

Правила техники безопасности и расположение гидроаккумуляторов и гидросистемах

Ганс Х. Фаатц

1. Введение

1.1 Общие положения

Начиная с 27 февраля 1980 г., на территории Федеративной Республики Германии действуют Постановление об эксплуатации баллонов высокого давления и Технические правила эксплуатации баллонов высокого давления, в которых установлены требования по использованию гидроаккумуляторов в гидроагрегатах и гидросистемах.

Постановление об эксплуатации баллонов давления разработано Техническим комитетом "Химия" при Центральном управлении техники безопасности и производственной медицины Главного объединения промышленных профессиональных корпораций. Постановление и соответствующие статьи Технических правил эксплуатации баллонов высокого давления имеют силу закона. Несмотря на то, что Постановление об эксплуатации баллонов высокого давления и Правила эксплуатации баллонов высокого давления первоначально были предназначены для подобных сосудов, используемых в химической промышленности, например, для автоклавов, их действие распространяется также на гидроаккумуляторы гидросистем.

Разработчики Постановления и Правил использовали термины и инструкции, известные им из области химии, поэтому требования гидравлики выполнены лишь частично.

Машиностроительный комитет стандартов, отдел технологии использования рабочих жидкостей, подготовил проект стандарта под названием "Гидроаккумуляторы в гидросистемах", который должен регламентировать применение Постановления об эксплуатации баллонов высокого давления и Правил эксплуатации баллонов высокого давления в области гидравлики. Проект ограничивается гидроагрегатами и гидросистемами станков и установок, в которых гидроаккумуляторы применяются в качестве энергоаккумуляторов.

1.2 Классификация по группам

Постановление об эксплуатации баллонов высокого давления следует использовать во всех случаях, когда по условиям производства в гидроаккумуляторе устанавливается давление выше 0,1 бар или ниже -0,2 бар.

Произведение давления на объем " $p \cdot l$ " (" p " в бар, " l " в л) берется за основу при классификации баллонов высокого давления по контрольным группам. Различают 7 групп. Гидроаккумуляторы гидросистем входят в группы II, III и IV.

Группа II

В эту группу входят гидроаккумуляторы с допустимым избыточным рабочим давлением выше 1 бар, у которых произведение давления на объем " $p \cdot l$ " не превышает 200.

Группа III

В эту группу входят гидроаккумуляторы с допустимым избыточным рабочим давлением выше 1 бар, у которых произведение давления на объем " $p \cdot l$ " выше 200, но не выше 1000.

Группа IV

В эту группу входят баллоны высокого давления с допустимым избыточным рабочим давлением выше 1 бар, у которых произведение давления на объем выше 1000.

Для полноты картины следует перечислить остальные контрольные группы, которые с точки зрения изготовителей гидравлических агрегатов и гидросистем имеют второстепенное значение.

Группа I включает баллоны, в которых создается разжение.

В группы V, VI и VII входят баллоны с допустимым избыточным рабочим давлением выше 500 бар.

Применительно к отдельным рабочим группам разработаны условия технической приемки и соответствующие методики испытания. Они обязательны как для изготовителей, так и для потребителей гидроаккумуляторов.

2. Терминология

В положении об эксплуатации баллонов высокого давления и Правилах эксплуатации баллонов высокого давления встречаются термины, которые не используются в гидравлике.

В дальнейшем одновременно с определением понятия будет приводиться информация о практическом использовании в области гидравлики. Это противоречит форме составления стандарта, однако целесообразно с точки зрения специалиста-практика.

2.1 Гидросистема/гидроагрегат

Гидросистемы состоят из гидронасоса, приводимого в действие электродвигателем, гидробака, распределителей, гидромоторов и трубо- и шлангопроводов, необходимых для эксплуатации системы. Гидроагрегаты состоят в основном из гидронасоса, приводимого в действие гидромотором, контрольно-регулирующих аппаратов и гидробака.

(Ср. Бюллетень Европейских объединений от 19.04.85).

2.2 Гидроаккумулятор

2.2.1 Гидроаккумулятор как энергоаккумулятор в гидросистемах

Гидроаккумуляторы с газовой камерой без перегородки или с перегородкой между жидкостью и газом, которые обычно применяют в гидросистемах в качестве энергоаккумуляторов, представляют собой баллоны высокого давления, соответствующие требованиям Постановления об эксплуатации баллонов высокого давления. Как правило, в гидросистемах используют поршневые, баллонные или мембранные аккумуляторы и, как исключение, ресиверы. Аккумуляторы поршневого, баллонного и мембранных типов имеют перегородку между жидкостью и газовой камерой. Ресиверы обычно выпускают без перегородки между жидкостью и газом. Трубопроводы, насосы, клапаны, цилиндры, фильтры и арматура с точки зрения Постановления об эксплуатации баллонов высокого давления от 27.02.80 к баллонам высокого давления не относятся.

2.2.2 Маркировка гидроаккумуляторов

Гидроаккумуляторы должны иметь маркировку, легко читаемую в течение длительного времени, которая содержит следующие данные:

- изготовитель или поставщик;
- заводской номер;
- год изготовления;
- допустимое избыточное рабочее давление в бар;

- емкость в л;
- допустимая рабочая температура, если она выше 50 °C или ниже -10 °C;
- тип промышленного образца (применительно к баллонам высокого давления, которые испытываются в соответствии с характеристикой промышленного образца).

2.3 Допустимое избыточное рабочее давление

Среди видов давления, которые согласно Постановлению об эксплуатации баллонов высокого давления, могут применяться в гидравлике, различают:

- рабочее давление;
- допустимое избыточное рабочее давление в гидроаккумуляторе;
- допустимое избыточное рабочее давление в гидросистеме.

2.3.1 Рабочее давление

Рабочим давлением считается избыточное рабочее давление, которое действует в определенный момент времени рабочего процесса в определенном месте гидросистемы.

2.3.2 Допустимое избыточное рабочее давление в гидроаккумуляторе

Допустимым избыточным рабочим давлением в гидроаккумуляторе считается давление, на которое рассчитан гидроаккумулятор. Его называют также номинальным давлением. Это давление должно быть указано в маркировке гидроаккумулятора. В зависимости от обстоятельств допустимое избыточное рабочее давление в гидроаккумуляторе применительно к одинаковым аккумуляторам, техническая приемка которых производилась разными организациями, может быть различным (см. раздел 5).

2.3.3 Максимальное избыточное рабочее давление в гидросистеме

Максимальным избыточным рабочим давлением в гидросистеме считается давление, которое обеспечивает безопасность системы. Это давление зависит от системы и устанавливается инженером-проектировщиком или заводом, эксплуатирующим гидросистему.

2.4 Устройства для измерения давления

В гидравлике в качестве устройств для измерения давления используют стандартные манометры. Важно, чтобы манометры были установлены на гидроаккумуляторе со стороны подачи жидкости. Со стороны подачи газа установка манометра на гидроаккумулятор не предусмотрена.

Диапазон измерения манометра должен быть по крайней мере в 1,5 раза выше, чем избыточное рабочее давление в гидросистеме.

Следует предусмотреть возможность проверки показаний манометра, например, с помощью контрольного присоединения рядом с аккумулятором, установки запорных вентилей по DIN 16262 или DIN 16271 или путем снятия манометра и проверки на испытательном стенде.

Допустимое избыточное рабочее давление в гидросистеме указывается на манометре или вблизи от него путем нанесения красной предупредительной метки на манометр или установки отдельной таблички с инструкцией рядом с манометром. Маркировка должна сохраняться в течение длительного срока. Используемый манометр должен соответствовать жидкости, используемой в системе, и не должен выходить из строя в результате ее воздействия.

Повреждение манометра не должно нарушать безопасности системы.

2.5 Устройства, предохраняющие от превышения давления

Аналогично разнице в определении понятий "допустимое избыточное давление в гидроаккумуляторе" и "допустимое избыточное давление в гидросистеме", предохранительные устройства подразделяют на устройства защиты системы и устройства защиты гидроаккумулятора.

2.5.1 Устройства, предохраняющие от превышения давления в гидросистеме

В качестве устройств защиты гидросистемы могут использоваться как насосы с регулируемым давлением, так и клапаны для ограничения давления.

2.5.2 Устройства, предохраняющие от превышения давления в гидроаккумуляторе

Устройствами, предохраняющими от превышения давления в гидроаккумуляторах, служат предохранительные клапаны согласно инструкции A2. Рабочей ассоциации по проверке баллонов высокого давления (AD). Эти клапаны подвергаются испытанию в соответствии с характеристикой промышленного образца. Они проходят приемный контроль на заводе-изготовителе с участием эксперта. При этом проверяют правильность размеров, наст-

ройки и совместимость с рабочей жидкостью. Положение настройки обычно фиксируется путем пломбирования таким образом, что повышение давления становится невозможным.

Такие предохранительные клапаны называют клапанами системы TÜV, поскольку настройка на завод-изготовителе, как правило, производится специалистами Союза работников технического надзора (TÜV).

Так называемый предохранительный клапан аккумулятора, необходимый для защиты гидроаккумулятора от перегрузки, должен предотвращать превышение допустимого избыточного рабочего давления в гидроаккумуляторе больше чем на 10%. В процессе нормальной эксплуатации гидросистемы предохранительный клапан гидроаккумулятора не должен срабатывать. Поэтому его настраивают на давление, которое в достаточной степени превышает максимально допустимое избыточное рабочее давление в гидросистеме.

Рекомендуется, чтобы давление настройки предохранительного клапана гидроаккумулятора, независимо от максимально допустимого избыточного рабочего давления в гидросистеме, было выбрано таким образом, чтобы максимально допустимое избыточное рабочее давление в гидроаккумуляторе могло быть превышено не больше чем на 10%. При этом следует обеспечить прохождение через предохранительный клапан аккумулятора жидкости в объеме полной подачи насоса.

Пример

В гидросистеме с давлением 100 бар установлен гидроаккумулятор с допустимым избыточным рабочим давлением 210 бар.

При повышении давления $\Delta p = 31$ бар на основании ожидаемой объемной подачи насосов предохранительный клапан аккумулятора следует настроить на $p_{\max} = 210$ бар + 10% - 31 бар = 200 бар.

Если предохранительный клапан не обеспечивает выпуска всего количества жидкости, подаваемого насосом, можно параллельно использовать несколько клапанов.

Предохранительный клапан аккумулятора с помощью собственного вывода присоединяют к генератору давления гидроаккумулятору или напорной подводящей гидролинии. Его нельзя перекрывать со стороны этой линии. Используемая в системе рабочая жидкость не должна выводить клапан из строя. Путем принятия соответствующих мер необходимо исключить обратное течение жидкости из гидроаккумулятора к генератору давления. С этой целью между насосом и гидроаккумулятором обычно устанавливают обратный клапан. Этот клапан может отсутствовать только при использовании радиально-поршневых насосов, поскольку они имеют встроенные обратные клапаны в напорной линии.

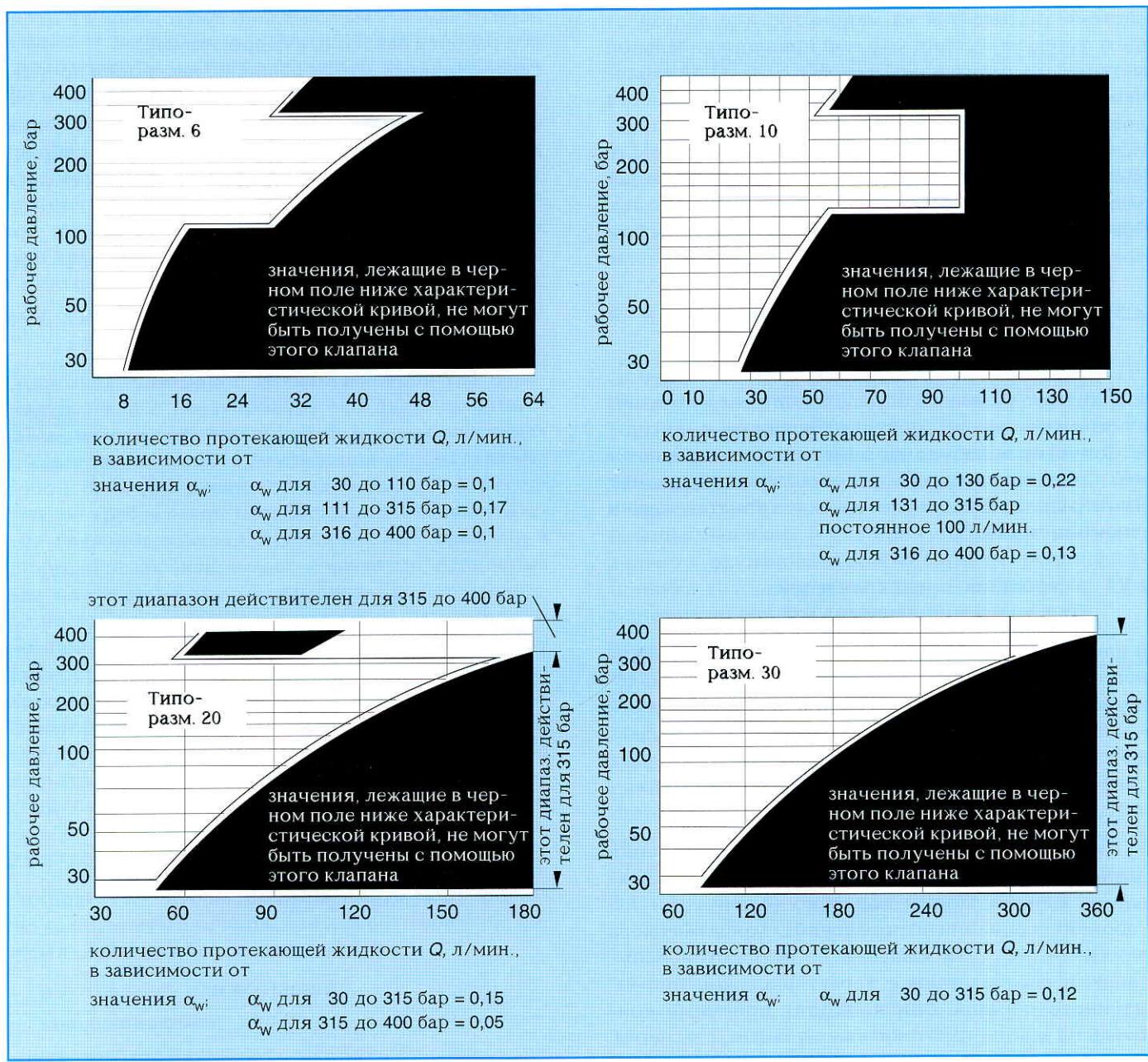


Рис. 77: Зависимость давление - количество протекающей жидкости для предохранительных клапанов, испытанных в соответствии с характеристикой промышленного образца

Линия, соединяющая предохранительный клапан аккумулятора с баком, должна осуществлять безопасный отвод вытекающей жидкости в бак. Поскольку при определенных обстоятельствах этой линии приходится воспринимать ударные нагрузки, необходимо обеспечить надежное крепление. Кроме того, следует предотвратить повышение давления в предохранительном клапане аккумулятора под действием обратного потока жидкости.

Предохранительные клапаны аккумулятора не требуют пожаробезопасного исполнения.

2.6 Запорные элементы

Запорными элементами являются вентили, золотники и краны. Гидроаккумуляторы должны перекрываться со стороны напорной подводящей линии, чтобы можно было производить их замену без прекращения работы гидросистемы.

Все запорные элементы должны быть установлены в доступных местах так, чтобы при необходимости их можно было открывать и закрывать, на запорных элементах должна быть маркировка "открыто-закрыто". Необходимо предупредить случайное вывертывание винтов.

2.7 Разгрузочные клапаны

Разгрузочные клапаны представляют собой аппараты с ручным управлением, с помощью которых производится гидростатическое уравновешивание гидроаккумуляторов со стороны жидкости. При этом жидкость поступает в бак в режиме дросселирования, не создавая опасности для системы. В этом случае положение рычага или направление вращения также маркируются с помощью надписи "открыто-закрыто".

С точки зрения требований Постановления об эксплуатации баллонов высокого давления разгрузочные клапаны относятся к гидравлическим сигнальным устройствам.

3. Примеры схем соединения

В качестве примеров ниже приводятся несколько схем соединения гидроаккумуляторов, используемых в качестве энергоаккумуляторов в гидросистемах. Представленные примеры не претендуют на полноту; возможны другие схемы. Они относятся к гидроаккумуляторам с перегородкой между жидкостью и газом.

3.1 Пример схемы соединения гидроаккумулятора без саморазгрузки

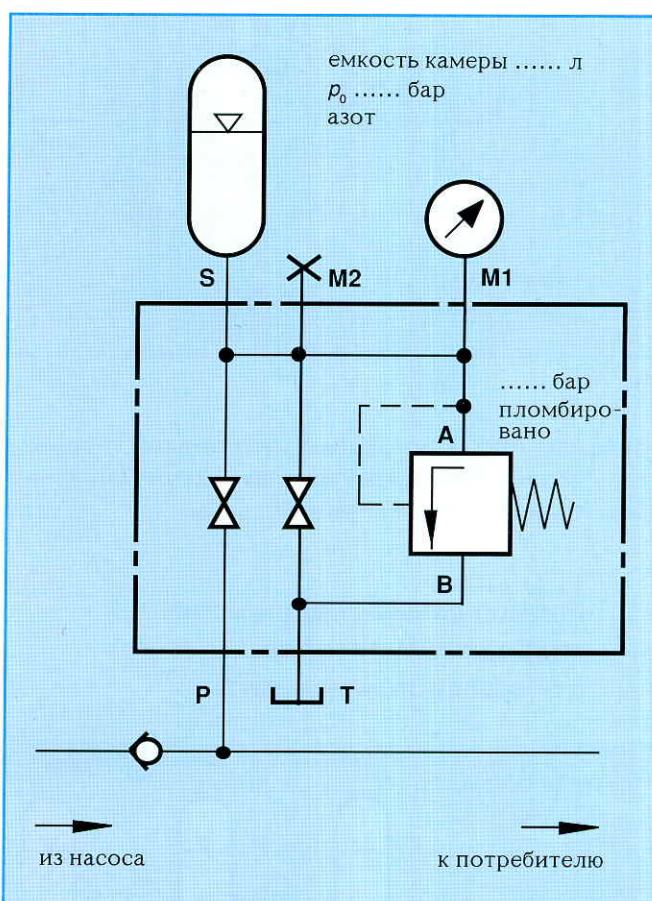


Рис. 78

С целью гидростатического уравновешивания в случае прекращения подачи электроэнергии показанный на рис. 78 напорный клапан может разгружаться за счет подключения клапанного распределителя.

3.2 Пример схемы соединения нескольких гидроаккумуляторов, каждый из которых имеет предохранительно-запорный блок

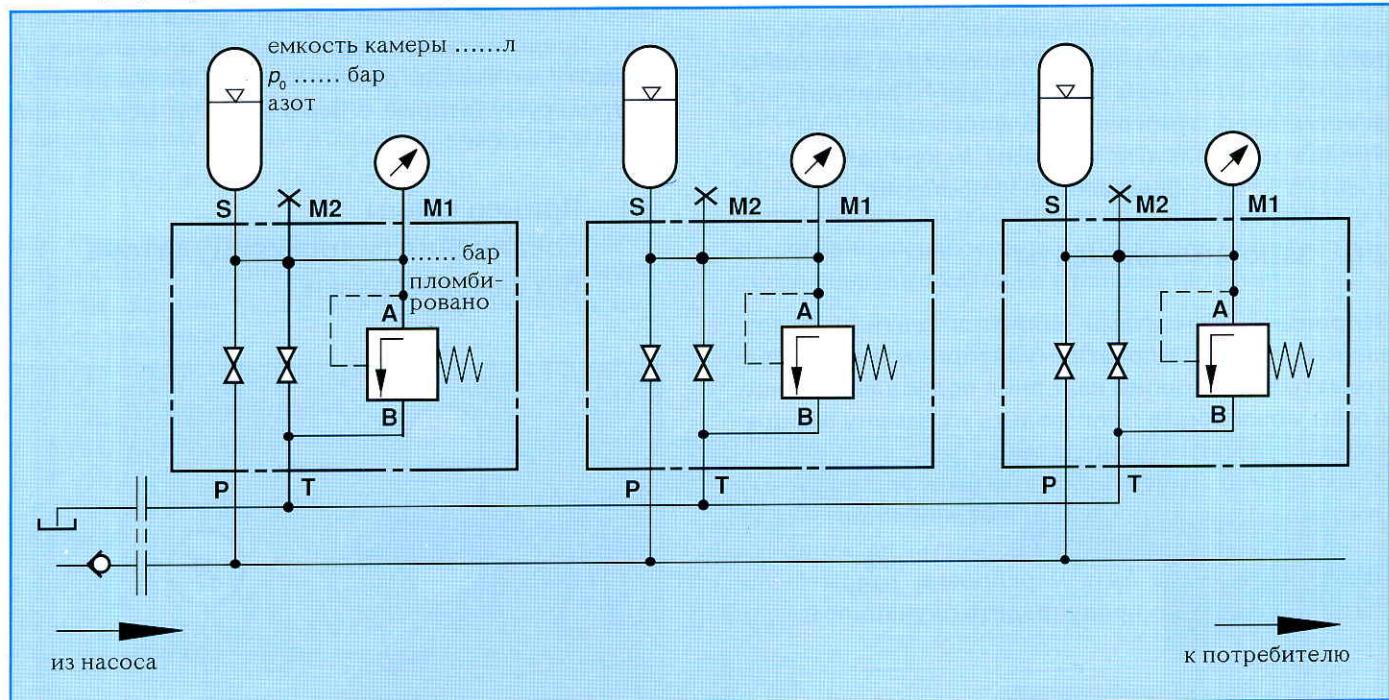


Рис.79

Пример на рис.79 показывает, что в одной гидросистеме можно применять несколько аккумуляторов с предохранительно-запорным блоком.

3.3 Пример схемы соединения гидроаккумуляторов с общей системой защиты

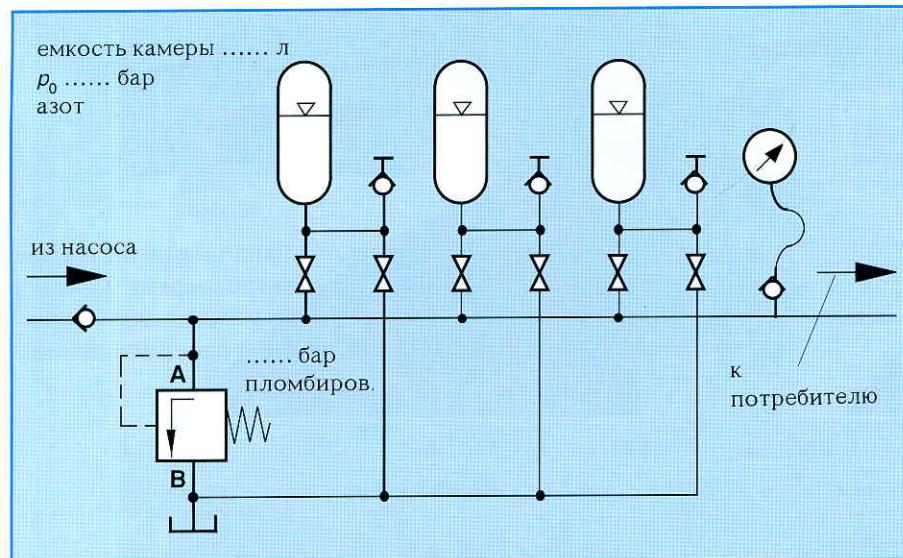


Рис.80

Пример на рис. 80 показывает, что несколько гидроаккумуляторов могут быть защищены от перегрузки с помощью только одного предохранительного клапана. Рекомендуется (но не обязательно) предусмотреть возможность отсоединения каждого аккумулятора от системы. Если такая возможность обеспечена, следует создать условия для разгрузки каждого аккумулятора. С целью проверки давления целесообразно (но не обязательно), чтобы каждый аккумулятор имел собственный вывод для присоединения манометра.

