощности потока жидкости состоит также и в нагреве рабочей жидкости. При этом необходимо устанавливать теплообменный аппарат или значительно увеличивать объем бака.

Потери мощности потока жидкости существенно снижаются при использовании *двухнасосной установки с двумя переливными клапанами* (рис. 5.1, б). Эффект достигается комбинацией насоса высокого давления и малой подачи с насосом низкого давления и большой подачи. Насосы сочетаются соответственно с клапанами высокого и низкого давления, которые должны быть настроены на значения $p_{н2}$ и $p_{н1}$. Между насосами установлен обратный клапан *11*. В периодах работы гидропривода при низком давлении $p_{н1}$ оба насоса подают жидкость в напорную гидролинию *7*. Их подача складывается. Во втором периоде работы гидропривода, когда давление в напорной гидролинии возрастает до величины $p_{н2}$, обратный клапан *11* закрывается. Насос *9* подает жидкость через клапан низкого давления *10* на слив. Насос *5*, соединенный с клапаном *6* высокого давления, подает жидкость в исполнительную часть гидропривода.

Данная установка может иметь электродвигатель к каждому насосу или два насоса с разными техническими характеристиками приводятся в движение одним электродвигателем.

Как вариант данной установки можно использовать один насос с двумя потоками жидкостей, которые могут иметь разные или одинаковые давления.

Мощность потока жидкости в насосной установке теряется в основном из-за перелива от насоса *9* через клапан *10* при относительно низком давлении $p_{н1}$ жидкости в период работы гидропривода на большем давлении. Так как давление $p_{н1}$ значительно меньше величины $p_{н2}$, то потеря мощности в двухнасосной установке существенно меньше, чем в однонасосной. Недостаток рассмотренной насосной установки – удвоенное число основных гидроагрегатов.

Полностью устранить потерю мощности вследствие перелива жидкости можно при использовании *насосно-аккумуляторной установки* (рис. 5.1, в). Клапан 6 в ней играет только предохранительную роль. Избыток жидкости при работе гидропривода поступает в аккумулятор 13. После полной зарядки аккумулятора жидкостью реле давления 14 включает разгрузочный гидрораспределитель 15. При этом жидкость сливается в бак и, следовательно, насос 5 разгружается. В дальнейшем при необходимости насос 5 и аккумулятор 13 одновременно подают рабочую жидкость под давлением в нагнетательную гидролинию 7. Для ограничения предельной скорости движения при быстрых ходах выходного звена предусмотрен регулируемый дроссель 12.

Основной недостаток насосно-аккумуляторной установки – значительные габаритные размеры и масса аккумулятора.

Значительно меньшие габаритные размеры и масса у *насосной установки с авторегулируемым насосом* (рис. 5.1, г). В ней, как и в предыдущем случае, отсутствуют непроизводительные потери энергии вследствие перелива жидкости под давлением через клапан. Подача жидкости снижается путем регулирования насоса 16 по давлению в нагнетательной гидролинии. Подача жидкости насосной установкой автоматически приспособляется к требуемому расходу ее в исполнительной части гидропривода.

Недостаток авторегулируемой насосной установки – высокая стоимость регулируемого насоса по сравнению с нерегулируемым.

5.1.2. Конструктивные разновидности насосных агрегатов

Конструкции гидроприводных насосных установок компании-изготовители разрабатывают обычно по заказу потребителя с техническими требованиями, содержащими основные параметры и гидравлическую схему для конкретного применения. Затем насосную установку собирают, испытывают, регулируют. На всех стадиях изготовления особое внимание уделяют соблюдению требований экологической безопасности.

Гидростанции изготавливаются, в основном, двух видов по компоновке мотор-насосного агрегата:

– вертикальное расположение мотор-насосного агрегата с погружным насосом (используется с насосами постоянного объема) (рис. 5.2, а). Преимущество таких гидростанций заключается в компактности и низком уровне шума;

– гидростанции с горизонтальным расположением мотор-насосного агрегата (рис. 5.2., б и в). Используются с регулируемыми насосами переменного объема.