3.4 Пример схемы соединения одного или нескольких гидроаккумуляторов с присоединенными баллонами с азотом

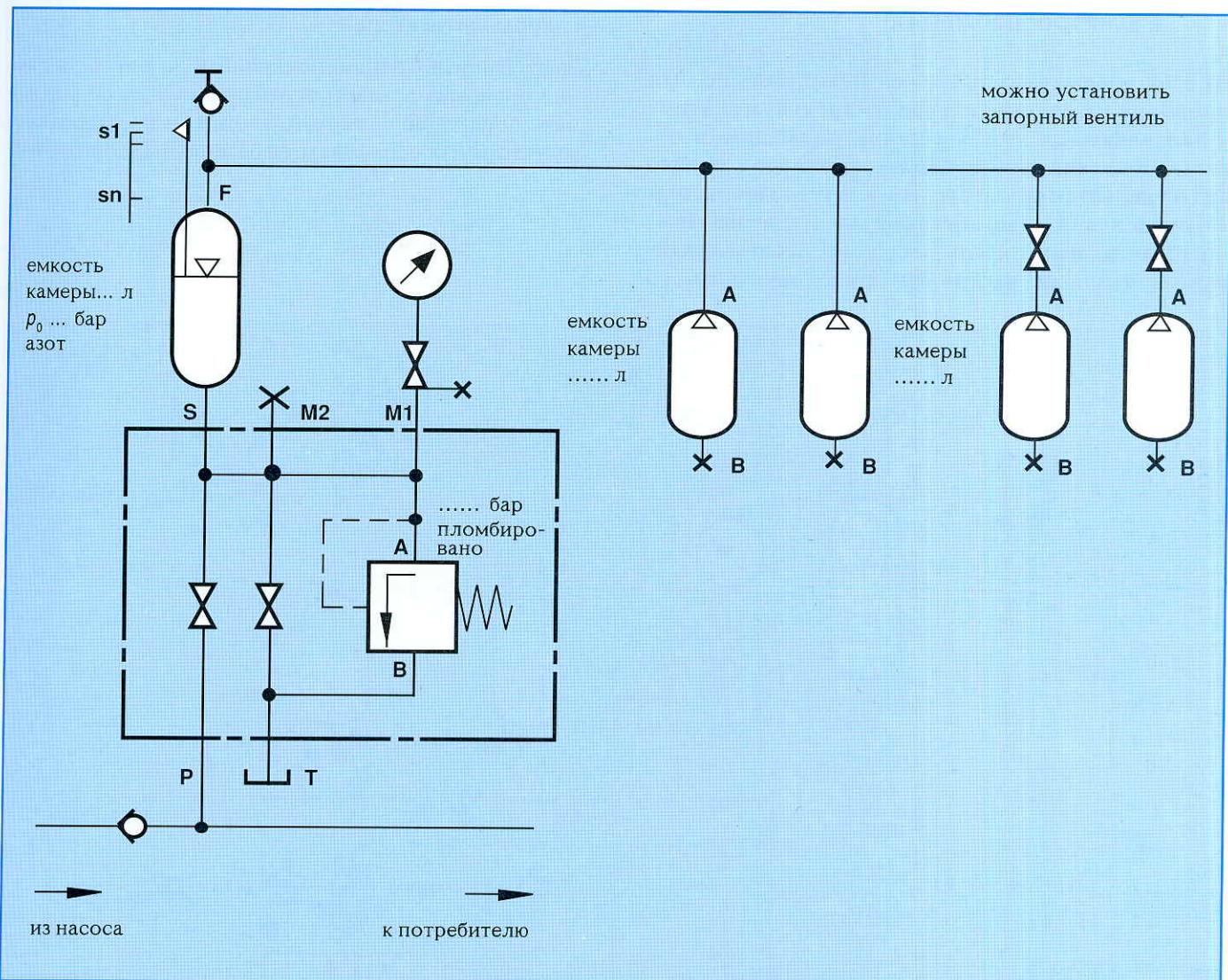


Рис. 81

Баллоны с азотом целесообразно устанавливать таким образом, чтобы при необходимости можно было сливать конденсат со стороны газа через вывод B.

3.5 Пример схемы соединения гидроаккумулятора с автоматическим перекрытием в случае перерыва в электроснабжении

На всех предыдущих примерах было показано, что предохранительный клапан гидроаккумулятора устанавливается между обратным клапаном и ответвлением, ведущим к гидроаккумулятору. Однако это не является обязательным. Как показано на рис. 82, предохранительный клапан аккумулятора можно устанавливать между насосом и обратным клапаном. Давление настройки предохранительного

клапана аккумулятора может регулироваться в сторону понижения с помощью дополнительного клапана. Последний должен автоматически предупреждать установку давления, которое больше чем на 10% превышает допустимое рабочее давление гидроаккумулятора.

Разгрузочный клапан, показанный на рис. 82, в случае перерыва в электроснабжении должен исключать попадание в систему жидкости из гидроаккумулятора и обеспечивать ее безопасный отвод в бак.

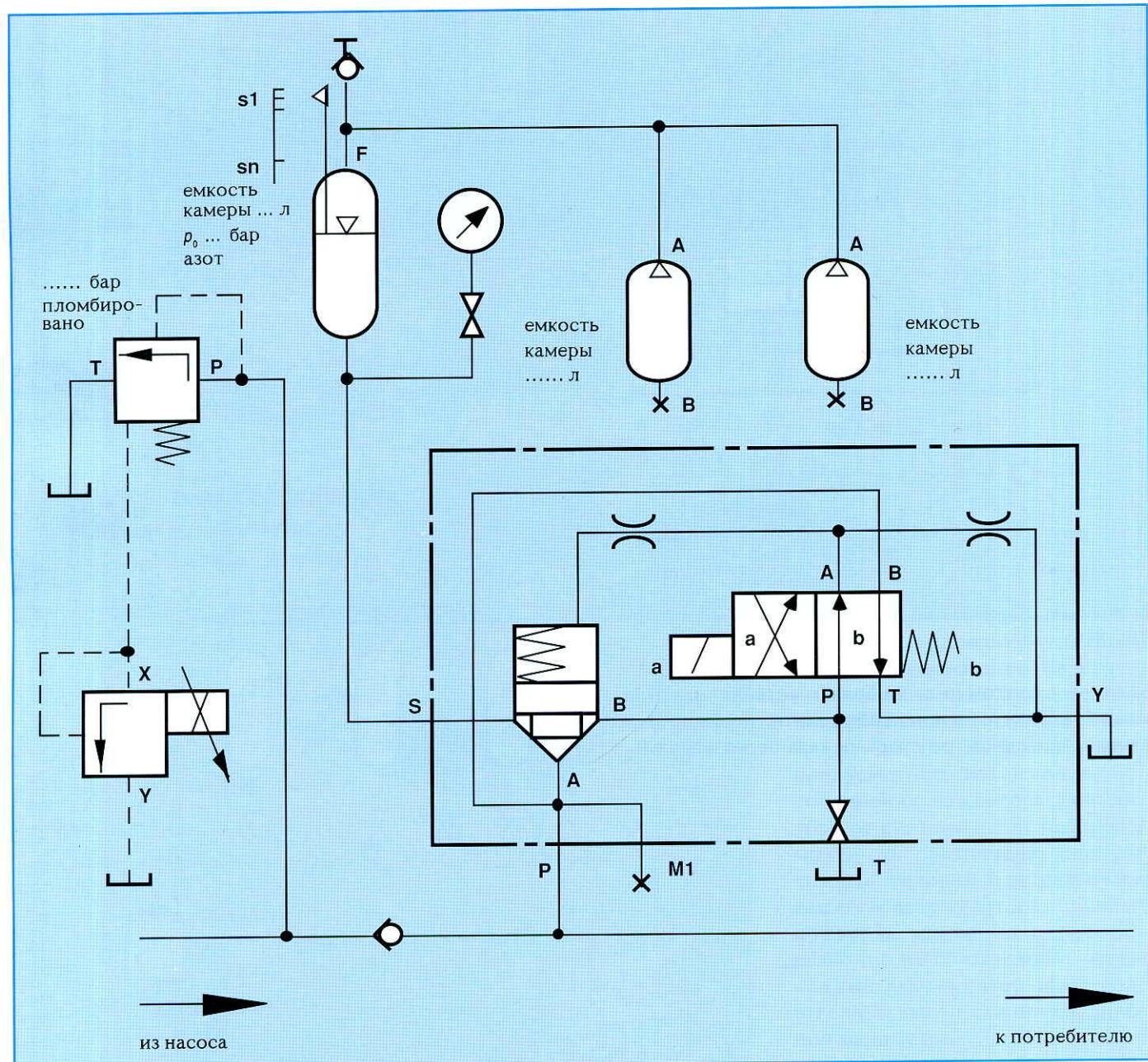


Рис. 82

4 Определение названных разделов к соответствующим разделам Постановления об эксплуатации баллонов высокого давления или Технических правил эксплуатации баллонов высокого давления

Раздел	Заглавие	Издадние/ редакция	Пункт/ раздел	Примечания
2.2.1	Гидроаккумуляторы	Постановл. об эксплуат. баллонов высокого давле- ния, прилож. II §12 TRB 002 TRB 801	27.02.80 2.84/5.86 2.84/5.86	§ 3, разделы 1, 2 раздел 4 1.1 4 раздел 5
2.2.2	Маркировка	TRB 401	11.83/9.85 2.1	
2.3.2	Допустимое избыточное рабочее давление в гидроаккумуляторе	TRB 002	2.84/5.86	1.4.1 Давление, на которое маркируется аккумулятор
2.3.3	Макс. избыточное рабочее давление в гидросистеме, в которой используется гидроакум.	TRB 002	2.84/5.86	1.4.2 Максимально допустимое давление в системе
2.4	Устройство для измерения давления	TRB 403	1.84/9.85	2.1 2.1.2 2.1.3 2.1.4 2.1.5 2.2 a, b Манометр с красной предупредительной отметкой. диапазон давления = 1,5-кратное давление системы
2.5	Устройства, предохраняющие от превышения давления	TRB 403	1.84/9.85	3.1 3.1.1 a 3.1.2 3.1.4 3.1.5 3.1.7 3.1.8 3.2 3.5 Предохранительные клапаны согласно инструкции A2 Рабочей ассоциации по проверке баллонов высокого давления (AD). (Клапаны системы TÜV). Через клапан проходит жидкость в объеме полной подачи насоса. При этом давление может превышать допустимое избыточное рабочее давление в гидроаккумуляторе не больше чем на 10%.
2.6	Запорные элементы	TRB 404	1.84/9.85	3.1 3.2 3.3 3.5 Вентили, залотники, краны
2.7	Разгрузочные клапаны	TRB 404	1.84/9.85	4.1 Разгрузка аккумулятора в бак

Таблица 17

5 Инструкции по приемке гидроаккумуляторов в отдельных странах

Страна	Предварит. испыт. Организ./стандарт	Приемка. Организация	Примечания
Южная Африка	LRIS/ASME Code Бюллетени TÜV/AD	LRIS или TÜV	Как правило, условие приемки выдвигает заказчик, в противном случае действуют требования LRIS.
Остальные африканские страны	TÜV	TÜV	См. стандарты ФРГ, однако свидетельства составл. на английс. языке
Алжир	Service des Mines Algerien	Service des Mines Algerien	Стандарт Service des Mines Algerien обычно не признает стандарт Service des Mines France. Однако в исключительных случаях последн. все же используется. В сомнительном случае решение принимает заказчик. Приемка работник Service des Mines Algerien требует значительн. затрат. Значения допустимого избыточного рабочего давления ниже, чем согл. стандарту Service des Mines France.
Южн. Америка	LRIS/ASME Code	LRIS	
Австралия	Department of Labour and Industry по австралийскому стандарту	TÜV или LRIS	Допустимое избыточное рабочее давление ниже, чем согласно TÜV.
Бельгия	Apragaz Brüssel	Apragaz	
Федератив. Республика Германии	TÜV	TÜV	
Болгария	TÜV	TÜV	Технические условия частично согласуются с заказчиком.
ЧСФР	TÜV	TÜV	Технические условия частично согл. в контракте с заказчиком. Составляется паспорт на аккумулятор для каждого баллона
Дания	Derektoratet for Arbejdsog Fabriktilsynet (применительно к серийным баллонным аккумуляторам)	TÜV	Табличка с техническими данными на датском языке
Финляндия	TTIC (предварительное испытание)	TÜV	

Страна	Предварит. испыт. Организ./стандарт	Приемка. Организация	Примечания
Франция	Service des Mines	Service des Mines; приемка обязательна, начиная с $p \cdot V \leq 80$	Приемка сварных аккумуляторов требует очень высоких затрат. Требование стандарта более низкие.
Великобритания	LRIS, British Standard	LRIS	
Голландия	Stoomwezen Büro соответствующего округа	Stoomwezen Büro соответствующего округа	
Индия	LRIS Indian Standard	LRIS	Предварительное испытание и приемка осуществляются LRIS. Допустимое избыточное рабочее давление ниже, чем требуемое TÜV.
Италия	ISPESL - Рим	TÜV, согласно итальянским нормам; частично самим ISPESL	Если номинальн. объем не превыш. 25 л, приемка произв. TÜV. При более высоком объеме требуется приемка специалист ISPESL. Допуст. избыточ. рабочее давление на 25% ниже. Защита от перегрузки с помош. техн. предохр. клапанов со стороны газа.
Югославия	TÜV	TÜV	Технич. условия частично согласуются в контракте с заказчиком.
Канада	National Board (mit U-Stamp) Hydac-ASME Code	Lloyd's Register Insurance Inc. (Уполномоченный инспектор)	U-Stamp (как в США) действует на всей территории страны, однако в некоторых провинц. введены дополнит. услов. испыт., треб. затрат и продолжит. времени
Люксембург	TÜV	TÜV	По желанию приемка может осуществляться Inspection du Travail et des Mines (частн. организ.). До настоящ. времени такое требов. не выдвигал.
Новая Зеландия	LRIS в г. Крайден (Великобритания)- стандарт Новой Зеландии	LRIS	Во время приемки совместно с LRIS составл. "as built drawing" (чертеж с фактич. разм.), который проверяется в Крайдене. Только после этого выдается разреш. на испытуем. образец
Норвегия	TÜV	TÜV	Ведомство Kielkontrollen Direktoratet for Arbeidstilsynet отвечает только за баллоны высок. давл.. Баллоны производства ФРГ приемки не требуют.
Австрия	TÜV в г. Вене, по собствен. стандартам	TÜV	Допустимое избыточ. рабочее давл. частично ниже, чем требуемое TÜV.

Страна	Предварит. испыт. Организ./стандарт	Приемка. Организация	Примечания
Польша	UDT	TÜV, Hydac имеет право использовать официальную печать UDT	Свидетельства выдаются на польском языке
Португалия	LRIS	LRIS	Предварительн. испытан. и приемка осуществляются в соответствии с соглаш. между Португалией и LRIS. Допустимое избыточ. рабоч. давл. частично соглас. с заказчиком TÜV.
Румыния	TÜV	TÜV	Технические условия частично согласовываются с заказчиком
Испания	TÜV	TÜV	Свидетельство, выданное TÜV, заверяется испанским консульством
Швеция	AB Statens Anläggningsprovning (SA) и Arbetar-skyddsstyrelsen	TÜV (по поручению SA)	Масляный клапан и разрезное кольцо должны быть изготовлены из нестандартного материала
Швейцария	Швейцарское общество испытания баллонов высокого давления (SVDB)	TÜV	Оплачиваемый входной контроль, выполняемый SVDB.
СССР	ГОСТ (соблюдение контролируется службой технического надзора)	Служба технического надзора	Обязательный паспорт аккумулятора
США	National Board (U-Stamp) Hydac-ASME Code	Lloyd's Register Insurance Inc. (Уполномоченный инспектор)	В некоторых штатах U-Stamp не является обязательным, однако настоятельно рекомендуется для импортных изделий

Сокращения названий организаций, ответственных за приемку:

- LRIS** = Lloyd's Register Industrial Services (Гамбург)
- TÜV** = Союз работников технического надзора (ФРГ)
- ASME** = The American Society of Mechanical Engineers (США)
- AD** = Рабочая ассоциация по проверке баллонов высокого давления (ФРГ)
- UDT** = Urzed Dozoru Technicznego (Польша)
- TTIC** = Teknillinen Tarkastuslaitos (Финляндия)
- SdM** = Service des Mines (Франция)

Для заметок

Для заметок

Фильтрация в гидросистемах

Мартин Райк

1. Введение

Эффективная фильтрация в гидросистемах предотвращает нарушения работы и одновременно увеличивает срок службы важных и дорогих элементов.

В процессе изучения причин выхода из строя гидросистем было установлено, что значительно число отказов объясняется высокой степенью загрязнения рабочей жидкости твердыми загрязнителями.

Высокая степень загрязненности твердыми загрязнителями является следствием плохой фильтрации. Ограничение расходов на ремонт элементов возможно только за счет профилактического технического обслуживания гидросистемы. Состояние рабочей жидкости в каждый конкретный момент можно определить путем постоянного контроля (см. раздел 4.8). В случае ухудшения допустимых параметров можно принять соответствующие меры. Это сводит до минимума ожидаемые дефекты.

Постоянное ужесточение требований, предъявляемых к гидравлическим элементам, приводит к тому, что зазоры в сопряжениях становятся все меньше. Если в предшествующие годы абсолютная точность фильтрации в гидросистемах обычно составляла 80 - 100 мкм, то в настоящее время необходимая абсолютная тонкость фильтрации не выше 20 мкм, а в гидросистемах с использованием сервоклапанов требуется тонкость фильтрации до 3 мкм.

Правильный выбор фильтров должен производиться уже при проектировании гидросистем. Благие намерения инженеров-проектировщиков обычно не могут быть реализованы из-за требований, предъявляемых к стоимости заказанного оборудования. Изменение типоразмера к предусмотренной тонкости фильтрации представляется простой возможностью снижения продажной стоимости оборудования, которая на первых порах не приводит к ухудшению работы гидросистем. Однако дополнительная установка подходящего фильтра сопряжена со значительными затратами. Кроме того, неоптимальный режим эксплуатации гидрофильтров снижает общее впечатление от гидросистемы. Часто с этим связана потеря репутации поставщика гидросистемы.

Поэтому настоятельно рекомендуется не экономить средства при выборе фильтров. Возможное увеличение расходов, вызванное применением оптимальных больших фильтров, быстро окупится благодаря

снижению затрат на техническое обслуживание и сокращению простоев оборудования.

Применение фильтров с большой фильтрующей поверхностью уменьшает нагрузку на фильтр при постоянной пропускной способности. В результате значительно возрастает срок службы фильтра. (см. диаграммы 32 и 40).

При выборе тонкости фильтрации следует учитывать следующие факторы:

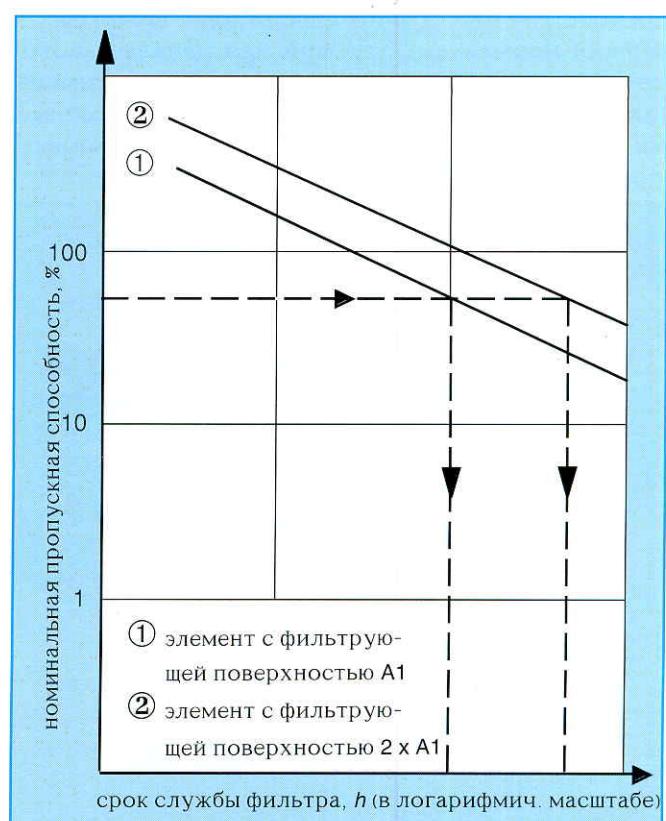


Диаграмма 32: Повышение срока службы фильтра в результате увеличения площади фильтрующей поверхности

- Тонкость фильтрации для всей системы определяется элементом с наименьшим зазором в сопряжении.
- Тонкость фильтрации выбирается применительно к этим элементам. Оснащение гидроагрегатов фильтрами, имеющими наименьшую тонкость фильтрации, которую может обеспечить поставщик фильтров, в принципе не требуется.

2. Функции фильтров в гидросистемах

2.1 Влияние загрязнения твердыми загрязнителями

Общие положения

Исследования гидросистем показали, что снижение количества твердых частиц в рабочей жидкости значительно увеличивает срок службы деталей и повышает эксплуатационную надежность.

Образование твердых частиц часто является следствием высокой механической или гидравлической нагрузки. Беспрепятственная циркуляция твердых частиц в системе вызывает механический износ, который, в свою очередь, приводит к дальнейшему увеличению числа твердых частиц. Этот процесс может начинаться или ускоряться под влиянием загрязнителей, попадающих в систему снаружи. Цепная реакция образования и роста числа твердых частиц может быть сведена до минимума за счет применения в системе качественных фильтров. С целью обеспечения нормальных условий для начала работы всех элементов обязательно требуются эффективная фильтрация заливаемой рабочей жидкости, соблюдение чистоты при монтаже и тщательная промывка системы.

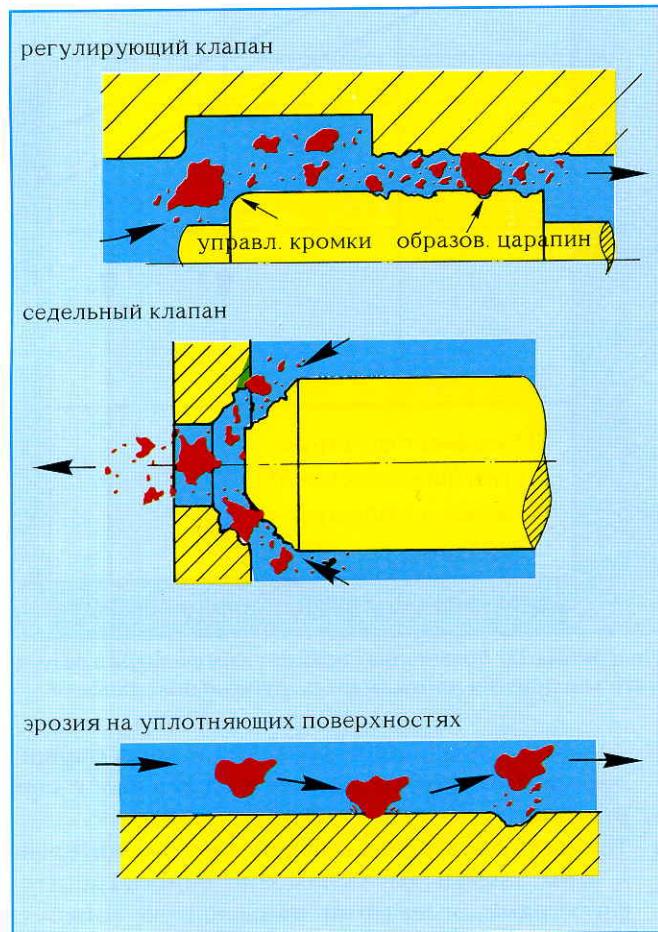


Рис. 83: Повреждение поверхности твердыми частицами

Действие твердых загрязнителей на распределители, регулирующие клапаны и насосы

На рис. 83 показано, что твердые частицы, размеры которых значительно меньше величины зазора в сопряжении, при осциллирующем движении золотника не оказывают никакого отрицательного воздействия, свободно проходя через зазор. Однако при медленном движении возникает опасность забивания зазора, что может привести к выводу из строя регулирующего клапана. Частицы, размеры которых больше величины зазора, осаждаются перед зазором и сначала не оказывают отрицательного воздействия на регулирующие клапаны. Однако сохраняется опасность, что в результате движения золотника при высоком рабочем давлении или вследствие увеличения скорости течения твердые частицы будут измельчаться и вдавливаться в зазор.

Частицы, размеры которых примерно соответствуют величине зазора, представляют наибольшую опасность для элементов, поскольку они оставляют царапины, то есть вызывают повышенный износ. Истирающее действие твердых частиц приводит к образованию новых частиц, и начинается цепная реакция увеличения их количества. Разрушение деталей часто вызывается этими твердыми частицами.

Под влиянием высоких скоростей течения на управляющих кромках очень часто наблюдается эффект эрозии. Эрозия усиливается твердыми частицами, которые содержатся в рабочей жидкости. В результате изменяется характеристика регулирования элемента.

Действие твердых загрязнителей на седельные клапаны

Твердые частицы могут застревать между седлом клапана и запирающим элементом и нарушают герметичность.

Действие твердых загрязнителей на дроссели и дроссельные шайбы

Носящиеся в рабочей жидкости частицы загрязнений осаждаются в отверстиях дросселей и дроссельных шайб. Вследствие такого неконтролируемого сужения отверстия невозможно обеспечить постоянную подачу в течение всего времени эксплуатации.

Действие твердых загрязнителей на подшипники

Частицы загрязнителей осаждаются в порах металлокерамических подшипников, а наиболее твердые из них вдавливаются в относительно мягкий материал. В результате на валу образуются очень глубокие царапины. Кроме того, забиваются смазочные каналы, что может вызвать перегрев вала.

Эрозионное действие твердых частиц

Под влиянием перепада давления в зазоре в него вдавливаются твердые частицы со скоростью, примерно соответствующей скорости потока при прохождении через зазор. Каждая частица обладает энергией, пропорциональной ее массе. При контакте частицы с уплотняющими поверхностями происходит передача этой энергии. В результате этого из поверхности выбиваются частицы, и происходит непрерывное увеличение количества твердых частиц.

Действие твердых частиц на систему

- Повышение утечки.
- Заедание золотников.
- Выход из строя деталей.
- Изменение характеристики регулирования.

2.2 Виды загрязнителей

Различают следующие виды загрязнителей рабочих жидкостей (см. табл. 18).

Твердые частицы с острыми кромками

Эти загрязнители несут основную ответственность за износ элементов системы. Действие отдельных твердых частиц на детали зависит от материала и формы частиц.