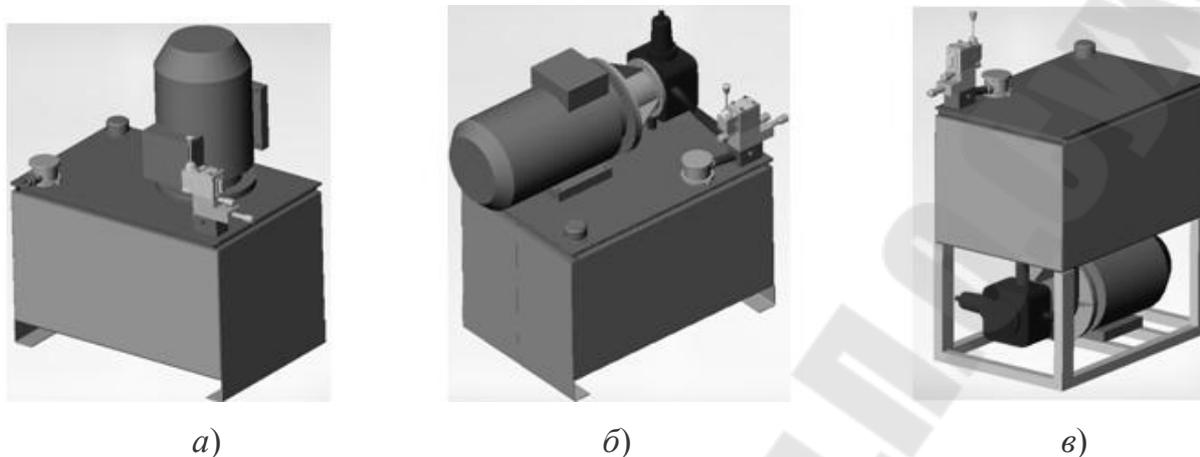


Рис. 5.2. Компоновка гидростанций

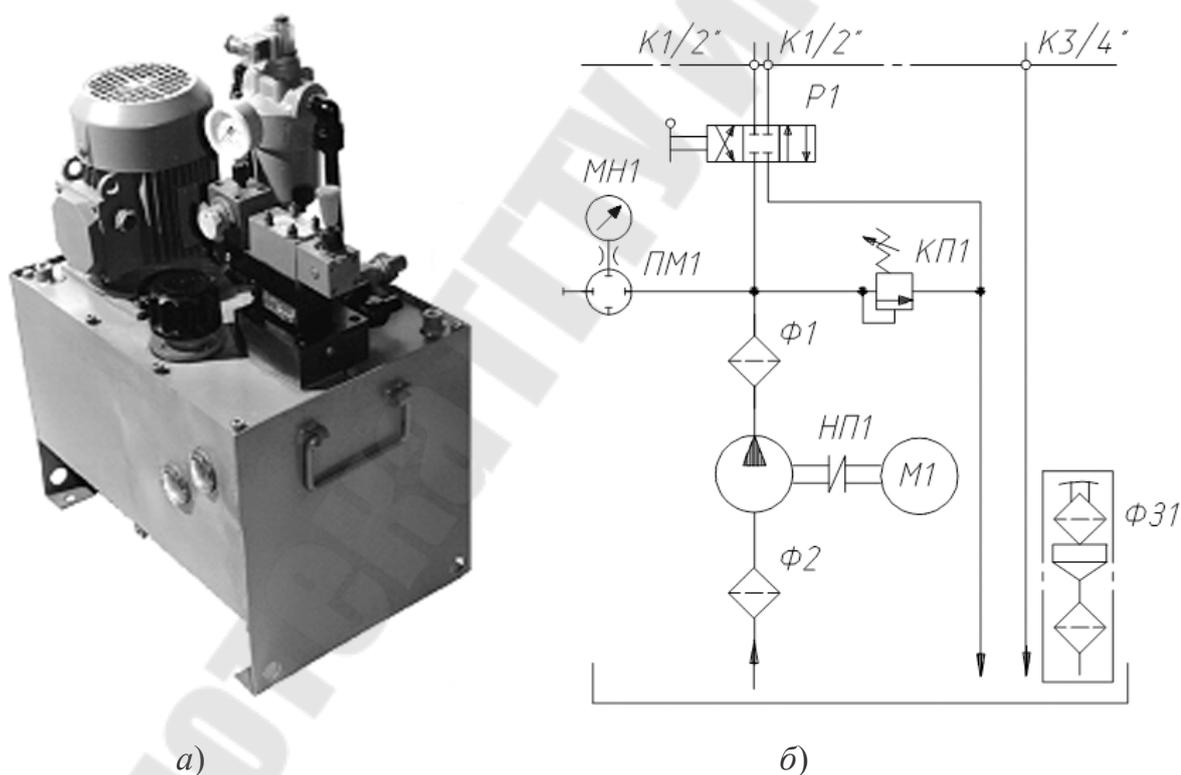


Рис. 5.3. Станция гидропривода:

а – внешний вид станции; б – принципиальная гидравлическая схема

Примером гидростанции может служить станция гидропривода С22-РТ70.04 производства ОАО «ГСКТБ Гидропневмоавтоматика» (рис. 5.3). Станция гидропривода предназначена для подачи рабочей

жидкости в гидросистему и дистанционного управления движением рабочего органа исполнительной машины. По принципиальной схеме системы разрабатывают чертеж станции с указанием присоединительных и габаритных размеров (рис. 5.4).

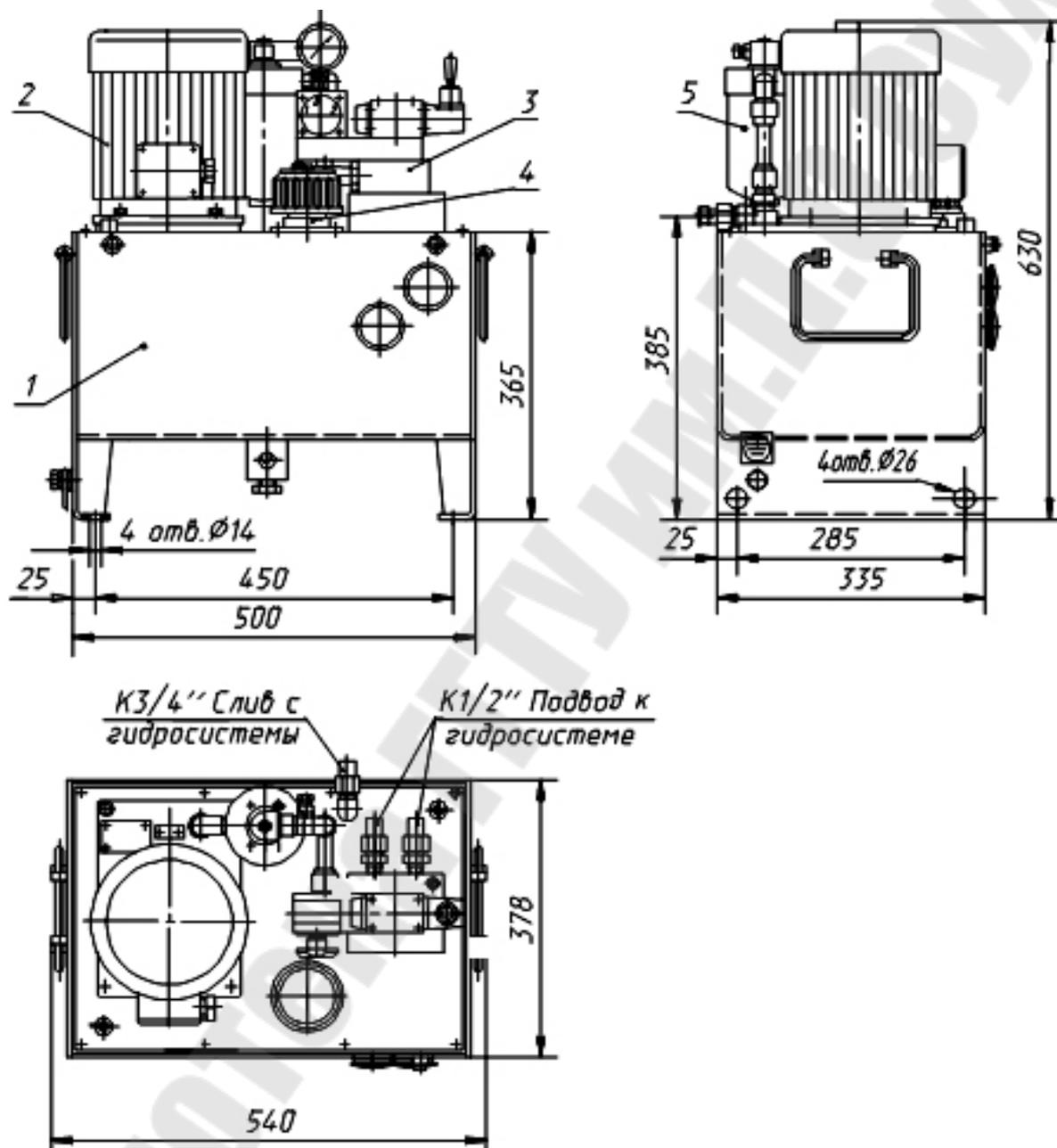


Рис. 5.4. Чертеж станции гидропривода:

- 1 – гидробак; 2 – насосный агрегат погружного исполнения;
 3 – блок управления; 4 – заливной фильтр, совмещенный с сапуном;
 5 – напорный фильтр

5.2. Порядок проведения работы

1. Изучить теорию к лабораторной работе.
2. Изучить типы насосных установок, применяемых в лабораторных испытательных стендах.
3. Разработать насосную установку в соответствии с заданием преподавателя.

Литература

1. Машиностроительный гидропривод / Л. А. Кондаков [и др.] ; под ред. В. Н. Прокофьева. – Москва : Машиностроение, 1978. – 495 с.
2. Чупраков, Ю. И. Гидропривод и средства гидроавтоматики : учеб. пособие для вузов специальности «Гидропривод и гидропневмоавтоматика» / Ю. И. Чупраков. – Москва : Машиностроение, 1979. – 232 с.
3. Анурьев, В. И. Справочник конструктора-машиностроителя : в 3 т. / В. И. Анурьев ; под ред. И. Н. Жестковой. – Москва : Машиностроение, 2001. – Т. 3. – 864 с.
4. Свешников, В. К. Станочные гидроприводы : справочник / В. К. Свешников, А. А. Усов. – Москва : Машиностроение, 1988. – 512 с.
5. Скрицкий, В. Я. Эксплуатация промышленных гидроприводов / В. Я. Скрицкий, В. А. Рокшевский. – Москва : Машиностроение, 1984. – 176 с.
6. Анурьев, В. И. Справочник конструктора-машиностроителя : в 3 т. / В. И. Анурьев ; под ред. И. Н. Жестковой. – Москва : Машиностроение, 2001. – Т. 2. – 912 с.
7. Маннесман Рексрот. Проектирование и сооружение гидроустановок: Учебный курс гидравлики : в 3 т. / Рексрот Маннесман. – Лор на Майне, 1988. – Т. 3. – 380 с.
8. Навроцкий, К. Л. Теория и проектирование гидро- и пневмоприводов : учеб. для студентов вузов по специальности «Гидравлические машины, гидроприводы и гидропневмоавтоматика» / К. Л. Навроцкий. – Москва : Машиностроение, 1991. – 384 с.

Содержание

<i>Лабораторная работа № 1</i>	
Фильтрация в гидросистемах. Фильтры.....	3
<i>Лабораторная работа № 2</i>	
Трубопроводы и трубопроводные соединения.....	14
<i>Лабораторная работа № 3</i>	
Гидравлические баки для гидросистем	24
<i>Лабораторная работа № 4</i>	
Меры по снижению шума и вибрации в гидросистемах	31
<i>Лабораторная работа № 5</i>	
Изучение типов насосных установок. Конструктивные разновидности насосных агрегатов	41
Литература	48

Учебное электронное издание комбинированного распространения

Учебное издание

**Андреевца Юлия Ахатовна
Сериков Юрий Викторович**

ТЕОРИЯ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ГИДРОПНЕВМОСИСТЕМ

**Лабораторный практикум
по одноименному курсу для студентов
специальности 1-36 01 07 «Гидропневмосистемы
мобильных и технологических машин»
дневной и заочной форм обучения**

Электронный аналог печатного издания

Редактор *Н. В. Гладкова*
Компьютерная верстка *Н. Б. Козловская*

Подписано в печать 17.12.10.

Формат 60x84/16. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс».

Ризография. Усл. печ. л. 3,02. Уч.-изд. л. 2,9.

Изд. № 74.

E-mail: ic@gstu.by

<http://www.gstu.by>

Издатель и полиграфическое исполнение:
Издательский центр учреждения образования
«Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого».

ЛИ № 02330/0549424 от 08.04.2009 г.

246746, г. Гомель, пр. Октября, 48.