Твердые частицы с острыми кромками оставляют глубокие царапины. Следовательно, они представляют большую опасность, чем мягкие шарообразные частицы.

Такие частицы надо отфильтровывать системными фильтрами. При выборе типоразмеров фильтров и тонкости фильтрации следует исходить из ожидаемой загрязненности твердыми частицами.

Мягкие студенистые частицы

Они могут закупоривать зазоры, в результате чего детали выходят из строя. Кроме того, эти частицы засоряют смазочные точки, затрудняя смазку элементов системы.

Хорошие системные фильтры улавливают такие частицы, однако при этом происходит забивание фильтрующего элемента, и срок его службы сокращается.

Вещества, растворенные в рабочей жидкости

Они не вызывают износа элементов системы. Однако эти вещества могут изменять смазочные свойства, ускоряют старение, приводят к образованию трещин или ухудшают фильтруемость рабочей жидкости.

Растворенные вещества не задерживаются стандартными фильтрующими элементами. Поэтому приходится полностью менять рабочую жидкость и тщательно промывать гидроагрегат.

Материал	Действие
Корунд, окалина, частицы ржавчины	Очень агрессивное
Сталь	
Чугун	
Латунь	Агрессивное
Бронза	
Алюминий	
Жесткая ткань	
Волокна	
Продукты износа упл.	
Частицы резины шлангов	Слабо агрессивное
Частицы краски	
Продукты окисления рабочей жидкости	

Таблица 18: Действие твердых загрязнителей на поверхность зазора

2.3 Действие загрязнения на износ элементов

Установлено, что в принципе все твердые частицы вызывают износ элементов гидросистемы.

Этот износ зависит от следующих параметров:

- материал твердой частицы,
- размеры твердой частицы,
- соотношение размеров твердых частиц и зазора в сопряжении,
- геометрическая форма твердой частицы,
- рабочее давление,
- скорость потока.

Твердые минеральные частицы уже в малых количествах могут нанести значительный вред. Частота дефектов зависит от рабочего давления. Чем выше рабочее давление в гидросистеме, тем выше силы, под действием которых твердые частицы вдавливаются в зазор, и тем сильнее ожидаемое отрицательное воздействие.

2.4 Происхождение твердых загрязнителей

Перед или в процессе ввода в эксплуатацию

Несмотря на промывку агрегатов после монтажа, в гидравлических элементах и трубопроводах остаются частицы загрязнителей. Во время исследований были обнаружены следующие виды загрязнителей: стержневая смесь, корольки металла при сварке, стружка, окалина, обрывки ткани, ржавчина, остатки упаковочных материалов, частицы краски.

Значительным источником загрязнителей может служить заливаемая рабочая жидкость. Поэтому перед вводом в эксплуатацию системы необходимо соблюдать следующие правила.

- а) Свежую рабочую жидкость надо заливать только через фильтр или специальный заправочный агрегат, аналогичный показанному на рис. 84. Тонкость фильтрации в промывном фильтре или заправочном агрегате должна быть не хуже тонкости фильтрации, предусмотренной для эксплуатации системы.
- б) Рекомендуется очистка рабочей жидкости, находящейся в гидросистеме, с помощью специальной фильтровальной установки.

в) Включить гидронасос. Фильтровальная установка продолжает работать. Это обеспечивает дополнительную очистку рабочей жидкости, возвращающейся из гидроагрегата, от ожидаемого большого количества твердых загрязнителей.

г) После промывки в течение предварительно установленного времени отобрать пробу масла и определить степень загрязненности жидкости. По результатам анализа установить дальнейший ход процесса промывки системы.

Как показано на диаграмме 33, продолжительность времени промывки зависит от размеров бака, чистоты системы, используемых элементов, требуемого класса чистоты рабочей жидкости и степени чистоты залитой рабочей жидкости.

Перед началом промывки ее продолжительность можно определить весьма приблизительно. В процессе промывки следует считаться с опасностью повреждения дорогостоящих элементов. Поэтому такие дорогие элементы, как, например, сервоклапаны или клапаны пропорционального регулирования, устанавливают только после окончания промывочных операций.

После выполнения дополнительных работ по изменению системы трубопроводов, ремонту или переносу гидросистемы на другое место требуется повторная промывка системы.

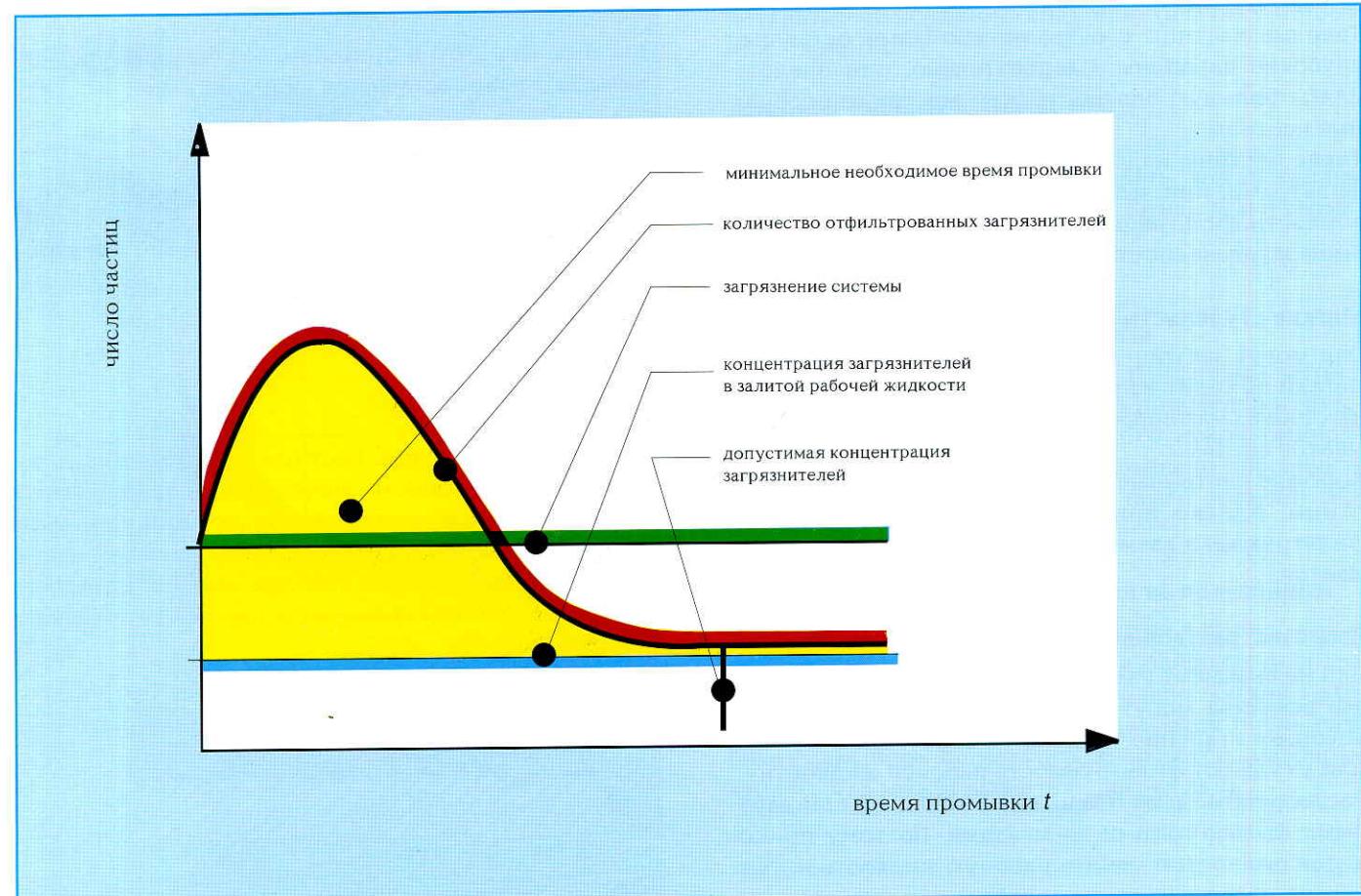




Рис. 84: Специальная фильтровальная установка для очистки гидросистемы и заливки рабочей жидкости

Во время эксплуатации системы

Загрязнители, образующиеся в системе в процессе эксплуатации, бывают двух типов: внутренние и внешние.

Под внутренними загрязнителями понимают все частицы загрязнений, образующиеся в системе, например, в результате износа управляющих кромок, корпусов и поршней, резиновых деталей шлангопроводов и уплотнений, а также частицы краски и продукты окисления рабочей жидкости.

Внешние загрязнители попадают в систему вследствие плохой герметизации гидробаков, неправильного выбора воздушных фильтров, повреждения уплотнений поршней или в результате работы грязесъемников на штоках.

Задача установленных гидрофильтров состоит в том, чтобы отфильтровывать образующиеся внутри и попадающие снаружи загрязнения, предотвращая таким образом возникновение цепной реакции образования частиц загрязнений.

Анализ показал, что при использовании фильтров особо тонкой очистки в агрегатах, содержащихся в исправном состоянии и имеющих хорошую герметизацию, достигается значительное повышение общего срока эксплуатации системы при одновременном сокращении времени простоя.

2.5 Функции гидрофильтра

С точки зрения нормального функционирования гидросистем установленные в них гидрофильтры не менее важны, чем остальные элементы. Правильный выбор параметров и нормальный монтаж гидрофильтров обеспечивают сокращение расходов на техническое обслуживание, ремонт и ликвидацию последствий простоев оборудования. Их применение улучшает экономичность гидросистемы и тем самым установки в целом. Кроме того, они оказывают большое влияние на оценку гидросистемы потребителем с точки зрения управления и надежности.

Система фильтров с правильно выбранными параметрами выполняют следующие функции:

- Удаление твердых загрязнителей из рабочей жидкости.
- Предупреждение нарушений работы, вызванных твердыми загрязнителями.
- Предотвращение изменений времени срабатывания в результате повреждения управляющих кромок.
- Сокращение простоев, обусловленных техническим обслуживанием.
- Повышение срока службы узлов и деталей.
- Обеспечение профилактического обслуживания.
- Предотвращение старения рабочей жидкости, вызванного химическими процессами (последствия загрязнения твердыми загрязнителями).
- Сохранение смазочной способности рабочей жидкости.
- Увеличение интервалов между сменами рабочей жидкости.
- Обеспечение высокой эксплуатационной надежности между отдельными интервалами профилактических осмотров.
- Увеличение интервалов профилактических осмотров гидрофильтров.
- Отфильтровывание твердых загрязнителей в течение всего времени эксплуатации.
- Высокая поглотительная способность.
- Надежная готовность гидросистемы к работе.
- Работа фильтров в условиях изменения давления и объемного расхода в гидросистеме.

3. Требования, предъявляемые к гидрофильтрам

3.1 Стандарты на методы испытаний

Фильтрующий элемент и корпус гидрофильтров, применяющихся в гидросистемах, подвергаются различным испытаниям.

Оценка фильтрующего элемента производится на основании критериев, установленных стандартами на методы испытаний. При необходимости эти стандарты применяют в отдельности или в определенных комбинациях.

Стандарты на методы испытаний приводятся в приложении.

3.2 Фильтрующие элементы

3.2.1 Свойства материалов фильтрующих элементов

Принцип действия фильтрующего элемента определяется применяемым фильтровальным слоем. Его называют также матрицей. В зависимости от материала фильтровального слоя фильтры подразделяются на поверхностные и глубинные.

Преимущества и недостатки применяемых материалов

Общие данные

В зависимости от конструкции поверхностные и глубинные фильтры различаются с точки зрения поглотительной способности и степени очистки (см. диаграммы 34 и 35).

Поверхностные фильтры

В качестве материала в этих фильтрах используют ткани самых разнообразных видов (см. табл. 19).

Благодаря своей конструкции поверхностные фильтры обеспечивают определенную тонкость фильтрации применительно к частицам кубической формы, которая равна или больше ширины щели или размера ячейки фильтра. При определенных обстоятельствах фильтры не в состоянии задерживать длинные и тонкие частицы, например, волокна.

Активная поверхность фильтра ограничена и зависит от тонкости фильтрации. (Под термином "активная поверхность фильтра" понимают поверхность, через которую проходит рабочая жидкость). Площадь активной поверхности фильтров этого типа составляет 30 - 40% общей поверхности фильтровального слоя. При тонкости фильтрации ниже 25 мкм она еще меньше.

Фильтрующие элементы с тонкостью фильтрации выше 40 мкм можно очень хорошо очищать простыми

средствами. При тонкости фильтрации ниже 40 мкм для повышения эффективности процесса очистки рекомендуется использовать ультразвуковую ванну.

Благодаря простой очистке, незначительному начальному перепаду давлений и высокой стабильности перепада давлений, особенно при использовании тканевого кружева, эти фильтрующие элементы находят применение главным образом в качестве предохранительных фильтров гидросистем, в системах смазки и обратной промывки.

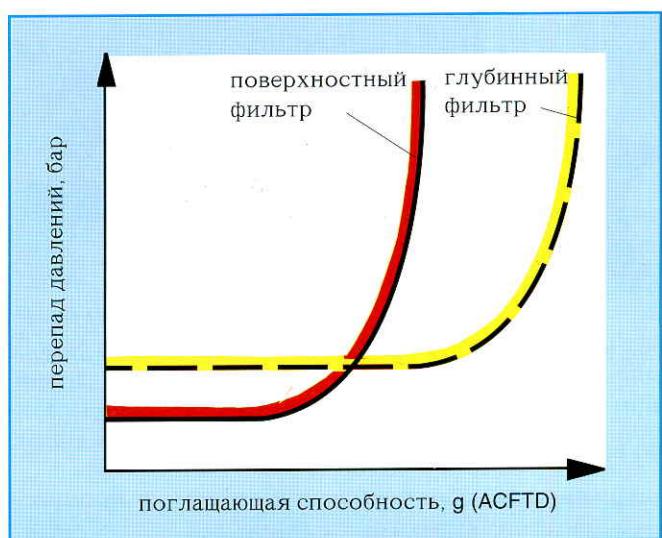


Диаграмма 34: Поглотительная способность поверхностных и глубинных фильтров

Диаграмма 35:
Тонкость фильтрации поверхностных и глубинных фильтров



Структура	Область примен.	Преимущества	Недостатки	
Проволочная ткань 	Квадратные ячейки. Прутки из нержавеющей стали, оцинкованной стали или фосфористой бронзы	Фильтры для смазочных масел, фильтры грубой очистки, предохранительные фильтры. Фильтр воды, трудно воспламеняемых жидкостей, специальных жидкостей. Работа в условиях высоких температур	Очищаемые элементы Незначительная потеря давления	Тонкость фильтрации ограничена 10 мкм Невозможность проведения испытания multi-pass (см. раздел 3.2.3) Ограниченная эффектив. поверхность фильтра (ок. 30 - 40%)
Тканевое кружево 	Разная толщина прутков утка и основы. Прутки из нержавеющей стали	Фильтры грубой очистки и предохранительные фильтры	Очищаемые элементы Незначительная потеря давления Возможен исключительно высокий перепад давлений (до $\Delta p = 420$ бар)	Невозможность проведения испытания multi-pass (см. раздел 3.2.3) Огранич. эффект. поверхн. фильтра
Шелевая трубка 	Трехгранные прутки, навитые на опорный корпус с различным углом подъема. Трехгранные прутки из нержавеющей стали	Фильтры обратной промывки или грубая фильтрация	Фильтрующий элемент может очищаться в процессе эксплуатации. Может использоваться в агрессивных средах, воде, трудно воспламеняемых жидкостях	Тонкость фильтрации ограничена 50 мкм Ограниченная эффектив. поверхность фильтра. Невозможность проведения испытания multi-pass (см. раздел 3.2.3)

Таблица 19: Фильтровальные материалы для поверхностных фильтров

Глубинные фильтры

В этих фильтрах применяются следующие материалы: техническая целлюлоза, пластмассы, стекло и металл (см. табл. 20). Структура пор в значительной мере зависит от используемых волокнистых материалов, от длины и толщины волокон. Тонкость фильтрации не зависит от конструкции. Под действием возникающего лабиринтного эффекта частицы загрязнений разной формы и размеров осаждаются внутри фильтровального слоя. Образуется так называемый профиль осаждения, который определяется экспериментальным путем.

За исключением металлического волокна, глубинные фильтры не поддаются очистке и используются как элементы одноразового действия. Благодаря исключительно высокой степени очистки и хорошей поглощающей способности эти фильтрующие элементы применяют в основном для отфильтрования твердых частиц размером меньше 20 мкм. Это в первую очередь необходимо в системах, чувствительных к загрязнению.

Недостатки	Структура	Область примен.	Преимущества	Недостатки
Слой бумажной массы	Органические волокна, произвольно ориентированные и упрочненные связующим средством	Всасывающие и обратные фильтры. Фильтры тонкой очистки. Элементы одноразового использования	Незначительные затраты. Малые потери давления	Ограниченнная возможность проведения испытания multi-pass. Средняя поглощающая способность. Низкая прочность при перепадах давления
Слой бумажной массы, пропитанной феноловой смолой	Органические волокна, произвольно ориентированные и пропитанные феноловой смолой	Топливные фильтры. Фильтры для моторного масла. Фильтры тонкой очистки. Элементы одноразового использования	Незначительные затраты. Простая конструкция элемента Большая фильтрующая поверхность	Ограниченные возможн. проведения испытания multi-pass. Плохая поглощающая способность. Пригодность не для всех жидкостей. Низкая прочность при перепадах давления
Стекловолокнистый холст	Стекловолокна, произвольно ориентированные и упрочненные связующим средством	Фильтры особо тонкой очистки для высококачественных элементов. Элементы одноразового использования	Примен. стекловолокна обеспечивает тонкую очистку, хорошую поглощающую способность, адсорбцию частиц в широком диапаз. переп. давл., высокую химич. стойкость, использов. в любых гидросистемах	Повышенный перепад давления. Невозможность очистки. Низкое сопротивление потоку
Металлическое волокно	Прутки из нержавеющей стали, произвольно ориентированные, спеченные и каландрованные	Тонкая и особо тонк. фильтрац., работа в условиях высоких температур и переп. давления, использов. со всеми рабочими жидкостями, ограниченная возможность очистки элементов	Незнач. потеря давлен., хорошая поглощающая способн.; высокачеств. волокно позволяет использ. многопроход. сист.; хорош. усталостн. прочн., высокая темперац., хороши совместим. с рабочей жидкостью	Очень высокая стоимость. Ограниченнная возможность очистки, зависящая от перепада давления и тонкости фильтрации
Металлокерамические фильтры	Спеченные металлические шарики. Диаметр шариков определяет тонкость фильтрации	Предохранительные фильтры	Низкая стоимость изготовления	Применение только при небольшом колич. протекающей жидкости. Огранич. эффективная поверхность фильтра. Чувствителн. к гидравлич. ударам. Высокий перепад давления

Таблица 20. Фильтровальные материалы для глубинных фильтров

3.2.2 Конструктивные особенности фильтрующих элементов

Конструктивные особенности фильтрующих элементов зависят от различных условий эксплуатации, на которые они рассчитаны

		Область применения	Преимущества	Недостатки
Ступень давления	Устойчивость при низком рабочем давлении	Низкое рабоч. давление, фильтры с байпасом, рабочие фильтры	Дешевый элемент	Разрушение при резких и жестких гидравлических ударах
	Устойчивость при высоком рабочем давлении	Высокое рабочее давл., фильтры без байпаса, предохранит. фильтры	Универсальное применение	Высокая стоимость
Структура фильтровального слоя	Однослойная	Автомобилестроение	Низкая стоимость	Неустойчив. при перепадах давления. Низкая пропускная способность фильтра
	Многослойная	Гидросистемы и системы смазки	Высок. пропускная способ. фильтра. Устойчивость при перепаде давления	Высокая стоимость
	Звездообразный фильтрующий элемент	Гидравлика, смазочная техника, топливо	Большая фильтрующая поверхность при минимальном пространстве	Ограниченнная возможность очистки
	Сетчатая оболоч.	Системы смазки	Хорошая очистка	Ограниченнная фильтрующая поверхность
	Приемная сетка	Системы смазки	Полное удаление грязи при смене элемента	Сложная конструкция
Направление потока	Изнутри наружу	Для небольших перепадов давления	Полное удаление грязи при смене элемента	Сложная конструкция
	Снаружи внутрь	Для больших перепадов давления	Очистка в зависимости от материала	Отфильтрованная грязь не остается в элементе
Соединение фильтровального слоя с крышкой	Клеевое соединение	Для очистки минеральн. масел при температуре до 100 °C	Простое и дешевое соединение	Невозможность использования при высоких температ. и непригодн. для очистки всех жидк.
	Паяное соединение	Для очист. минер. масел при темпер. выше 100 °C и агрессивн. жидкостей	Использов. при высоких температ. и для очистки агрессивных жидкостей	Высокая стоимость, сложная обработка
	Соединение отбортовкой	Для очист. минер. масел при темпер. выше 100 °C и агрессивн. жидкостей	Использов. при высоких температ. и для очистки агрессивных жидкостей	Высокая стоимость, сложная обработка

Таблица 21: Конструктивные особенности фильтрующих элементов

3.2.3 Проверка пропускной способности фильтра по DIN ISO 4572 (испытание multi-pass)

С помощью этих методов испытания определяют степень очистки и поглотительную способность фильтрующих элементов.

Такая методика, являющаяся международным стандартом, позволяет производить прямое сравнение фильтрующих элементов с одинаковой толщиной фильтрации, изготовленных разными фильтрами. Чтобы обеспечить возможность сравнения, в протоколе испытания должны быть указаны условия проведения испытания. Согласно международной практике следует отразить также изменения методики испытания.

Конструкция стенда для проведения испытания multi-pass и ход испытания (рис. 85)

На стенде смонтированы две гидросистемы:

- **испытательная система** с баком, контрольной жидкостью, насосом, системой охлаждения и подогрева, расходомером, фильтром с испытуемым фильтрующим элементом и электронным счетчиком частиц;
- **система впрыска загрязнителя** с баком, насосом, системой охлаждения и подогрева, впрыскивающей форсункой и впрыскиваемой жидкостью. В баке во впрыскиваемую жидкость добавляется контрольный загрязнитель (ACFTD).

Перед началом испытания обе системы очищаются с использованием фильтров самой тонкой очистки. Испытание начинается только при наличии в системах заданного числа твердых частиц.

Ход испытания

Фильтрующий элемент помещают в стабильном потоке циркулирующей рабочей жидкости, причем в испытательную систему одновременно поступает незначительное количество рабочей жидкости, содержащей строго определенное количество загрязнителя. Загрязненная таким образом контрольная жидкость подается и фильтрующему элементу. До и после прохождения через фильтр отбираются пробы жидкости, и количество загрязнителя определяется счетчиком твердых частиц. Одновременно производится измерение перепада давления, обусловленного загрязнением элемента. Показателем степени поглощения (толщины фильтрации) служит коэффициент фильтрации β_x . Частица при этом имеет размер X. Загрязнители, которые не задерживаются испытуемым фильтрующим элементом, остаются в гидросистеме, благодаря чему создается модель условий эксплуатации.

Коэффициент β_x относится к частицам, размеры которых равны или больше рассматриваемого размера X. При изменении перепада давления на фильтрующем элементе происходит изменение коэффициента β_x .

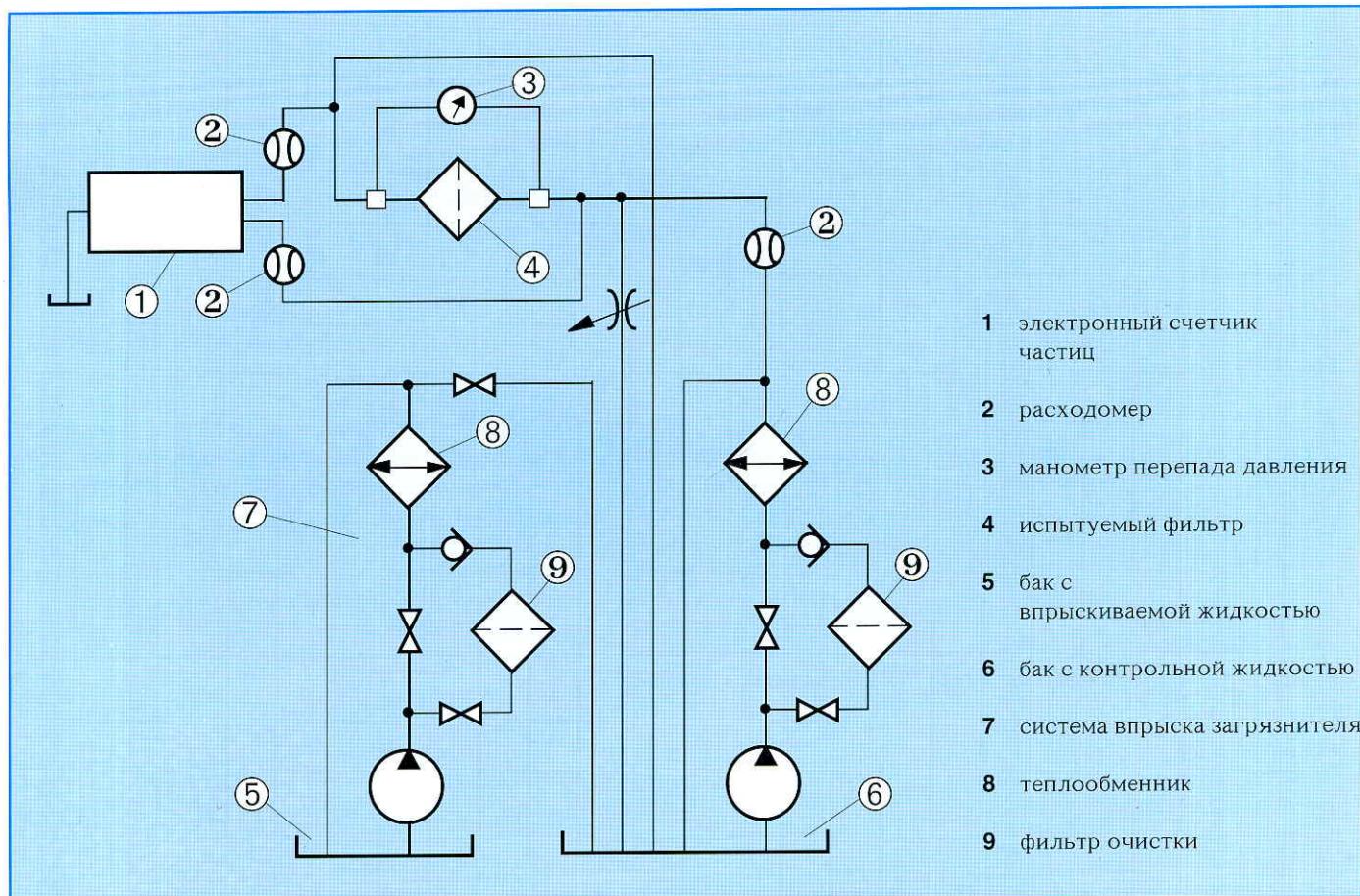


Рис. 85: Упрощенная гидросхема стенда для испытания multi-pass

Определение коэффициента фильтрации β_x (рис. 86)

Число подсчитанных частиц загрязнений перед фильтрующим элементом, размеры которых больше определенной величины X , делится на число подсчитанных частиц загрязнений после прохождения через фильтрующий элемент (частицы также имеют размер X при постоянном перепаде давления и в одно и то же время) и получается относительная величина.

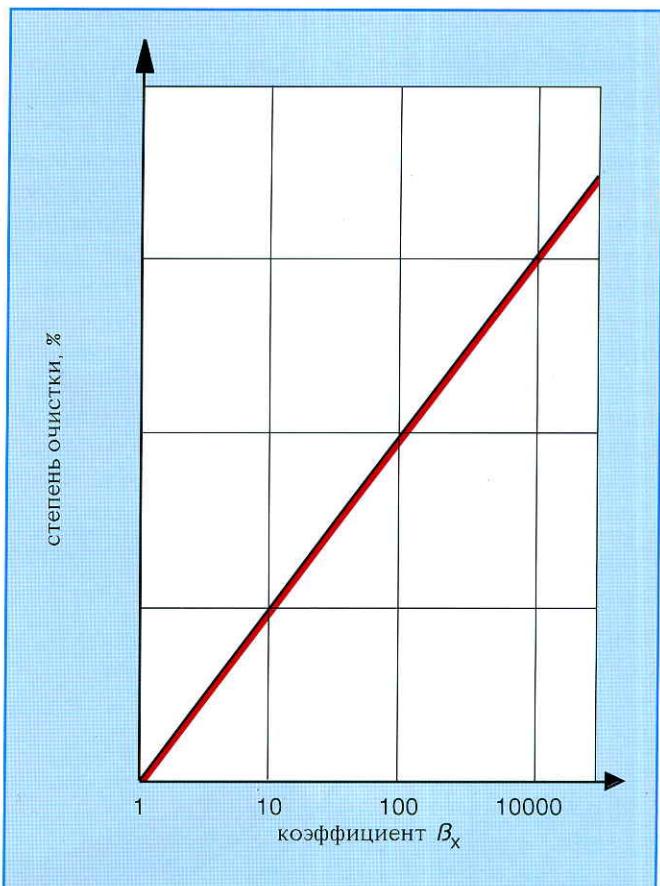
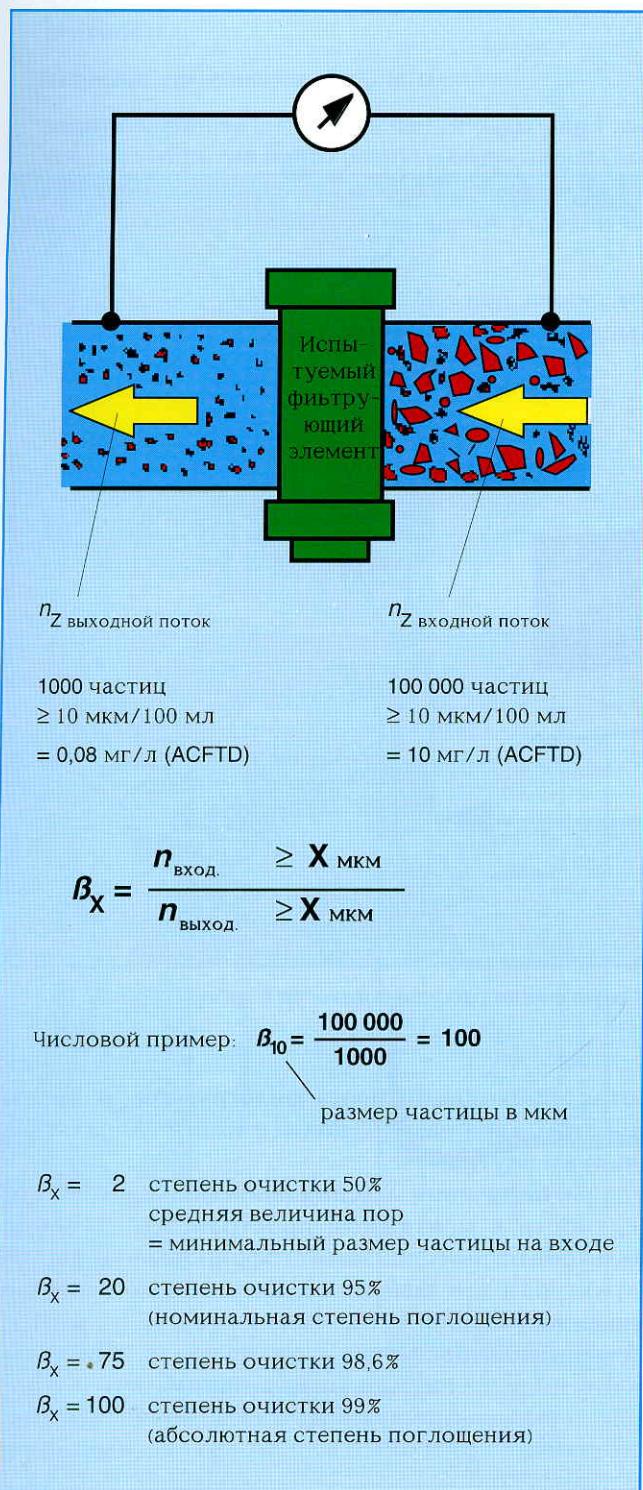


Диаграмма 36: Коэффициент β_x
в зависимости от степени очистки, %

Определение тонкости фильтрации

Прежние данные о тонкости фильтрации базируются на результатах внутризаводских испытаний, проводимых разными производителями фильтров. Только использование коэффициента β_x с учетом возникающего перепада давления позволяет сопоставлять данные о тонкости фильтрации, которые приводятся различными поставщиками фильтров.

Номинальная тонкость фильтрации

Соответствующие коэффициенты β_x не установлены. Применительно к пользователю это означает, что поглощается только часть загрязнителей, отфильтровываемых оптимальным фильтром.

Определение: $\beta_x \leq 20$.

Это соответствует степени очистки 95%.

Абсолютная тонкость фильтрации

Тонкость фильтрации, начиная с коэффициента $\beta_x \geq 100$, или степени очистки 99%, называют абсолютной степенью поглощения (см. диаграмму 36).

Рис. 86: Определение коэффициента β_x

Указания по анализу значений коэффициента β_x

Значения коэффициента β_x , полученные в процессе испытания multi-pass, определяются при постоянной концентрации загрязнителя.

Под действием лабиринтного эффекта при использовании глубинных фильтров и в результате образующейся при этом пористой структуры определенная группа частиц может беспрепятственно проходить через фильтрующий элемент. Вследствие этого значения коэффициента β_x при различных концентрациях, типах и структурах загрязнителей изменяются по сравнению с "идеальным" загрязнением согласно испытанию multi-pass. Это обстоятельство особенно важно в том случае, когда требуется определить пропускную способность фильтрующего эле-

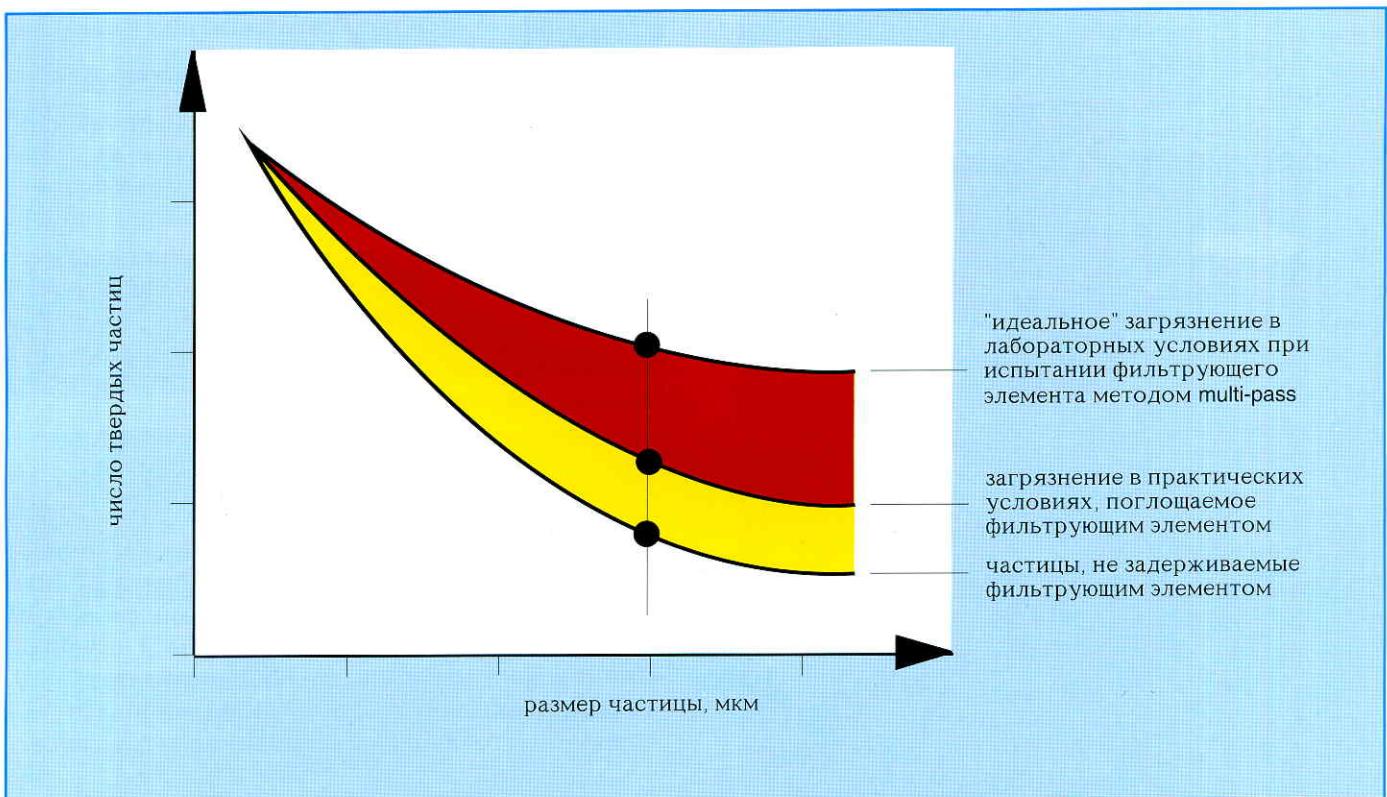


Диаграмма 37: Представление различных коэффициентов β_X при загрязнении рабочей жидкости в лабораторных и практических условиях

мента применительно к рабочей жидкости, используемой в практической деятельности (см. диаграмму 37).

3.2.4 Свойства многослойных фильтрующих элементов

Опыт, полученный в результате практической деятельности и экспериментальных исследований, привел к созданию многослойных фильтрующих элементов типа "Бетамикрон" (см. рис. 87).

В ходе исследований было также установлено, что только с помощью такой структуры фильтровального слоя может быть достигнута требуемая степень очистки рабочей жидкости.

Поток, проходящий через фильтрующие элементы при этом, как правило, должен иметь направление снаружи внутрь.

С целью получения максимальной фильтрующей поверхности в монтажном пространстве элемента, фильтровальный слой имеет гофрированную форму. Структура слоя зависит от допустимого перепада давления на фильтрующем элементе.

Монтаж фильтровального слоя между крышками элемента и крепление его концов производятся с помощью высококачественных kleев. Прочность этих kleев зависит от температуры и резко снижается при ее повышении.

Многослойные фильтрующие элементы типа "Бетамикрон" обладают следующими преимуществами:

- точный размер пор;
- отличная способность отделять мельчайшие частицы в широком диапазоне перепада давления, то есть обеспечение заданного коэффициента β_x (см. диаграмму 38);
- высокая поглотительная способность, обусловленная большой удельной фильтрующей поверхностью;
- хорошая химическая стойкость;
- защита элемента от повреждения благодаря высокому сопротивлению разрушающим перепадам давления, например, при холодном запуске и резком повышении давления во время переключения;
- сохранение стабильной пропускной способности в случае попадания воды или наличия воды в рабочей жидкости.

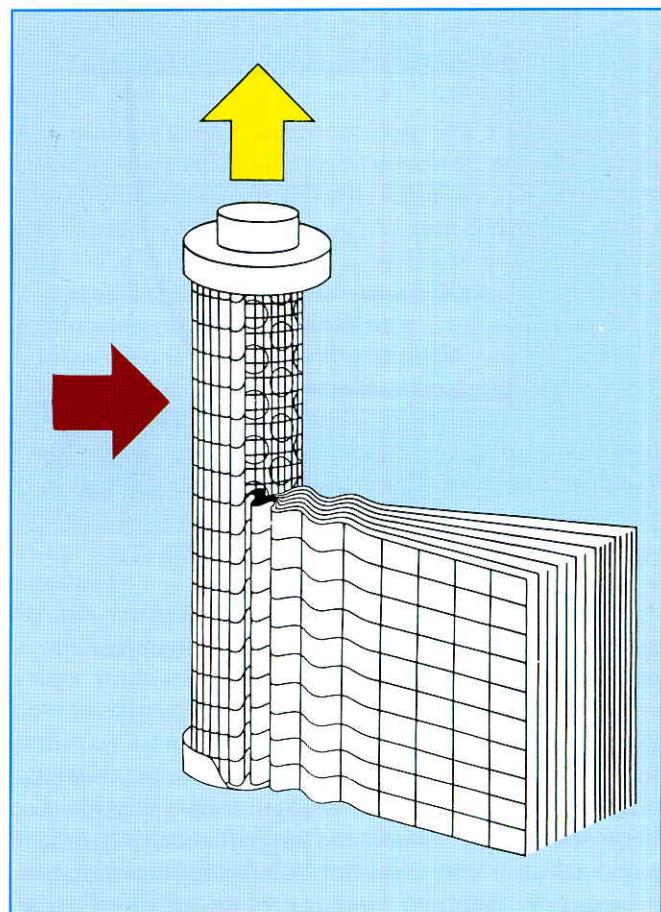


Рис. 87: Многослойный фильтрующий элемент

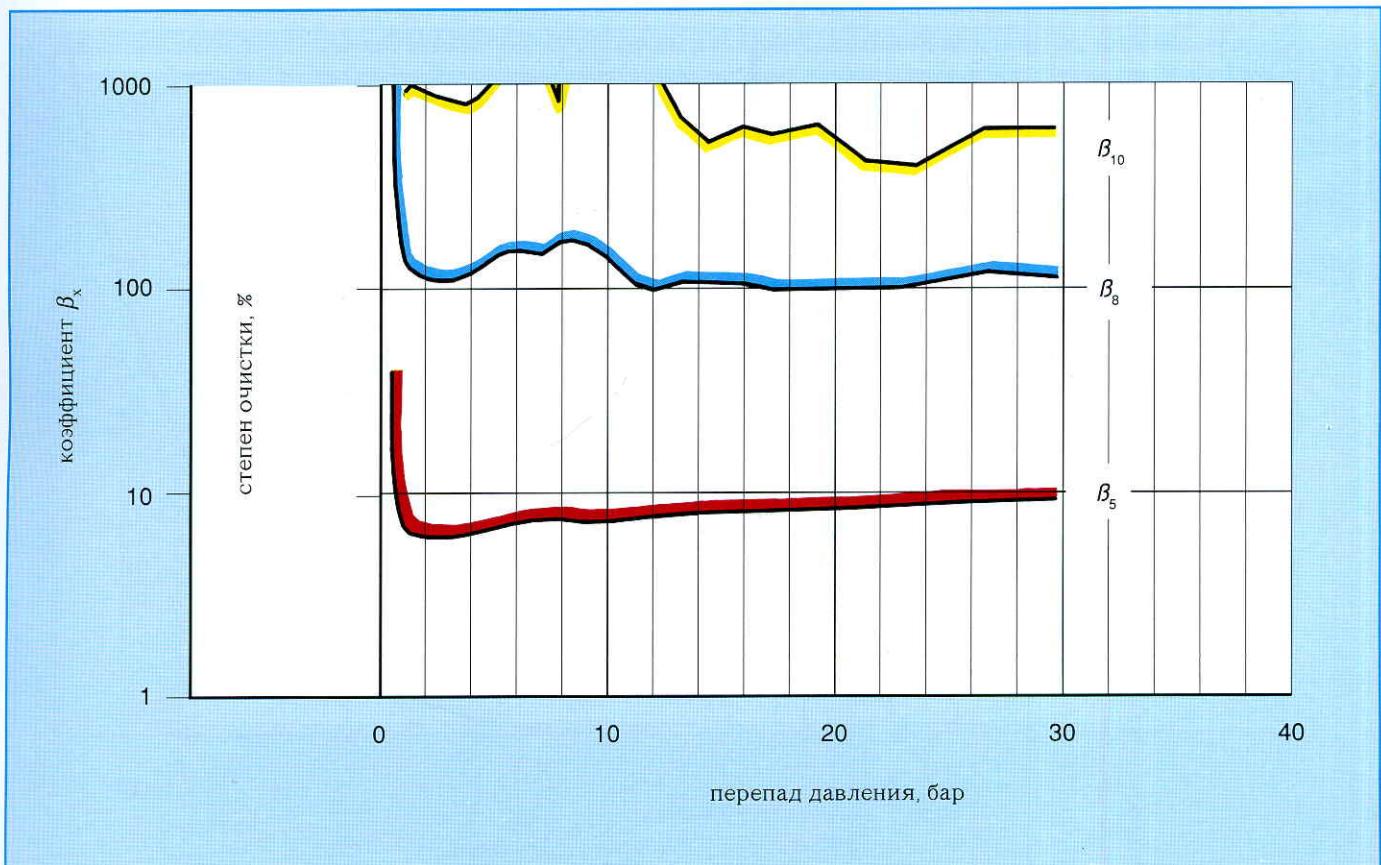


Диаграмма 38: Коэффициент β_x при различных перепадах давления на фильтрующем элементе



Диаграмма 39: Кривая поглощения загрязнителя фильтрующим элементом

Конструктивные особенности многослойных элементов типа "Бетамикрон"

Направление потока

Поток рабочей жидкости проходит через рассматриваемые фильтрующие элементы по направлению снаружи внутрь. Изменение направления разрушает фильтрующий элемент. При необходимости возникновение обратного течения следует предотвращать путем установки быстродействующих обратных клапанов на выходе фильтрующего элемента.

В таких случаях оправдано использование корпусов фильтра со встроенным обратным клапаном.

Звездообразная форма

С целью получения максимально возможной фильтрующей поверхности элемента фильтровальный слой имеет звездообразную форму. Этим достигается продолжительный срок службы фильтрующего элемента.

Срок службы фильтрующего элемента

Под сроком службы фильтрующего элемента понимают число рабочих часов, в течение которых он используется и обеспечивает заданную степень очистки жидкости.

Смену фильтра следует производить не позднее момента достижения допустимого падения давления на элементе, о чем сигнализирует указатель загрязненности рабочей жидкости, имеющей вязкость, рекомендуемую для длительной работы.

При определенных неблагоприятных условиях эксплуатации, например, при высоких температурах жидкости, резких и частых изменениях расхода, смена фильтрующего элемента может потребоваться до поступления сигнала. При неограниченной длительности использования в этих условиях в фильтровальном элементе могут появляться усталостные разрывы, в результате чего снижается эффективность очистки. В самом худшем случае может не сработать указатель загрязненности.

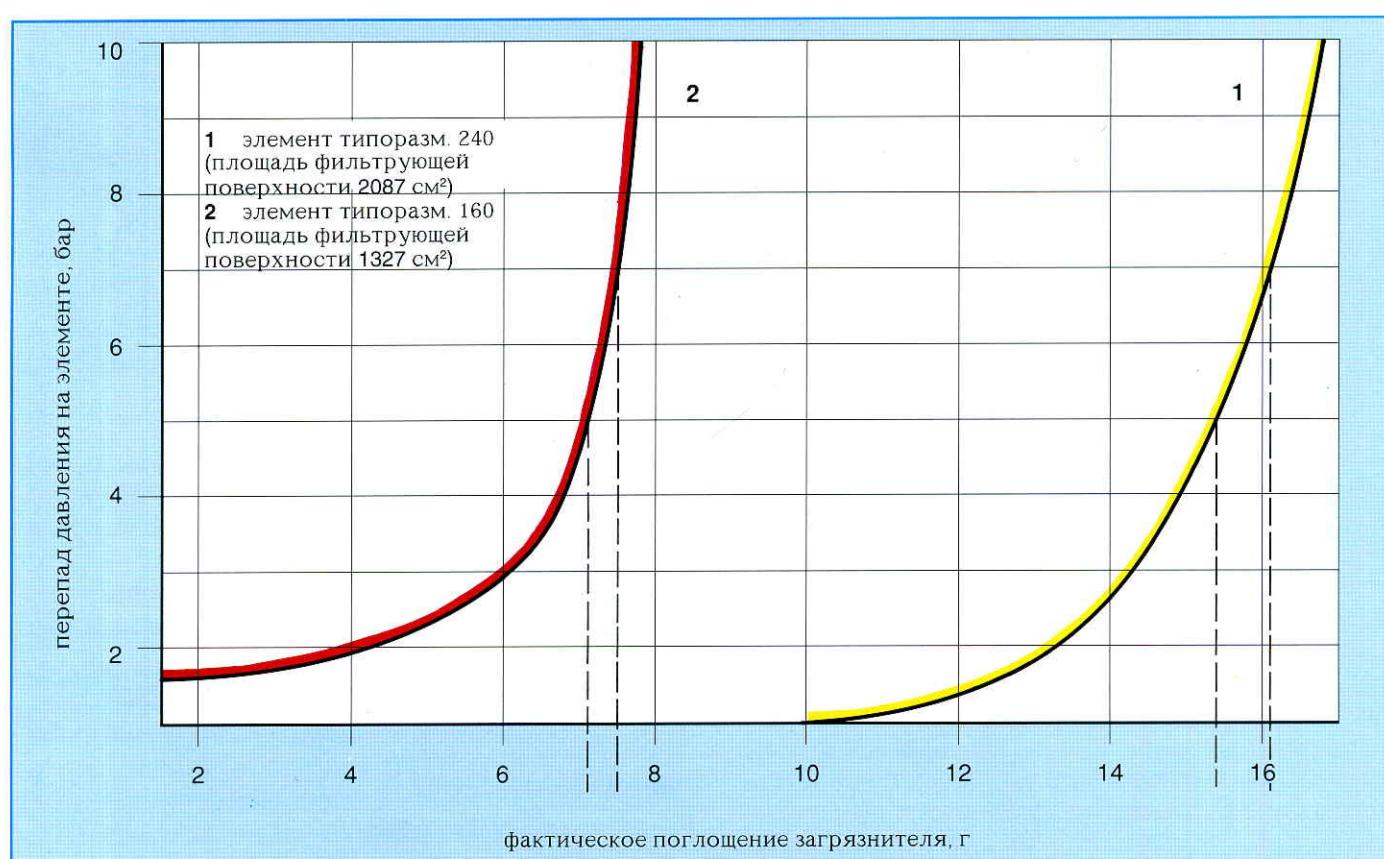


Диаграмма 40: Поглощение загрязнителя элементами, имеющими разные размеры, при одинаковом объемном расходе 120 л/мин.

В гидросистемах, не имеющих указателя загрязненности, смену фильтрующего элемента производят по графику. Чтобы гарантировать нормальную очистку, необходимо иметь достаточный запас срока службы элемента.

Предварительные расчеты срока службы фильтрующего элемента, например, в процессе проектирования гидросистемы, невозможны.

С целью обеспечить поглощение загрязнителя и сохранения срока службы фильтрующего элемента в максимально широком диапазоне перепадов давления при выборе типоразмера гидрофильтра рекомендуется исходить из условия наименьшей возможной потери давления при использовании чистого элемента (см. диаграммы 39 и 40). На диаграмме показан перепад давления на элементе в зависимости от времени загрязнения и срока службы. Отчетливо видно, что при низком начальном Δp на фильтрующем элементе, имеющем большие размеры, возможно достижение более высокой фактической поглощающей способности, чем при высоком начальном значении Δp на элементе, имеющем меньшие размеры. В обоих случаях верхняя граница нагрузки фильтрующего элемента определяется байпасным клапаном, указателем загрязненности и сопротивлением элемента перепадам давления.

3.3 Критерии выбора фильтрующих элементов

При выборе фильтрующего элемента, соответствующего данной гидросистеме, который имеет наилучшее соотношение стоимости и производительности, необходимо учитывать следующие факторы.

Высокая стабильность коэффициентов β_x в широком диапазоне перепадов давления

Чтобы обеспечить защиту гидросистем от повреждений, вызываемых твердыми загрязнителями, используемый фильтрующий элемент должен сохранять стабильную поглощающую способность в широком диапазоне перепадов давления. Этот диапазон должен быть в несколько раз выше давления срабатывания указателя загрязненности или байпасного клапана.

На диаграмме 41 показано изменение коэффициента β_{10} фильтрующих элементов разных фильтров, имеющих одинаковую тонкость фильтрации. На диаграмме отчетливо показано, что стабильную степень очистки в диапазоне перепадов давления до 10 бар обеспечивают только элементы фильтров 1 и 3, которые, следовательно, гарантируют хорошую очистку рабочей жидкости. Такая стабильность коэффициента β_x особенно важна применительно к гидрофильтрам без байпасного клапана, которые должны надежно работать при высоких перепадах давления на элементе. Высокие перепады давления могут иметь место, напр., при холодном запуске или в случае игнорирования показаний указателя загрязненности.

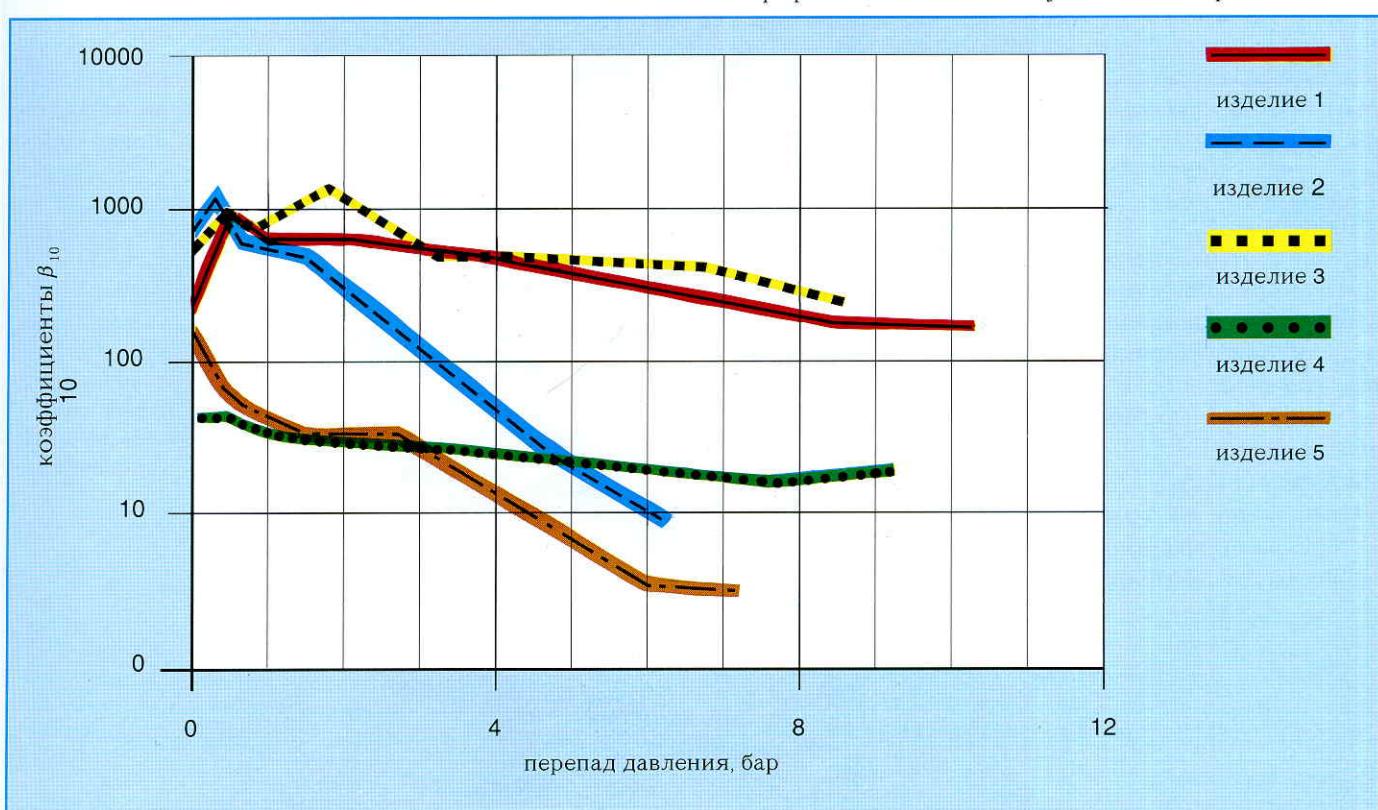


Диаграмма 41: Изменение коэффициента β_{10} разных фильтров, имеющих сопоставимые размеры и одинаковые показатели пропускной способности

Поглощающая способность фильтрующих элементов
Важным критерием оценки соотношения стоимости и пропускной способности фильтрующих элементов является поглощающая способность.

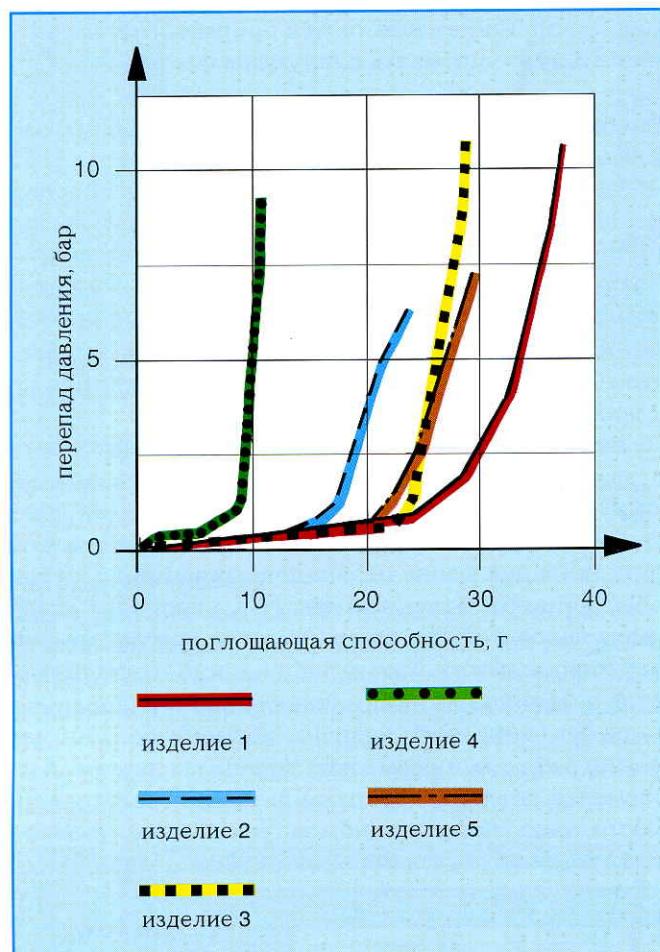


Диаграмма 42: Поглощающая способность различных фильтров, имеющих сопоставимые размеры

Как следует из диаграммы 42, наибольшую поглощающую способность имеет фильтрующий элемент 1. Поэтому при оценке элементов следует учитывать не только тонкость очистки и стоимость, но и поглощающую способность, а следовательно и срок службы, как важные факторы качества фильтрующего элемента.

Увеличение срока службы фильтрующего элемента обеспечивает не только более продолжительные интервалы профилактических осмотров, но и сокращение затрат на техническое обслуживание.

Удельная поглощающая способность фильтрующих элементов

Еще более однозначную оценку соотношения цены и пропускной способности фильтрующих элементов может обеспечить анализ удельной поглощающей способности. Она определяется путем деления общего количества загрязнителя, поглощенного фильтрующим элементом при определенном перепаде давления, на площадь активной поверхности филь-

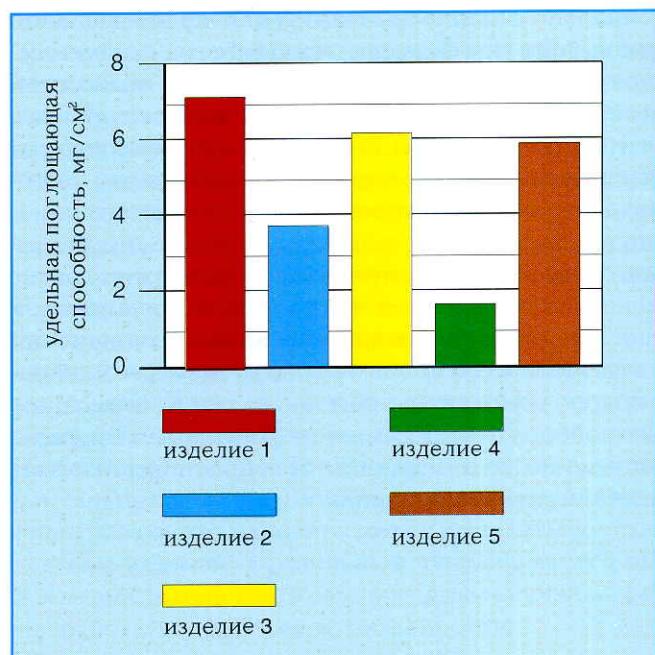


Диаграмма 43: Удельная поглощающая способность разных фильтров при перепаде давления 3,5 бар

трущего элемента и выражается в миллиграммах на квадратный сантиметр фильтрующей поверхности (см. диаграмму 43).

3.4 Корпус фильтра

3.4.1 Требования

Корпус фильтра должен отвечать следующим требованиям:

Низкий перепад давлений на корпусе

За счет придания корпусу фильтра обтекаемой формы, в первую очередь на входе и выходе фильтра, достигается низкий перепад давлений на корпусе.

Прочная конструкция корпуса

Конструкция корпуса фильтра должна гарантировать длительное использование корпуса при заданном избыточном рабочем давлении.

Из этого следует, что корпус должен выдерживать испытание на пульсирующую нагрузку.

Давление разрыва стенок корпуса

Для подтверждения способности корпуса фильтра выдерживать максимальные избыточные рабочие давления органы приемки требуют определять давление разрыва стенок корпуса. Давлением разрыва считается давление, под действием которого происходит выход из строя корпуса фильтра.

Выбор материала корпуса

Материалы для изготовления корпуса и уплотнительных элементов должны быть совместимы с фильтруемой рабочей жидкостью.

3.4.2 Устройство корпуса фильтра

Различные типы и конструкции корпуса напорных фильтров и фильтров в сливной линии представлены в табл. 22.

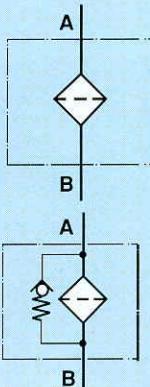
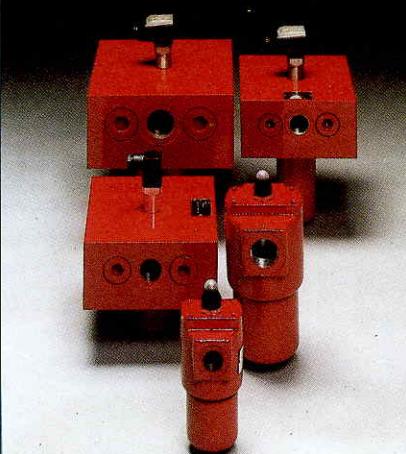
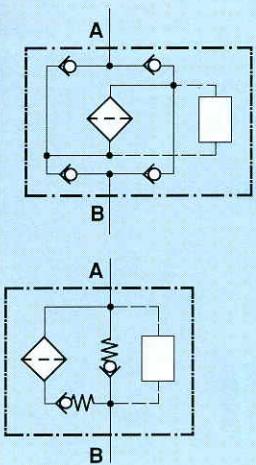
Наименование Ступень давления		Условное обозначение	Область применения	Примечание
Линейные фильтры				
Низкое давление, до 100 бар Среднее давление, до 210 бар Высокое давление, до 420 бар			Напорные гидролинии Линии управления Предохранитель- ные фильтры	
Для реверсируемого потока жидкости. Высокое давление, до 420 бар			Предохранитель- ные фильтры для цилиндров, клапа- нов пропорцио- нального регули- рования или сервоклапанов	

Таблица 22 (часть 1)

Наименование Ступень давления		Условное обозначение	Область применения	Примечание
Линейные фильтры				
Низкое давление, до 25 бар			Для большого количества масла	
С фланцевым креплением до 315 бар			Блочная компоновка	Отсутствует разводка трубопрово- дов для фильтра
Промежуточная плита до 315 бар			Предохранитель- ные фильтры для высококачестven- ных клапанов, для горизонтального и вертикального соединения блоков управления	Установли- ваются непосредст- венно под клапаном
Напорные фильтры, переключаемые, для давления до 315 бар			Системы, которые нельзя останавливать для смены элементов. Линии управле- ния турбинами	

Таблица 22 (часть 2)

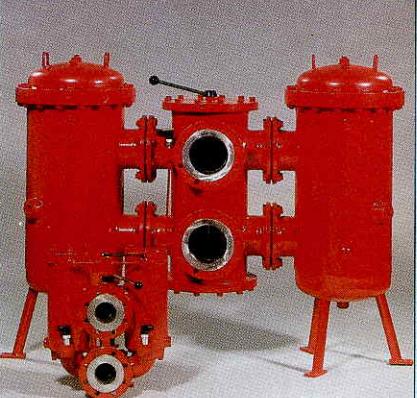
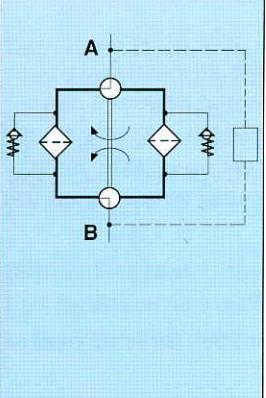
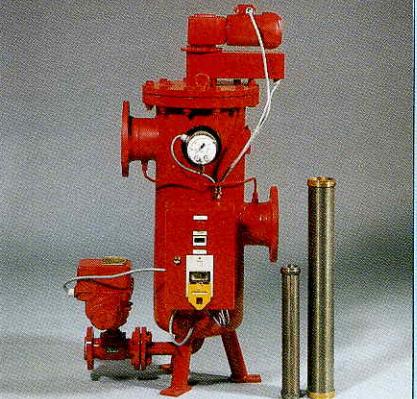
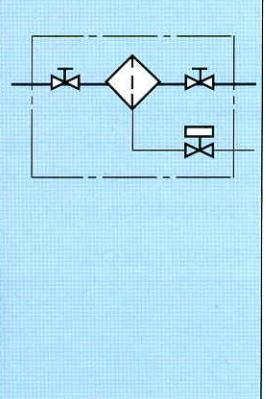
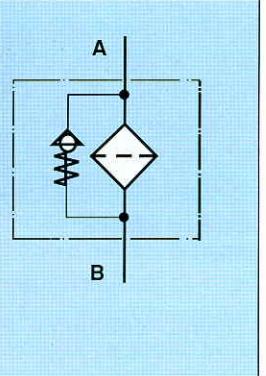
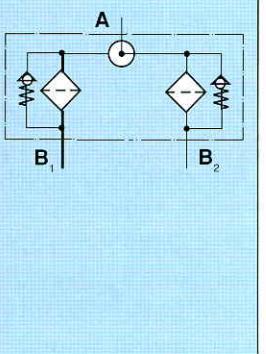
Наименование Ступень давления		Условное обозначение	Область применения	Примечание
Линейные фильтры				
Низкое давление, переключаемые, для давления до 25 бар			Системы согл. API. системы маслопи- тания. Системы, которые нельзя останавливать для смены элементов	
Автоматические, для давления до 16 бар			Очистка масел, используемых при механической обработке. При сильной степени загряз- нности	Предусмот- ренная тон- кость филь- трации до 20 мкм
Фильтры в сливной линии				
Односторон. действия, для давления до 25 бар			Устанавливаются на баке	
Переключаемые, для давления до 25 бар			Устанавливаются на баке. Системы, которые нельзя останавли- вать для смены элементов	

Таблица 22 (часть 3)

3.5 Указатели загрязненности

Для контроля загрязнения фильтрующего элемента гидравлические фильтры обычно оснащают указателем загрязненности.

3.5.1 Требования

Корпус указателя загрязненности должен быть рассчитан на максимальное избыточное рабочее давление для корпуса фильтра. Поэтому указатели также подвергают испытаниям на пульсирующую нагрузку. Следует строго выдерживать установленное время срабатывания.

3.5.2 Особенности конструкции

Указатели загрязненности различают по следующим конструктивным параметрам.

Вид показаний

Указатели скоростного напора

(Индикация абсолютного давления) (рис. 88)

Указатели этого типа измеряют давление в корпусе фильтра по сравнению с мгновенным атмосферным давлением. Они почти всегда встраиваются в фильтр.

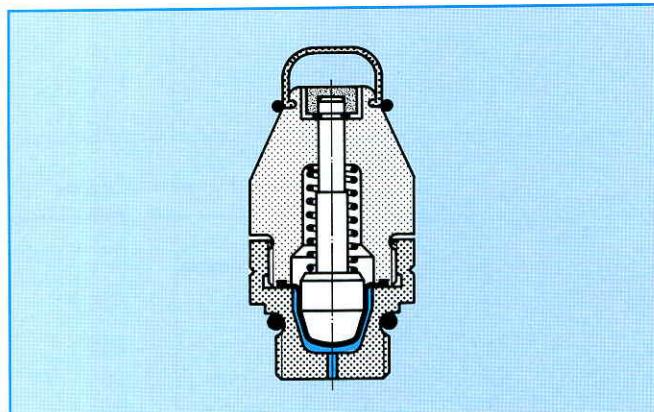


Рис. 88: Оптический указатель скоростного напора для фильтров в сливной линии

ты, выход которых непосредственно соединен с баком (фильтры в сливной линии).

Указатель перепада давления (рис. 89)

Указатели этого типа измеряют перепад давления между сторонами загрязненной и чистой жидкости. Мгновенное атмосферное давление при этом не учитывается. Корпус указателя должен быть рассчитан на избыточное рабочее давление для корпуса фильтра.

Показания перепада давления не зависят от мгновенного избыточного рабочего давления в фильтре. Такой вид показаний используется применительно к напорным фильтрам и фильтрам в сливной линии.

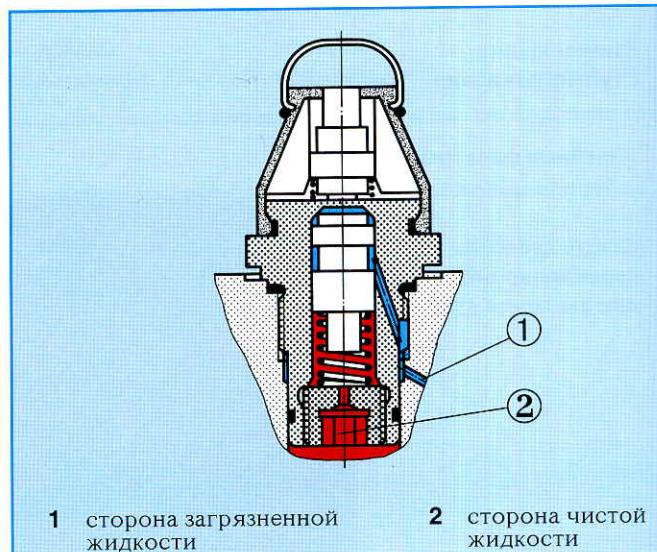


Рис. 89: Оптический указатель перепада давления

Обработка индикаторного сигнала

Оптическая обработка

В указателях этого типа о достижении установленного для данного прибора давления сигнализируют выскакивающий красный стержень или показания манометра.

Электрическая обработка

Для обработки индикаторного сигнала в системах управления машинами или на пультах управления применяются электрические указатели. Эти приборы могут устанавливаться в труднодоступных местах, поскольку предупреждение о необходимости профилактического осмотра поступает в форме элек-

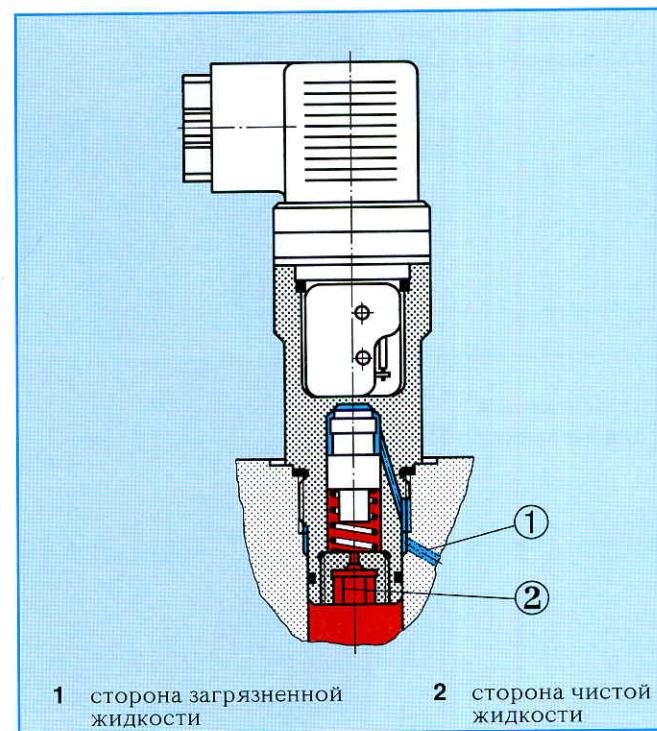


Рис. 90: Электрический указатель перепада давления

трического сигнала универсального использования (рис. 90).

Электрооптическая обработка

Чтобы в дополнение к электрическому сигналу оператор, управляющий системой, или специалисты по техническому обслуживанию имели возможность получать информацию непосредственно на месте, электрические указатели оснащаются электрическим источником света.

Электронная обработка

В особых случаях используются электронные указатели загрязненности. Приборы этого типа находят применение в условиях динамического режима эксплуатации.

В таких указателях функция индикации подавляется при температуре, например, до 32 °C. Пики давления, продолжительность действия которых не превышает 9сек., также подавляются и не реализуют функцию индикации.

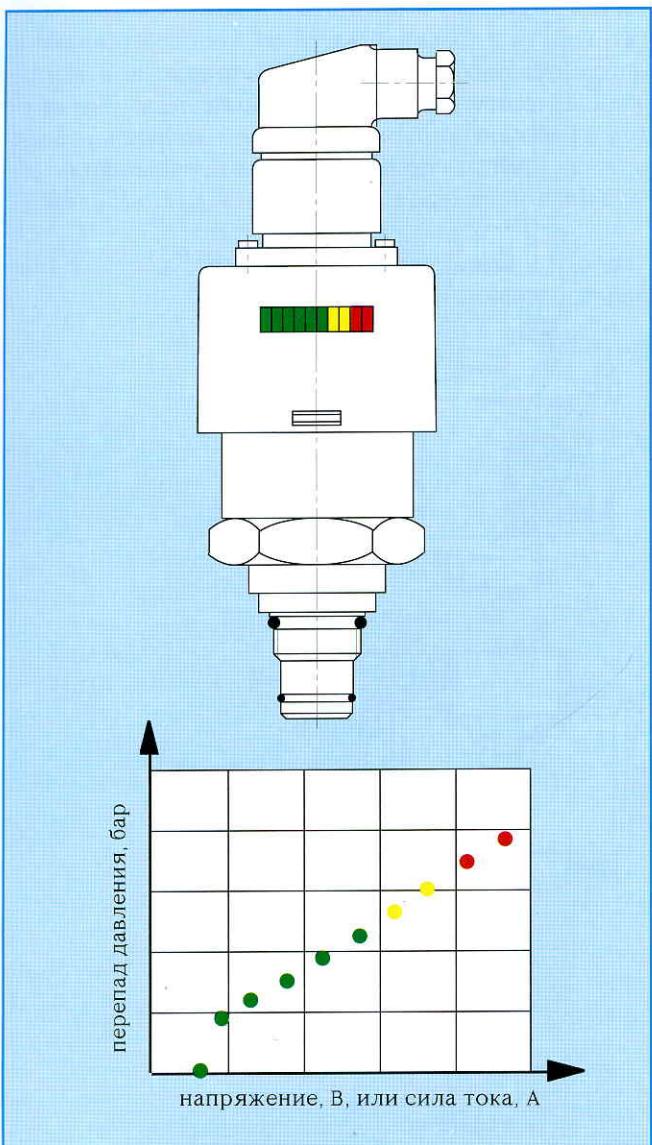


Рис. 91: Электронный указатель перепада давления

Электронные указатели обеспечивают профилактический осмотр, так как они показывают мгновенный перепад давления на элементе (рис. 91).

Типы переключателей электрических указателей загрязненности

Переключатель с размыкающим контактом

При включении указателя происходит размыкание цепи тока. Переключатели такого типа предпочтительны, поскольку затрудняют вмешательство в работу системы. Кроме того, они позволяют немедленно отыскать дефекты проводки.

Переключатель с замыкающим контактом

При включении этого переключателя происходит замыкание цепи тока.

Реле

В зависимости от схемы соединений на клемменной колодке переключатель работает по принципу размыкания или замыкания.

Такая конструкция выбирается производителями фильтров для того, чтобы пользователь мог использовать переключатели обоих типов.

3.6 Воздушные фильтры

В результате забора и отвода рабочей жидкости, а также под действием колебаний температуры уровень жидкости в гидробаке изменяется. В результате требуется подача или удаление из бака воздуха. При этом в зависимости от окружающих условий в гидробак может засасываться очень загрязненный воздух, и таким путем в рабочую жидкость попадают твердые загрязнители.

Чтобы не допустить загрязнения содержимого гидробака из воздуха, на бак следует установить воздушный фильтр. Тонкость фильтрации этого фильтра должна соответствовать наибольшей тонкости фильтрации гидрофильтров системы.

Если в системе используется гидрофильтр, тонкость фильтрации которого составляет 3мкм, применяемый воздушный фильтр также должен обеспечивать тонкость очистки воздуха порядка 3мкм. Это рекомендуется стандартом *Cetop RP 98 N*.

Подача воздуха в гидробаки небольших размеров осуществляется с помощью заправочно-вентиляционного фильтра. Однако этого следует, по возможности избегать. На гидробаке или перед фильтром в сливной линии рекомендуется предусмотреть специальный вывод для подачи воздуха. Принудительная подача воздуха производится с помощью передвижного фильтрующего агрегата, что обеспечивает заправку системы рабочей жидкостью требуемого качества.

Требования к воздушным фильтрам

Применяемый фильтрующий элемент должен быть сменным и иметь большую площадь фильтрующей поверхности. Степень поглощения (тонкость фильтрации) элемента должна соответствовать характеристике фильтра основного потока.

Всасывающие отверстия должны находиться как можно выше над крышкой бака, чтобы предотвратить засасывание грязи, оседающей на поверхности бака. Для контроля засорения фильтрующего элемента целесообразно применять указатель загрязненности.

Крышка фильтра должна обеспечивать надежную защиту от брызг жидкости.

Конструкции воздушных фильтров

Воздушные масляные фильтры

В этих фильтрах имеется пропитанное маслом трикотажное полотно, задерживающее твердые загрязнители. Очистка фильтра производится путем промывки. Тонкость фильтрации составляет 40мкм, то есть достаточна для требующегося в настоящее время качества жидкости.

Воздушные фильтры с масляной ванной

Поступающий в фильтр воздух предварительно проpusкается через масляную ванну, в которой происходит насыщение воздуха частицами масла. Эти частицы поглощают загрязнители, находящиеся в воздухе. Затем частицы масла с загрязнителями проходят через трикотажное полотно, осаждаются и стекают в масляную ванну.

Для того, чтобы обеспечить нормальную работу фильтров с масляной ванной, воздушный поток должен иметь определенную скорость. Поскольку при поступлении воздуха в бак это невозможно, такие воздушные фильтры в принципе не пригодны для использования в гидросистемах.

Воздушные фильтры с элементом, погруженным в масляную ванну

Такую конструкцию называют также "фильтр с псевдомасляной ванной". В этих фильтрах масляная ванна не выполняет функцию фильтрации. Поэтому сочетание масляной ванны с бумажным или пенопластовым элементом не улучшает поглощающей способности фильтра, поскольку последняя определяется только степенью поглощения загрязнителя бумажным или пенопластовым элементом.

Вследствие погружения элемента в масляную ванну перекрывается часть свободной фильтрующей поверхности, что сокращает срок службы элемента.

Как сказано выше, степень очистки, обеспечивающая фильтрующим элементом, является решающим фактором достигаемой чистоты воздуха. Рабочая жид-

кость дополнительно заливаемая в фильтр, сокращает срок службы элемента, поэтому такие фильтры не пригодны для использования в гидросистемах.

Специальные конструкции воздушных фильтров

Фильтры с подпорными клапанами

Такие воздушные фильтры применяются в тех случаях, когда требуется предотвратить колебание уровня жидкости или обеспечить вход или выход воздуха только при достижении определенного давления или разрежения с целью улучшения всасывающей способности гидронасоса. Использование подпорных клапанов должно исключить или сократить до минимума сообщение воздуха, находящегося в гидробаке, с атмосферой.

Фильтры с осушителем

Гидробаки могут работать в исключительно неблагоприятных погодных и климатических условиях, причем возникает опасность попадания в бак влажного воздуха. В зависимости от места установки и использования в гидросистему пропускает значительное количество воды, которая не эмульгируется в рабочей жидкости и может нарушить работу системы. Поэтому применяются воздушные фильтры с сушильной камерой, заполненной силикагелем.

В табл. 23 представлены различные конструкции воздушных фильтров.

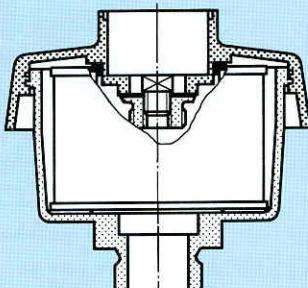
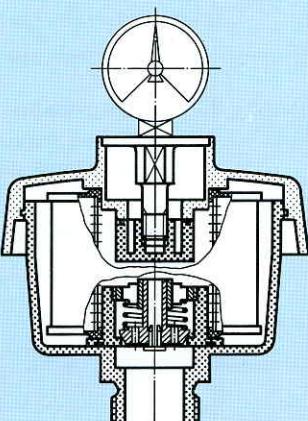
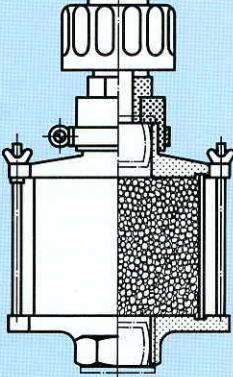
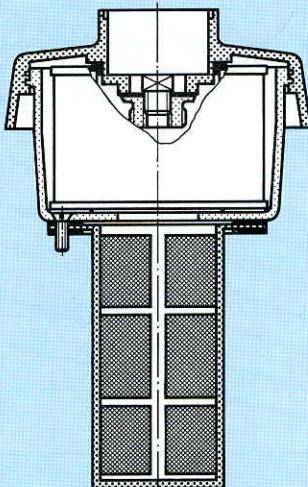
Наименование	Изображение	Тонкость фильтр.	Примечания
Воздушный фильтр		3 мкм 5 мкм 10 мкм 20 мкм	Со сменным фильтрующим элементом. Возможно исполнение согласно стандарту Сетор RP 98 Н. Имеется вывод для установки указателя загрязненности.
Воздушный фильтр с обратным клапаном		3 мкм 5 мкм 10 мкм 20 мкм	Со сменным фильтрующим элементом. Возможно исполнение согласно стандарту Сетор RP 98 Н. Имеется вывод для установки указателя загрязненности. Встроенный обратный клапан для сокращения воздухообмена. Улучшение всасывающей способности гидронасоса.
Воздушный фильтр с осушением воздуха		3 мкм 5 мкм 10 мкм 20 мкм	Со сменным фильтрующим элементом. Возможно исполнение согласно стандарту Сетор RP 98 Н. Имеется вывод для установки указателя загрязненности. Производится удаление влаги из поступающего воздуха.
Заправочно-вентиляцион. фильтр		3 мкм 5 мкм 10 мкм 20 мкм	Со сменным фильтрующим элементом. Возможно исполнение согласно стандарту Сетор RP 98 Н. Имеется вывод для установки указателя загрязненности. Возможна заправка бака. Допускается установка обратного клапана.

Таблица 23 (часть 1)

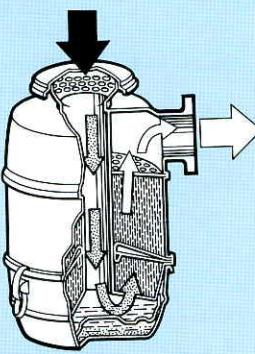
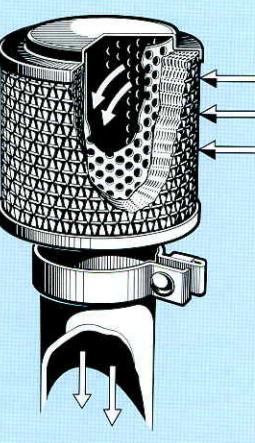
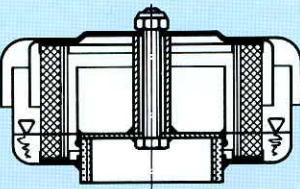
Наименование	Изображение	Тонкость фильтр.	Примечания
Воздушный фильтр с масляной ванной		40 мкм	Для заправки бака, то есть для использования в гидросистемах, не пригоден
Воздушный масляный фильтр		40 мкм	Низкая степень поглощения, которая в значительной мере зависит от состояния фильтра. Для использования в гидросистемах не пригоден.
Воздушный фильтр с элементом, погруженным в масляную ванну		3 мкм 5 мкм 10 мкм 20 мкм	Масляная ванна не приводит к улучшению степени очистки. Сокращение срока службы из-за перекрытия фильтрующей поверхн. масляной ванной. Для использования в гидросистемах не пригоден.

Таблица 23 (часть 2)

Изображения воздушного фильтра с масляной ванной и воздушного масляного фильтра получены от фирмы "Фильтерверк Манн унд Хуммель", Людвигсбург.

4. Рабочая жидкость

4.1 Общие положения

Гидросистемы действуют с использованием рабочих жидкостей на основе различных материалов.

По этому принципу различают следующие рабочие жидкости:

- рабочая жидкость на основе минеральных масел,
- рабочая жидкость на основе растительных масел,
- рабочая жидкость на синтетической основе,
- трудно воспламеняющаяся рабочая жидкость,
- рабочая жидкость в виде чистой воды.

С точки зрения фильтрации к рабочим жидкостям предъявляются следующие требования:

- низкая степень загрязненности твердыми частицами в сопряжении поставки,
- хорошая фильтруемость,
- пологая кривая зависимости вязкости от температуры,
- нейтральное действие на материалы.

Вязкостная характеристика

Вязкость рабочей жидкости является важным фактором, который следует учитывать при проектировании и эксплуатации гидрофильтров, так как от нее зависит нормальная работа всей системы.

Индекс вязкости определяют по стандарту DIN ISO 2909.

Необходимые для проектирования гидрофильтров вязкостные характеристики жидких смазочных материалов могут быть взяты из стандарта DIN 51519 и приводятся на **диаграмме 44**.

Фильтруемость рабочих жидкостей

В результате присутствия в рабочих жидкостях легирующих присадок или добавки в используемую в гидросистеме рабочую жидкость другого типа может произойти быстрое засорение фильтрующих элементов. Вследствие этого резко повышается перепад давления на элементе и сокращается срок его службы.

Фильтруемость рабочих жидкостей определяется с помощью контрольных дисков фильтрующего элемента. Предпочтительным является короткое время протекания.

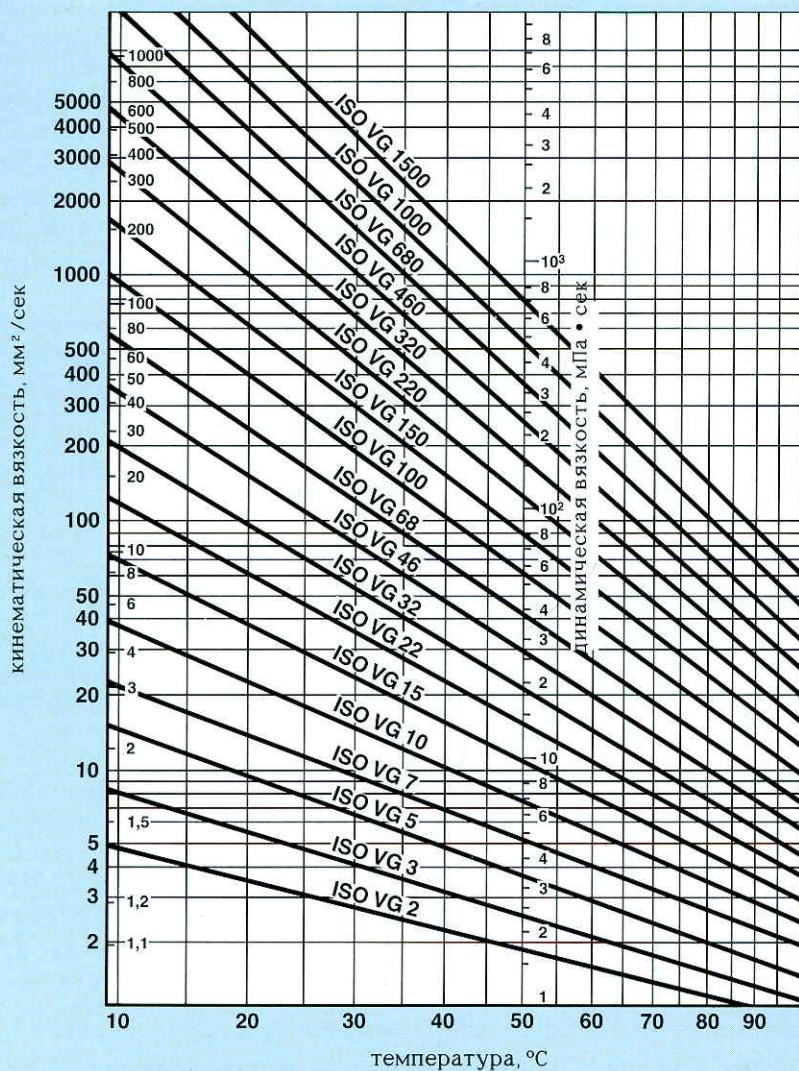


Диаграмма 44:
График зависимости вязкости минеральных масел от температуры согласно стандарту DIN 51 519

4.2 Рабочие жидкости на основе минеральных масел

На этих жидкостях работает большинство гидросистем. Их описание приводится в разделе 3 главы "Рабочие жидкости".

Базовая конструкция гидрофильтров рассчитана на очистку масел типа HL, HLP и HV, поскольку они наиболее часто используются в гидросистемах. Поэтому при необходимости фильтрации других рабочих жидкостей иногда приходится вносить изменения в корпус фильтра, фильтрующий элемент, фильтровальные принадлежности и уплотнения.

Устройство гидрофильтров, описание которого приводится в разделе 5, относится к очистке масел типа HL, HLP и HV.

Если рабочая жидкость по своим свойствам отличается от этих минеральных масел (например, с точки зрения способности осаждать загрязнители, фильтруемости, вязкостной характеристики), расчет конструкции фильтра выполняется согласно другим условиям.

Например, при очистке масел типа HLP-D, обладающих слабой способностью осаждать загрязнители в гидробаке, рекомендуется устанавливать давление ок. 0,2 бар для фильтров в сливной линии и ок. 0,5 бар для напорных фильтров.

Кроме того, выбранная тонкость фильтрации должна быть по крайней мере на ступень выше приведенной в диаграмме.

4.3 Рабочие жидкости на основе растительных масел

Эти рабочие жидкости подвержены биологическому разложению, поэтому их широко используют в системах, к которым предъявляются высокие требования с точки зрения охраны окружающей среды.

Расчет конструкции гидрофильтров выполняется аналогично очистке масел типа HL, HLP и HV. Однако в процессе эксплуатации агрегатов необходимо следить за тем, чтобы в эти жидкости не попадали минеральные масла, так как в противном случае произойдет ухудшение фильтруемости экологических условий.

4.4 Рабочая жидкость на синтетической основе

Она используется главным образом в системах, которые предъявляют особые требования к качеству рабочей жидкости. Невозможно дать общие рекомендации по применению серийных гидрофильтров, поэтому при очистке этих жидкостей надо запросить производителя фильтров. Последний при необходимости испытает жидкость согласно стандарту DIN ISO 2943 с точки зрения совместимости с материалами, из которых изготовлены корпус фильтра

и фильтрующие элементы, и внесет соответствующие изменения.

4.5 Трудно воспламеняемая рабочая жидкость

Эти жидкости используются в системах с повышенной пожаро- и взрывоопасностью.

Основные области их применения:

- горные работы,
- машины для литья под давлением,
- гидравлические прессы на предприятиях горячей обработки металлов,
- регулирующие устройства паровых и газовых турбин,
- различные области автомобилестроения, например, обивочные работы,
- системы для химической промышленности.

Марки жидкостей и их свойства представлены в табл. 24 и в разделе 4 главы "Рабочие жидкости".

Устройство серийного фильтра следует изменить, поэтому при очистке таких рабочих жидкостей следует обратиться к производителю фильтров.

Как правило, детали фильтра из алюминия, цинка, кадмия и магния применять нельзя.

Воздух, насыщенный такими жидкостями, может быть агрессивным. В результате имеет место сильная коррозия стальных и чугунных деталей, поэтому следует предотвращать образование воздушных подушек в фильтрах.

Позади фильтра в сливной линии или при использовании магистральных фильтрах, выходная линия которых соединяется с гидробаком, рекомендуется устанавливать обратные клапаны.

Кроме того, все части корпуса, находящиеся в контакте с воздухом, насыщенным этой жидкостью (например, корпус фильтра в сливной линии) должен иметь соответствующее защитное покрытие.

При выборе типоразмера фильтра и тонкости фильтрации необходимо принимать во внимание, что рабочие жидкости этого типа плохо осаждают загрязнители и образуют мыльные осадки.

Расчет конструкции фильтров для очистки трудно воспламеняемых рабочих жидкостей рассматривается в разделе 5.7.

4.6 Рабочая жидкость в виде чистой воды

Вследствие недостатков воды, используемой в качестве рабочей жидкости, ее очень редко применяют в гидросистемах.

Применение серийных фильтров невозможно.

Наименов. жидкости согл. стандартам DIN 51502 и ISO DIS 6071	HFA	HFB	HFC	HFD
Состав	Эмульсия масла в воде или синтетический полимерный раствор	Эмульсия масла в воде	Водный раствор полигликоля	Синтетические безводные фосфатные эфиры или хлористые углеводороды
Содержание воды	выше 80%	выше 40%	выше 35%	ниже 0,1%
Рабочая температура	+ 5 °C до + 55 °C	+ 5 °C до 60 °C	- 20 °C до + 60 °C	- 20 °C до + 150 °C
Кинематическая вязкость	ниже 1,6	46 до 100	22 до 68	15 до 100
Плотность	0,998	0,92 до 1,05	1,04 до 1,09	1,1 до 1,9
Водородный показатель	7 до 10	7 до 10	7,5 до 10	7,5 до 10
Материалы, подвергающиеся агрессивному воздействию	Цинк Алюминий	Цинк Алюминий	Цинк Алюминий Кадмий и магниевые сплавы	
Уплотнительный материал	NBR	NBR	NBR EPDM SBR	FPM EPDM
Примечания	Подвержена воздействию микробов. Высокий механический износ из-за низкой вязкости.	В ФРГ не применяется	Плохая способность к осаждению загрязнителей. Чувствительна к попаданию минеральных масел.	Не смешивается с водой. Чувствительна к попаданию влаги.

Таблица 24: Свойства трудно воспламеняемых рабочих жидкостей

4.7 Загрязненность твердыми частицами

Загрязненность рабочей жидкости твердыми частицами подразделяется на классы.

В настоящее время имеется 5 систем классификации:

- SAE 749 D,
- ISO DIS 4406,
- СЕТОР RP 70 Н,
- NAS 1638,
- MIL STD 1246 A.

Сопоставление этих систем классификации производится в табл. 25.

Классы загрязненности показывают, сколько частиц определенного размера содержится в 100 мл рабочей жидкости.

Определение класса загрязненности производится путем подсчета и сопоставления по величине твердых загрязнителей. Для этого используют микроскоп или электронный счетчик частиц. Электронный счетчик позволяет получить более объективные результаты, чем микроскоп. Начиная с концентрации загрязнителя ок. 20 мг/л или при сильном помутнении жидкости загрязненность можно определять только с помощью взвешивания загрязнителя (гравиметрический анализ).

Таким способом отдельные твердые загрязнители классифицировать невозможно.

ISODIS 4406 или Cetop RP 70 H	Число ча- стиц раз- мер. менее 10 мкм в 1 мл жидк.	ACFTD Содер- жание частиц, мг/л	MILSTD 1246A (1967 г)	NAS 1638 (1964 г)	SAE 749D (1963 г)
26/23	140000	1000			
25/23	85000		1000		
23/20	14000	100	700		
21/18	4500			12	
20/18	2400		500		
20/17	2300			11	
20/16	1400	10			
19/16	1200			10	
18/15	580			9	6
17/14	280		300	8	5
16/13	140	1		7	4
15/12	70			6	3
14/12	40		200		
14/11	35			5	2
13/10	14	0,1		4	1
12/9	9			3	0
11/8	5			2	
10/8	3		100		
10/7	2,3			1	
10/6	1,4	0,01			
9/6	1,2			0	
8/5	0,6			00	
7/5	0,3		50		
6/3	0,14	0,001			
5/2	0,04		25		

Таблица 25: Сопоставление классов чистоты

Структура стандарта ISO DIS 4406

Как показано на диаграмме 45, по оси ординат отложены размеры частиц, по оси абсцисс - количество частиц и кодовые номера классов.

Степень загрязненности рабочей жидкости согласно стандарту ISO DIS 4406 выражается двумя числами.

Они показывают соответственно количество твердых частиц размером больше 5 мкм и 15 мкм, содержащихся в 100 мл контрольной жидкости.

Чтобы определить степень загрязненности согласно стандарту ISO DIS 4406, в пробе жидкости объемом 10 мл вначале подсчитывают все частицы размером больше 5 мкм и определяют соответствующий номер класса. Затем подсчитывают количество всех частиц размером более 15 мкм и также определяют номер класса (см. пример на диаграмме 45).

С помощью полученных номеров классов составляется обозначение пробы.

В табл. 26 представлены классы чистоты и соответствующие сокращенные обозначения.

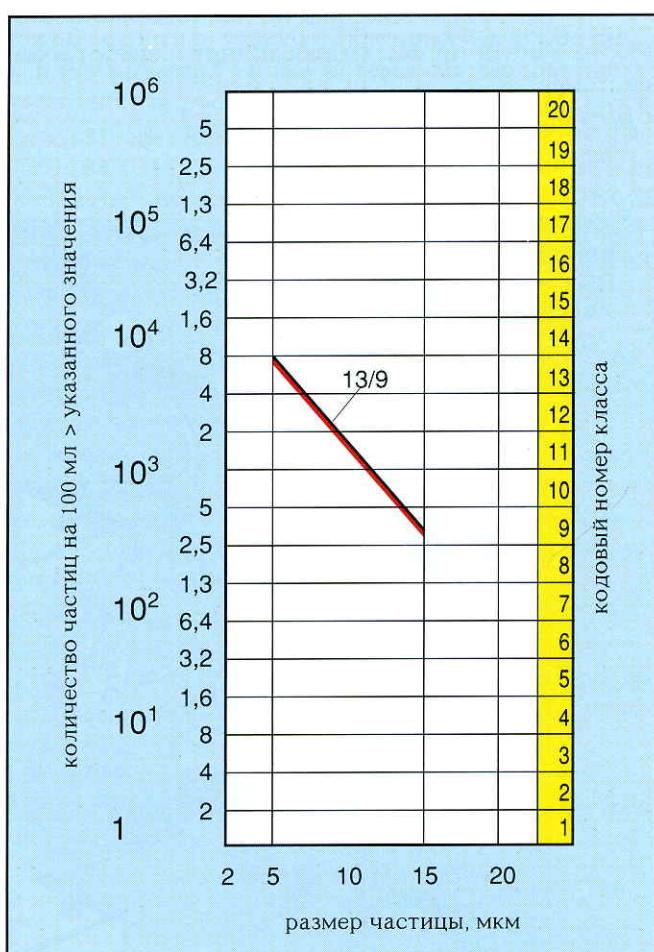


Диаграмма 45: Классы чистоты согласно стандарту ISO DIS 4406

Кодовый номер класса	Количество частиц на 100 мл			
	крупнее 5 мкм		крупнее 15 мкм	
	больше	до	больше	до
20/17	500 k	1M	64 k	130 k
20/16	500 k	1M	32 k	64 k
20/15	500 k	1 M	16 k	32 k
20/14	500 k	1 M	8 k	16 k
19/16	250 k	500 k	32 k	64 k
19/15	250 k	500 k	16 k	32 k
19/14	250 k	500 k	8 k	16 k
19/13	250 k	500 k	4 k	8 k
18/15	130 k	250 k	16 k	32 k
18/14	130 k	250 k	8 k	16 k
18/13	130 k	250 k	4 k	8 k
18/12	130 k	250 k	2 k	4 k
17/14	64 k	130 k	8 k	16 k
17/13	64 k	130 k	4 k	8 k
17/12	64 k	130 k	2 k	4 k
17/11	64 k	130 k	1 k	2 k
16/13	32 k	64 k	4 k	8 k
16/12	32 k	64 k	2 k	4 k
16/11	32 k	64 k	1 k	2 k
16/10	32 k	64 k	500	1 k
15/12	16 k	32 k	2 k	4 k
15/11	16 k	32 k	1 k	2 k
15/10	16 k	32 k	500	1 k
15/9	16 k	32 k	250	500
14/11	8 k	16 k	1 k	2 k
14/10	8 k	16 k	500	1 k
14/9	8 k	16 k	250	500
14/8	8 k	16 k	130	250
13/10	4 k	8 k	500	1 k
13/9	4 k	8 k	250	500
13/8	4 k	8 k	130	250
12/9	2 k	4 k	250	500
12/8	2 k	4 k	130	250
11/8	1 k	2 k	130	250

Таблица 26: Классы чистоты и соответствующие сокращенные обозначения

Структура стандарта NAS 1638

Этот стандарт предусматривает 5 диапазонов размеров частиц. Для каждого диапазона в каждом классе допускается максимальное количество частиц.

Класс	5-15 мкм	15-25 мкм	25-50 мкм	50-100 мкм	> 100 мкм
00	125	22	4	1	0
0	250	44	8	2	0
1	500	89	16	3	1
2	1000	178	32	6	1
3	2000	356	63	11	2
4	4000	712	126	22	4
5	8000	1425	253	45	8
6	16000	2850	506	90	16
7	32000	5700	1012	180	32
8	64000	11400	2025	360	64
9	128000	22800	4050	720	128
10	256000	45600	8100	1440	256
11	512000	91200	16200	2880	512
12	1024000	182400	32400	5760	1024

Таблица 27: Классы загрязненности согласно стандарту NAS 1638

Максимальное количество частиц загрязнителя на 100 мл рабочей жидкости

Класс загрязнения согласно стандарту SAE 749 D

Из-за сравнительно небольшого числа ступеней (от 9 до 580 частиц/мл) эта система классификации почти не применяется.

Класс загрязнения согласно стандарту MIL STD 1246 A

Этот стандарт применяется в особых случаях. В промышленности он не играет почти никакой роли.

4.8 Определение загрязненности системы

Загрязненность твердыми загрязнителями определяется путем взятия и анализа проб жидкости из гидросистемы.

С помощью анализа можно определить:

- загрязненность твердыми загрязнителями рабочей жидкости, полученной у поставщика,
- эффективность работы используемых гидрофильтров,
- продолжительность промывки системы во время ввода в действие,
- в процессе постоянного контроля загрязненности можно судить о состоянии гидросистемы и возможных повреждениях гидравлических элементов.

Способы взятия проб (рис. 92)

- Взятие пробы из потока жидкости
(Динамическое взятие проб)

Место взятия пробы: находящиеся в эксплуатации системы, в которых создается турбулентное течение. См. стандарт ISO 4021.

- Взятие пробы жидкости в состоянии покоя
(Статическое взятие проб)

Место взятия пробы: гидробак (при неработающей системе).

См. стандарт CETOP RP 95 H, раздел 3.

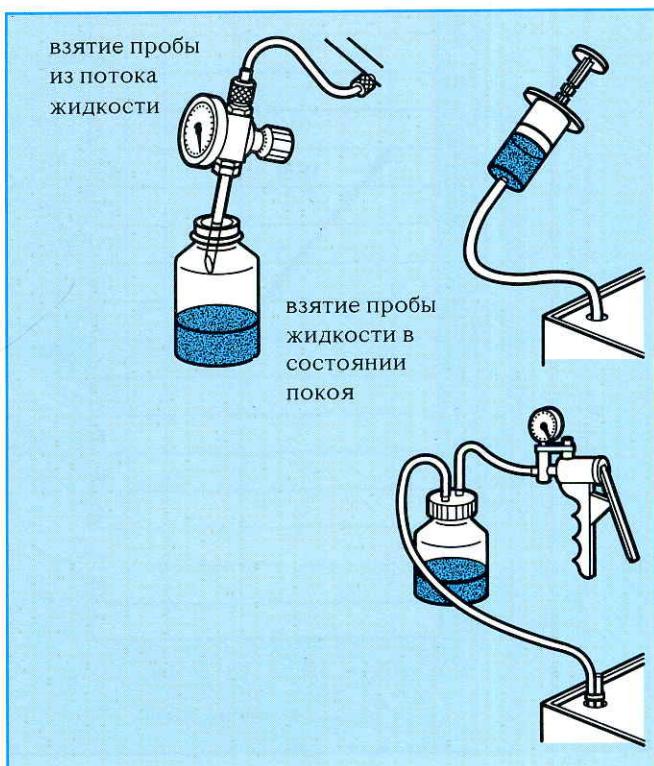


Рис. 92: Способы взятия проб

Процесс взятия проб жидкости

Общие положения

- Перед взятием пробы тщательно промыть чистым растворителем устройство для взятия проб.
- Разрешается использовать только такие баллоны для взятия проб, которые промыты чистым растворителем.
- Перед взятием пробы удалить остатки растворителя.
- Непосредственно перед взятием пробы промыть устройство 2 литрами рабочей жидкости, применяемой в гидросистеме.
- Взять нулевую пробу.
Эта проба для анализа не используется, так как она не дает полного представления о загрязненности системы.
- Наполнить новый, чистый баллон исследуемой жидкостью. При этом можно лишь приподнять защитную пленку баллона.

Анализ качества пробы

Качество пробы обычно анализируют с помощью электронного счетчика частиц.

Из-за высокой стоимости таких счетчиков и необходимости их постоянной проверки эти приборы можно встретить только на крупных предприятиях, эксплуатирующих гидросистемы, на заводах-изготовителях гидрофильтров и в институтах. Из этого следует, что пробы жидкости приходится отправлять на одно из перечисленных предприятий, и, следовательно, непосредственный анализ на месте взятия пробы невозможен (рис. 94).

Поэтому с целью быстрой приблизительной оценки качества пробы жидкости на месте устанавливаются мониторы или видеоконтрольные устройства. Они позволяют производить грубый анализ загрязненности с помощью микроскопа и делать выводы об эксплуатационном состоянии гидросистемы.

Достоверность результатов анализа в значительной степени зависит от работника, производившего взятие проб. Поэтому в процессе взятия проб должен участвовать только специально обученный персонал, имеющий опыт в этой области.

Ошибки, допущенные во время проб, очень отрицательно сказываются при определении класса чистоты согласно стандарту NAS 6, поэтому измерение частиц рекомендуется производить на месте с целью исключения ошибок при взятии проб.

Для таких случаев имеются передвижные лаборатории, которые могут выполнять такие измерения в рамках службы сервиса (рис. 93).

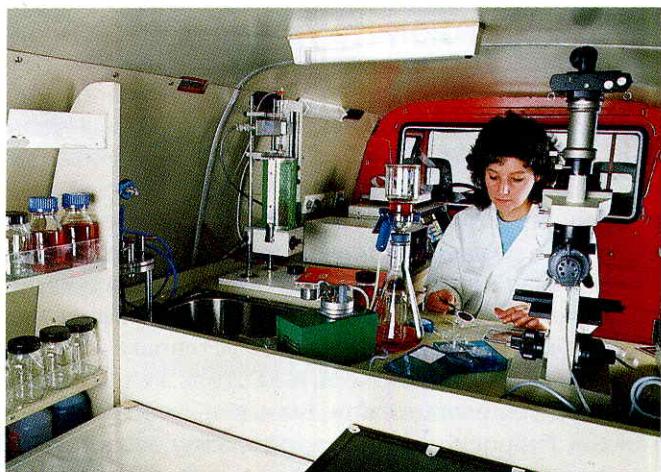


Рис. 93: Передвижная лаборатория для измерения на месте



Рис. 94: Исследование пробы масла в лаборатории завода-изготовителя фильтров



Рис. 95: Чемодан с аппаратурой для взятия проб

5. Расчет конструкции гидрофильтров

5.1 Общие сведения

Каждый из установленных в гидросистеме гидрофильтров создает потерю давления, которая постоянно увеличивается. Такая потеря позволяет делать выводы о работоспособности гидрофильтра. Выбор фильтра и его правильная установка в гидросистеме должны производиться столь же тщательно и требуют такого же опыта, как выбор остальных элементов гидросистемы. Гидрофильтры обязательно должны оснащаться указателем загрязненности, что позволяет контролировать перепад давления на фильтрующем элементе.

При выборе подходящего гидрофильтра следует руководствоваться следующими оценочными критериями:

- заданная тонкость фильтрации,
- избыточное рабочее давление,
- число рабочих циклов,
- степень очистки,
- поглощающая способность фильтрующего элемента,
- место установки гидрофильтра.

Правильный выбор типоразмеров фильтров обеспечивает следующие преимущества:

- высокая надежность системы,
- увеличение срока службы элементов и рабочей жидкости,
- сокращение простоев, уменьшение расхода запасных частей.

Преимущества и недостатки отдельных типов фильтров представлены в табл. 28.

Тип	Преимущества	Недостатки
Напорный фильтр	Фильтрация производится непосредственно перед защищаемыми элементами системы. Гарантируется требуемый класс чистоты рабочей жидкости.	Дорогостоящий корпус фильтра и фильтрующий элемент. Сложная конструкция элемента, поскольку требуется высокая прочность из-за перепада давления. Насос не защищ.. При использовании фильтров односторон. действия приход. останавл. систему для смены фильтр. элем..
Фильтр в сливной линии	фильтрация всего обратного потока жидкости. Загрязнения из системы не попадают в гидробак. Дешевый корпус фильтра и фильтрующий элемент. Возможно использование фильтра больших размеров.	Необходимость использования дополнительного напорного фильтра для защиты дорогих узлов, напр., сервоклап.. Требуется установка в фильтр байпасного клапана. Если элементы не обладают достаточной прочностью при перепадах давления, создаются опасн. их разрушения под действием пульсирующих нагрузок. При использовании фильтров односторон. действия приход. останавл. систему для смены фильтр. элем..
Фильтр в байпасной линии	Равномерная фильтрация, не зависящая от рабочего процесса. Оптимальное использование поглощающей способности фильтрующ. элемента. Дешевый корпус фильтра и фильтрующий элемент. При смене фильтрующего элемента система не останавливается. Возможна дополнительная установка.	Необходимость использования напорного фильтра для защиты дорогих узлов, например, сервоклапанов. Повышенное потребление энергии системой из-за применения дополнительного насоса. Увеличение капиталовыхложений на приобретение гидросистемы. Увеличение времени фильтрации из-за циклического поступления большого количества загрязнителя.
Фильтр в линии всасывания	Фильтрация жидкости, всасываемой насосом.	Тонкая фильтрация невозможна. Плохие условия очистки фильтра. Обязательная герметизация насоса для предотвращения разряжения.

Таблица 28: Типы гидрофильтров, их преимущества и недостатки

5.2 Установка фильтров в гидросистемах

Установка фильтров в системе циркуляции жидкости зависит от задачи, выполняемой фильтрами (рис. 96).

Защита рабочей жидкости от загрязнения

Эта задача решается путем использования фильтров в сливной линии или фильтровальных установок в байпасной линии гидросистемы. При расчете конструкции необходимо соблюдать требуемый класс чистоты жидкости.

Защита элементов гидросистемы чувствительных к загрязнению

Чтобы обеспечить максимальную защиту элементов гидросистемы, фильтр должен находиться как можно ближе к соответствующему элементу. При этом в процессе расчета конструкции фильтров следует учитывать избыточное рабочее давление и тонкость фильтрации, предписанные производителем элементов гидросистемы.

Защита гидросистемы от загрязнителей, попадающих из окружающей среды

Задача этих фильтров состоит в том, чтобы предотвращать попадание в рабочую жидкость загрязнителей из окружающей среды.

В процессе расчета конструкции следует учитывать количество и степень загрязненности воздуха, проходящего через фильтр в пульсирующем режиме.

Защита гидросистемы

при выходе из строя ее элементов

Задача этих фильтров состоит в том, чтобы предохранить гидросистему от сильного загрязнения в случае выхода из строя ее элементов. Это позволяет снизить затраты на ремонт и техническое обслуживание.

При монтаже фильтров в гидросистеме их следует располагать в хорошо доступных местах; необходимо обеспечить удобную смену фильтрующих элементов и легкое считывание показаний указателя загрязненности в любое время.

Неправильное положение фильтров затрудняет техническое обслуживание, в результате чего фильтр не в состоянии полностью оправиться с поставленной перед ним задачей.

Фильтры с байпасным клапаном

Установленные в фильтры байпасные клапаны выполняют следующие функции:

- Защита фильтрующего элемента от разрушения под действием недопустимо высокого перепада давления на элементе.

Высокий перепад давления может возникнуть из-за забивания элемента в результате засорения или как следствие повышенной вязкости рабочей жидкости при холодном запуске.

- Предупреждение ошибочных включений узлов гидросистемы.

Слишком высокие перепады давления на фильтрующем элементе могут привести к ошибочным включениям клапанов, особенно при использовании фильтров в сливной линии, и неконтролируемой работе гидроцилиндров, а также вызвать повреждение уплотнений.

При монтаже байпасных клапанов следует соблюдать следующие правила.

- Во время открытия байпасного клапана происходит снижение эффективности очистки. Когда байпасный клапан полностью открыт, фильтр отключается, и защита гидравлических узлов не обеспечивается.
- Для своевременного технического обслуживания фильтров абсолютно необходима установка указателей загрязненности.
- Замену фильтрующего элемента надо производить немедленно после поступления сигнала указателя загрязненности.

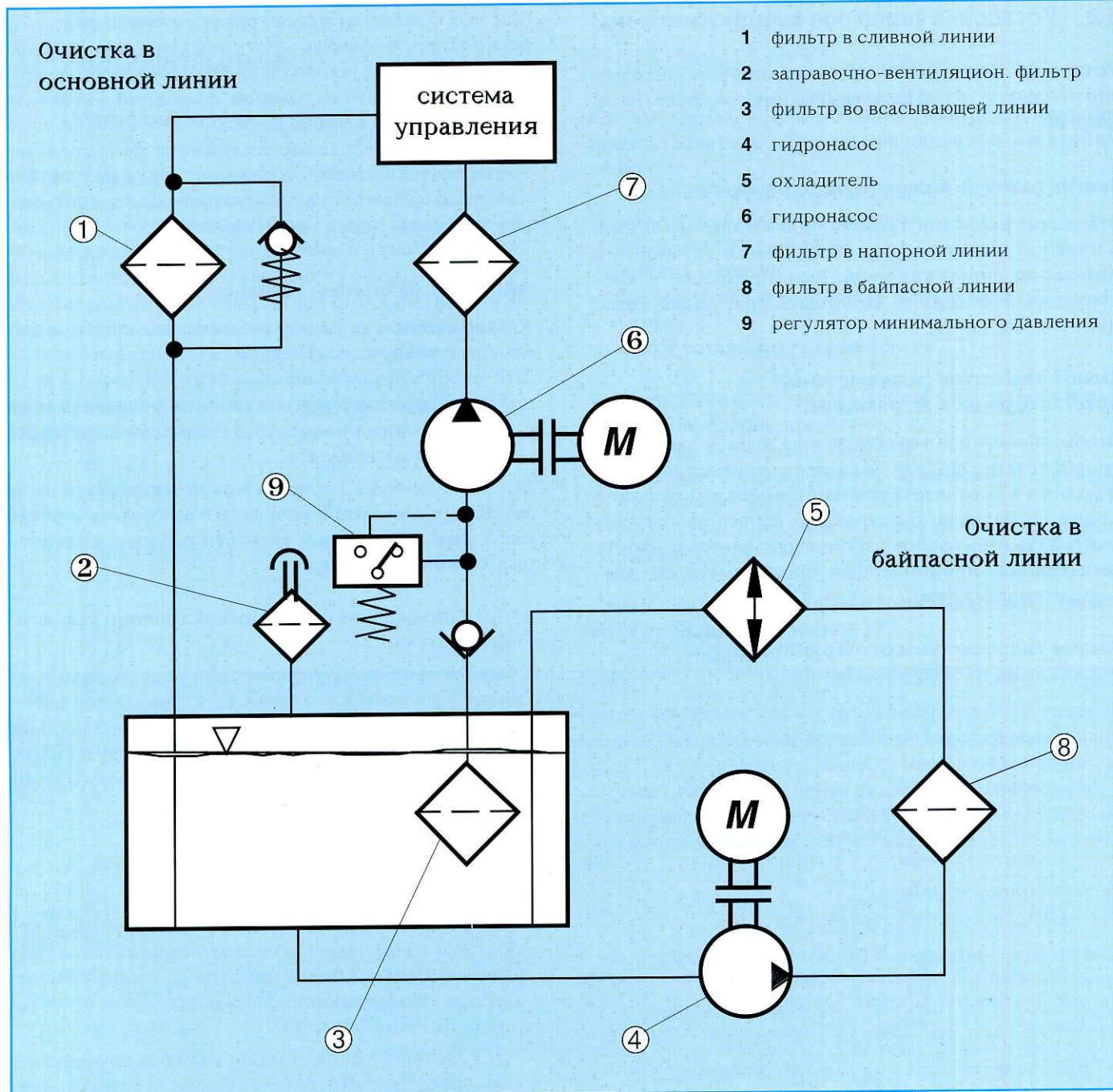


Рис. 96. Схема установки фильтров в гидросистеме

5.2.1 Фильтры в основной линии

Эти фильтры производят очистку рабочей жидкости, циркулирующей в главном контуре гидросистемы.

Используются следующие типы фильтров

Фильтры во всасывающей линии

Эти фильтры устанавливаются между гидробаком и гидронасосом. Их задача заключается в защите гидронасоса от крупных загрязнителей. Во избежание кавитационных повреждений гидронасоса эти фильтры можно оснащать только сетчатыми элементами грубой очистки. Кроме того, между насосом и

фильтром должен быть установлен регулятор минимального давления, который отключает насос при достижении определенного низкого давления. Вследствие невысокого перепада давления фильтр во всасывающей линии не в состоянии обеспечить тонкую фильтрацию.

Фильтры в напорной линии

Такие фильтры устанавливаются между гидронасосом и элементами гидросистемы. С целью защиты этих элементов фильтры не должны иметь байпасного клапана. Задача фильтров состоит в том, чтобы обеспечить класс загрязненности рабочей жидкости, необходимый для нормальной работы элементов системы, например, сервоклапанов.

Фильтры в сливной линии

Эти фильтры должны очищать рабочую жидкость, возвращающуюся в гидробак. При расчете параметров фильтров в сливной линии следует учитывать весь объемный расход обратного потока жидкости. При использовании дифференциальных цилиндров или гидроаккумуляторов этот расход может быть гораздо выше, чем установленная объемная подача насоса.

Воздушные фильтры

Задача этих фильтров состоит в очистке воздуха, попадающего в гидробак.

Принцип расчета конструкции фильтра

Выбранная тонкость фильтрации должна быть одинаковой применительно ко всем используемым в гидросистеме фильтрам - фильтрам в напорной и сливной линии, а также к воздушным фильтрам

Классификация фильтров в соответствии с постановкой задачи

С точки зрения соответствия требованиям экономичности гидросистем гидрофильтры разделяют на рабочие и защитные (рис. 97).

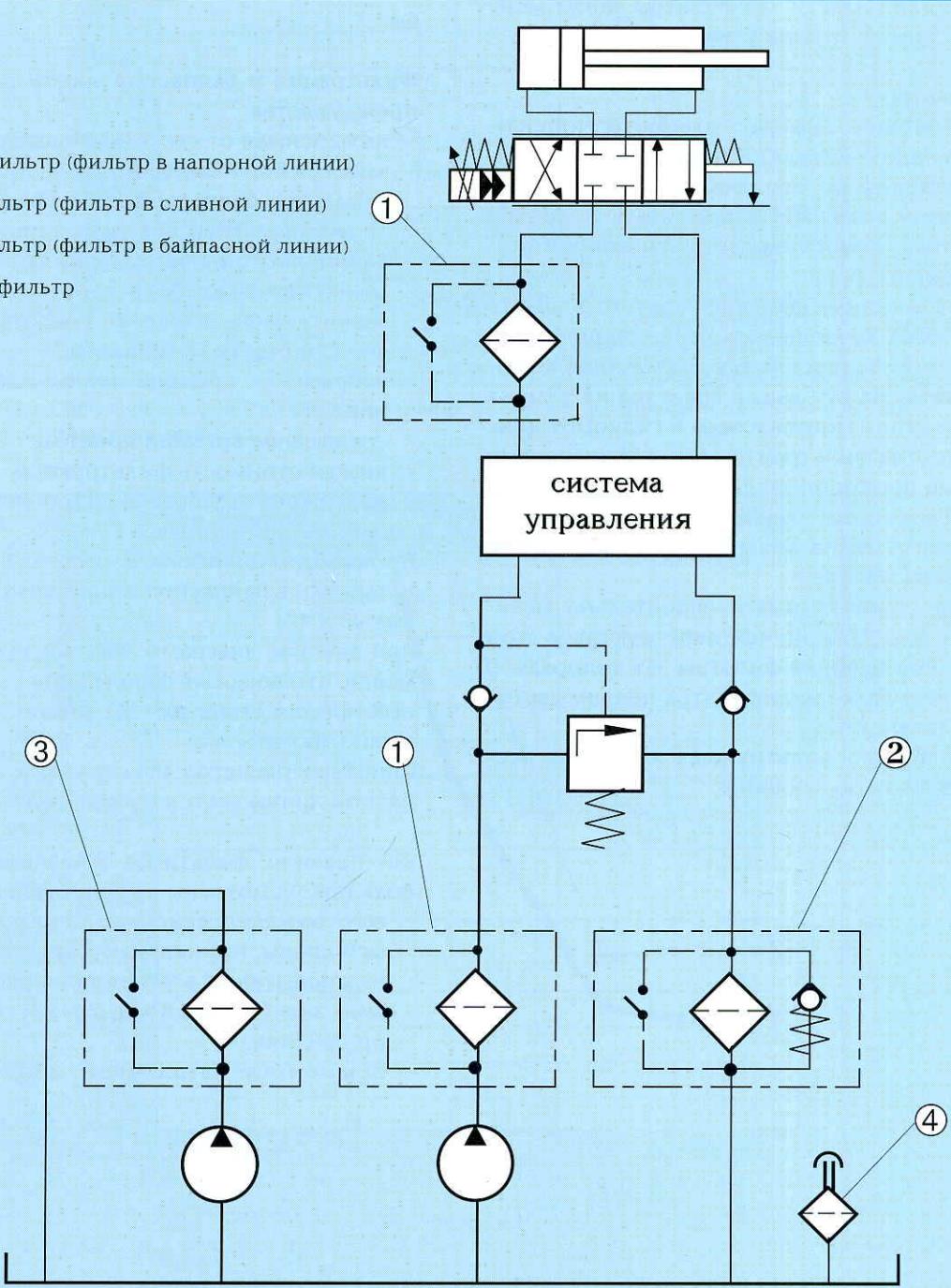


Рис. 97: Упрощенная гидросхема с рабочими и защитными фильтрами

Рабочие фильтры

К рабочим относятся фильтры в сливной и напорной линии с байпасным клапаном, а также фильтры в байпасной линии.

Рабочие фильтры оснащаются фильтрующими элементами, рассчитанными на низкое давление. Такая конструкция элемента позволяет использовать большую фильтрующую поверхность, то есть обеспечивает высокую поглощающую способность.

Для оптимального выполнения своих функций фильтры в сливной и напорной линиях, которые используются в качестве рабочих фильтров, должны быть установлены в зоне максимального объемного расхода гидросистемы и имеют значительные размеры. При необходимости эти фильтры могут монтироваться в линиях отвода утечек масла.

Задиные фильтры

Эти фильтры обязаны защищать элементы гидросистемы от внезапного выхода из строя из-за сильного загрязнения твердыми загрязнителями. Из этого следует, что они должны отфильтровывать только те частицы, которые могут вызвать мгновенное блокирование элементов.

Вторая задача защитных фильтров состоит в защите от загрязнения в случае повреждения гидронасоса или гидромотора. Установка таких фильтров помогает сэкономить значительные средства на ремонт при выходе из строя гидронасосов и гидромоторов. При установке этих фильтров перед сервоклапанами или клапанами пропорционального регулирования они должны быть расположены таким образом, чтобы предотвратить отрицательные пики давления на фильтрующем элементе.

Фильтрующие элементы имеют значительно меньшую тонкость фильтрации, чем действующие в этой же гидросистеме рабочие фильтры. Их типоразмер может быть меньше, корпус фильтра не оснащается байпасным клапаном.

Применяются только фильтрующие элементы, рассчитанные на высокое давление.

5.2.2 Фильтры в байпасной линии

Задача этих фильтров состоит в очистке рабочей жидкости, находящейся в рабочем баке, в процессе циркуляции.

В большинстве случаев применяются фильтровальные установки, состоящие из насоса, фильтра и маcляного охладителя.

Преимущества фильтров в байпасной линии заключается в том, что они могут работать независимо от рабочего цикла гидросистемы, и через фильтрующие элементы постоянно проходит постоянный поток жидкости.

Замедляется процесс старения рабочей жидкости, в результате чего заметно повышается срок ее службы.

Фильтрация в байпасной линии имеет следующие преимущества:

- независимая от системы очистка,
- высокая поглощающая способность фильтрующих элементов благодаря прохождению через фильтрующий элемент без пульсации постоянного ограниченного количества жидкости,
- смена элементов без остановки двигателя,
- значительная экономия средств благодаря низкой стоимости материалов,
- сокращение времени технического обслуживания,
- сокращение времени простоя,
- низкая стоимость фильтрующих элементов,
- возможность заправки гидросистемы.

Производительность очистки фильтровальной установки в байпасной линии показана на диаграммах 46 и 47.

При анализе диаграмм следует принимать во внимание, что во время фильтрации резиноштамповочный пресс и стенд для испытания насосов продолжали работать.

Описание расчетов конструкции фильтров в байпасной линии дается в разделе 5.6.2.

Как правило, фильтры в байпасной линии должны быть предусмотрены в следующих случаях:

- если ожидается сильное загрязнение из окружающей среды, как например, на стенах для серийных испытаний, в установках, работающих в условиях значительной запыленности, в очистных сооружениях,
- при монтаже автономной системы циркуляции.

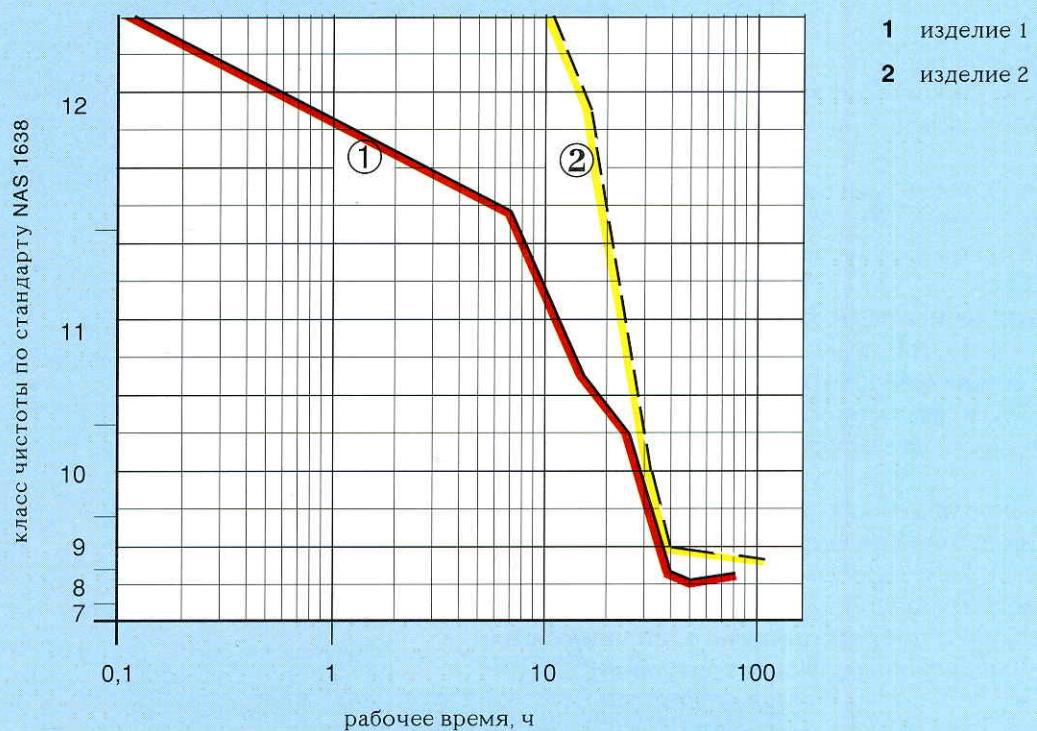


Диаграмма 46: Производительность очистки фильтровальной установки в байпасной линии на стендах для серийных испытаний

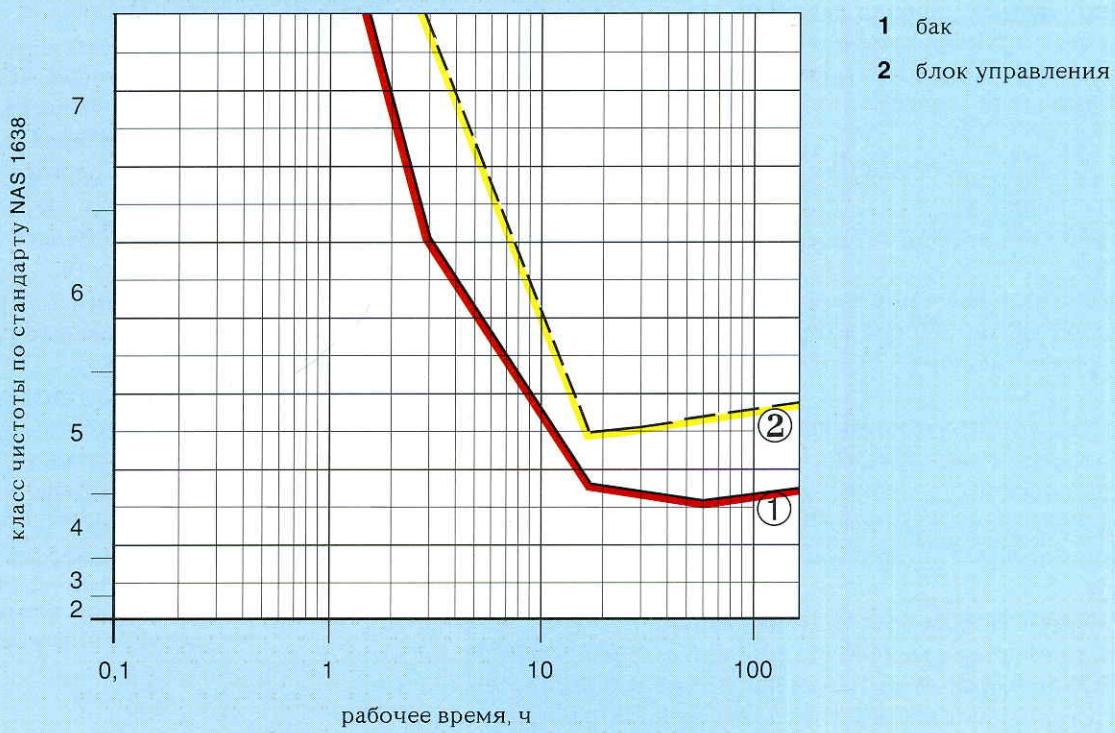


Диаграмма 47: Производительность очистки фильтровальной установки на резиноштамповочном прессе

5.3 Критерии расчета параметров фильтров

При определении типоразмера, тонкости фильтрации и конструкции фильтра следует руководствоваться следующими критериями.

Чувствительность к загрязнению

элементов гидросистемы с учетом тонкости фильтрации и требуемого класса чистоты.

Область применения гидросистемы

При этом надо принимать во внимание возможную степень загрязненности окружающего воздуха. Эксплуатация гидросистемы в лабораторных условиях или, например, на металлургическом заводе.

Определение объемного расхода жидкости, проходящей через фильтр

Временами этот расход может быть выше максимальной объемной подачи насоса (в частности, при использовании дифференциальных цилиндров или сливных линий с несколькими контурами).

Рекомендуемое падение давления

на применении чистого фильтрующего элемента и рабочей вязкости жидкости

(в корпусе и на фильтрующем элементе)

Напорный фильтр без байпаса: ок. 0,1 бар.

Напорный фильтр с байпасом: ок. 0,5 бар.

Фильтр в сливной линии: ок. 0,3 - 0,5 бар.

Допустимый перепад давления

на фильтрующем элементе должен соответствовать условиям эксплуатации системы на участке монтажа фильтра.

Гарантия совместимости фильтровального материала

с рабочей жидкостью.

Расчетное давление в корпусе фильтра

Необходимо обеспечить длительную прочность корпуса фильтра.

Выбор конструкции фильтра

Следует определить тип указателя загрязненности (оптический, электрический, электронный).

Запрещается установка байпасного клапана на напорные фильтры, выполняющих защитные функции.

Рабочая или расчетная температура

Рабочая вязкость рабочей жидкости, определяемая на основании этих параметров, является важным фактором при выборе типоразмера фильтра.

5.4 Определение точности фильтрации

Элементы гидросистемы	Класс чистоты по стандарту ISO DIS 4406		Рекомендуемая абсолютная тонкость фильтрац. мкм
	NAS 1638	ISO DIS 4406	
Шестеренчатые насосы	10	19/15	20
Цилиндры	10	19/15	20
Гидрораспределители	10	19/15	20
Предохранит. клапаны	10	19/15	20
Дроссельные клапаны	10	19/15	20
Поршневые насосы	9	18/14	10
Шиберные насосы	9	18/14	10
Напорные клапаны	9	18/14	10
Клап. пропорц. регул.	9	18/14	10
Сервоклапаны	7	17/13	5
Сервоцилиндры	7	17/13	5

Таблица 29: Рекомендуемая абсолютная тонкость фильтрации применительно к различным элементам гидросистемы

Класс чистоты гидросистемы зависит от класса чистоты, который требуется применительно к наиболее чувствительному к загрязнению элементу системы. "Наиболее чувствительный элемент" определяет тонкость фильтрации всей системы.

Для достижения класса чистоты следует использовать фильтрующие элементы с абсолютной тонкостью фильтрации ($\beta_x \geq 100$).

Выбор нужной тонкости фильтрации и соответствующих фильтрующих элементов можно сделать с помощью табл. 29, 30 и 31.

Эффективность очистки в гидросистеме представлена на диаграмме 48. Кроме того, на диаграмме отчетливо показано резкое усиление загрязнения рабочей жидкости при отсутствии фильтров.

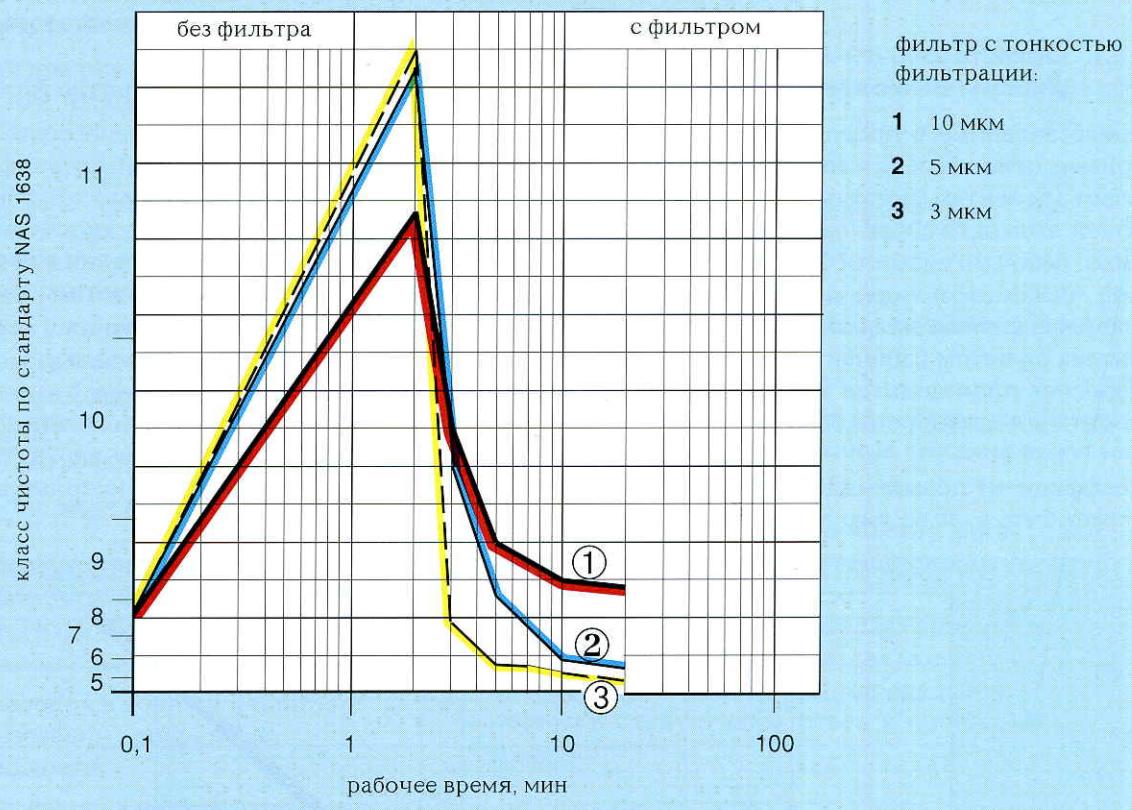


Диаграмма 48: Класс чистоты, достигаемый при использовании фильтров с абсолютной тонкостью фильтрации

Гидросистемы	Рекомендуемая абсолютная тонкость фильтрации ($\beta_x \geq 100$)	Достигаемый класс чистоты согласно стандартам NAS1638 и ISO/DIS 4406	
		при разм. част. боль.	> 5 мкм
Системы с сервоклапанами	5	7	17/13
Системы с регулирующими клапанами	5	7 до 8	17/13
Системы с клапанами пропорц. регулиров.	10	9	18/14
Стандартные системы	10 до 20	9 до 10	18/14

Таблица 30: Определение рекомендуемой тонкости фильтрации для гидросистем с элементами фирмы "Рексрот"

5.4.1 Выбор фильтрующих элементов

Область применения	Тонк. фильтр, мкм	Тип элемента фирмы "Рексрот"	Допуст. перепад давления	Примечания
Рабоч. фильтры, фильтр в байпасн.линии, фильтр в слив. лин., напорные фильтры с байпасн.клап	3 3 5 5 10 10 20 20	... R003BN/HC ... D003BN/HC ... R005BN/HC ... D005BN/HC ... R010BN/HC ... D010BN/HC ... R020BN/HC ... D020BN/HC	30 бар	
Защитный фильтр напорные фильтры с байпасным клапаном	3 5 10 20 25 25 50 50 100 100	... D003BH/HC ... D005BH/HC ... D010BH/HC ... D020BH/HC ... D025 W ... D025 T ... D050 W ... D050 T ... D100 W ... D100 T	210 бар	Дополнительные значения тонкости фильтрации следует запросить у изготовителя

Таблица 31: Выбор фильтрующих элементов в зависимости от области применения и требуемой абсолютной тонкости фильтрации

5.5 Влияние рабочей жидкости на выбор параметров фильтра

5.5.1 Вязкость рабочей жидкости

(Кинематическая вязкость жидкости)

Представленные в проспектах характеристические кривые, относящиеся к корпусу фильтра и фильтрующим элементам, построены с учетом вязкости рабочей жидкости 30мм²/сек. Если расчетная (как правило, рабочая) вязкость отличается от этой эталонной вязкости, потеря давления на фильтрующем элементе (данные на диаграмме) должна быть пересчитана с учетом рабочей вязкости.

Пересчет производится с использованием коэффициента повышения вязкости f_1 .

Коэффициент повышения вязкости f_1 может быть взят из диаграммы 49.

5.5.2 Плотность рабочей жидкости

При расчете потери давления в корпусе фильтра необходимо принимать во внимание плотность рабочей жидкости.

Потеря давления в корпусе фильтра определяется по формуле:

$$\Delta p_{GB} = \Delta p_{GP} \cdot \frac{\rho_B}{\rho_P}$$

Δp_{GB} = перепад давления в корпусе при использовании конкретной рабочей жидкости,

Δp_{GP} = перепад давления в корпусе по данным проспекта,

ρ_P = плотность жидкости, указанная в проспекте,

ρ_B = плотность жидкости, при которой используется фильтр.

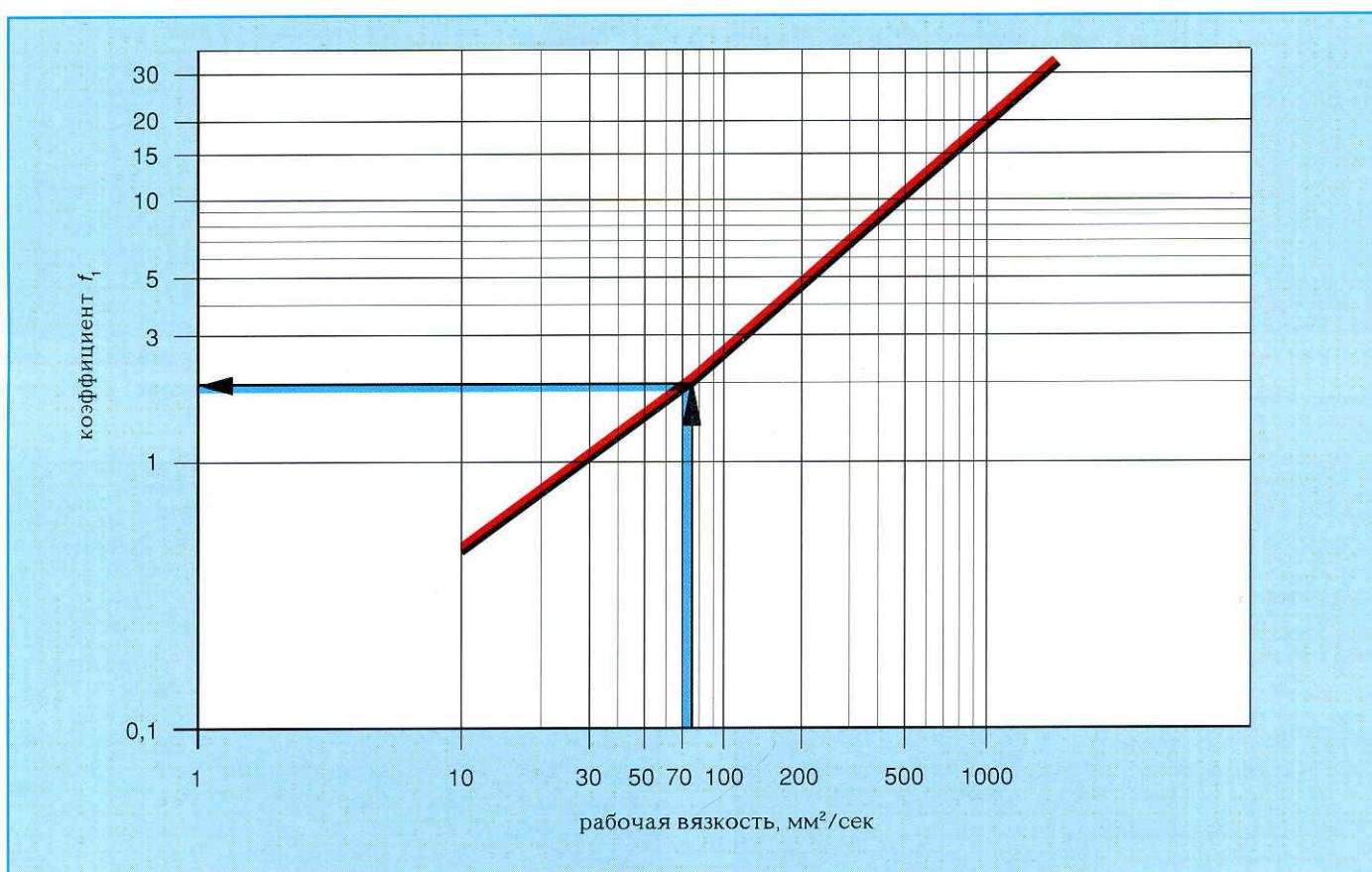


Диаграмма 49: Графическое представление коэффициента повышения вязкости f_1

5.6 Определение типоразмера фильтра

5.6.1 Расчет параметров фильтра в основной линии

Цель, преследуемая при определении типоразмера фильтра, состоит в том, чтобы добиться равновесия между попаданием загрязнений в систему и их удалением с помощью фильтра. При этом следует обеспечить экономичный срок службы фильтра.

Поэтому при выборе типоразмеров фильтров необходимо учитывать степень загрязненности окружающей среды, а также осмотр и техническое обслуживание гидросистемы. Влияние окружающей среды учитывается с помощью введения коэффициента f_2 . Значения коэффициента f_2 приводятся в табл. 32. Определение допустимой потери давления на фильтре производится по следующей формуле:

$$\Delta p_{Ges} = (\Delta p_{GB} + f_1 \cdot \Delta p_E) \cdot f_2$$

- Δp_{Ges} = полный перепад давления на фильтре при рабочей температуре использования чистого фильтрующего элемента и эффективном объемном расходе,
- Δp_{GB} = перепад давления в корпусе фильтра при использовании конкретной рабочей жидкости,
- Δp_E = перепад давления на чистом фильтрующем элементе при эффективном объемном расходе (данные проспекта)
- f_1 = коэффициент пересчета вязкости,
- f_2 = коэффициент учета влияния окружающей среды

При определении перепада давления на фильтре следует учитывать эффективный объемный расход проходящей через фильтр.

Определение производится по следующей формуле:

$$Q_w = Q_p \cdot \bar{U}$$

Q_w = эффективный объемный расход

Q_p = объемный расход насоса

\bar{U} = повышение объемного расхода насоса по причине применения аккумуляторов или цилиндров

При определении типоразмера неразрешается перешагать в таблице 33 показанные максимальные начальные перепады давления.

Эти показания относятся к новому фильтрующему элементу при фильтрации минерального масла.

При фильтрации трудно воспламеняемых рабочих жидкостей или масла для двигателей действуют другие рекомендации для определения (при потребности следует обратиться к поставщику фильтров).

Осмотр и техническое обслуживание гидросистем	Степень загрязненности		
	¹⁾ слабая	²⁾ средняя	³⁾ сильная
— постоянный контроль работы фильтров	1,0	1,0	1,3
— немедленная смена фильтрующ. элементов			
— слабое загрязнение системы			
— хорошая герметизация гидробака			
— периодический контроль работы фильтров	1,0	1,5	1,7
— использование небольшого числа цилиндр.			
— ограничен. контроль работы фильтров или отсутствие контроля	1,3	2,0	2,3
— наличие большого числа цилиндров, не имеющих защиты			
— сильное загрязнение гидросистемы			

Примечания таблица 32:

¹⁾ Слабая степень загрязненности: например, на испытательных стендах, установленных в закрытых помещениях с кондиционерами воздуха.

²⁾ Средняя степень загрязненности: например, на металлообрабатывающих станках, установленных в отапливаемых цехах.

³⁾ Высокая степень загрязненности: например, на прессах, установленных в литейных цехах, станках для изготовления керамики, машинах, используемых в шахтах для добычи калийных солей, навесных сельскохозяйственных орудиях, средствах передвижения и транспортировки, прокатных станах, в деревообрабатывающей промышленности.

Таблица 32: Коэффициент учета влияния окружающей среды f_2

Определение нужного типоразмера фильтра

Полный перепад давления на фильтре можно определить двумя способами.

- Определение полного перепада давления на фильтре с помощью отдельных диаграмм для корпуса фильтра и фильтрующих элементов.

При этом следует определить отдельные потери давления на корпусе фильтра и фильтрующем элементе при эффективном объемном расходе Q_w и рабочей вязкости. На диаграмме 50 показана потеря давления на корпусе фильтра при очистке рабочей жидкости. На диаграмме 51 показана потеря давления на чистом фильтрующем элементе при вязкости рабочей жидкости 30 мм²/сек.

Для расчета нужного типоразмера фильтра найденный полный перепад давления умножают на коэффициент f_2 , чтобы учесть влияние окружающей среды.

Если полученный в результате этого полный перепад давления на фильтре будет выше максимального значения, приведенного в табл. 33, расчеты следует выполнить повторно применительно к фильтру большего размера.

Только если вычисленный общий перепад давления на фильтре большего размера будет равен или меньше максимального допустимого общего перепада давления, выбор фильтра считается правильным.

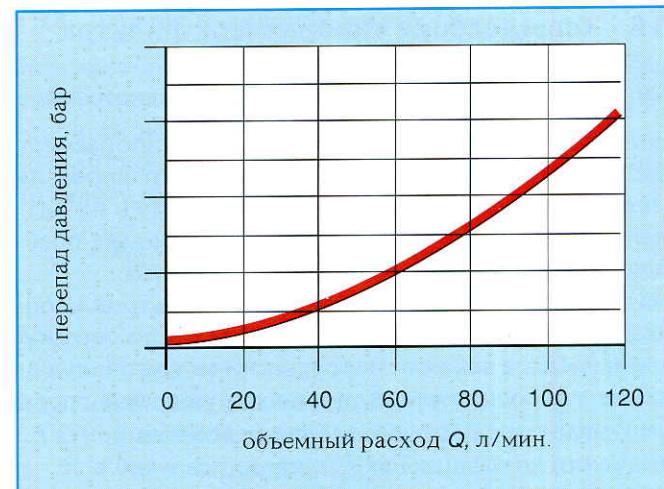


Диаграмма 50: Потеря давления в корпусе фильтра

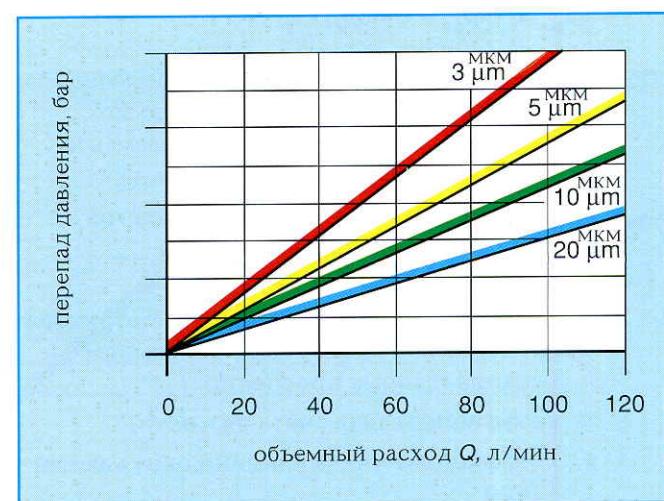


Диаграмма 51: Потеря давления на фильтрующем элементе

Функция фильтра в гидросистеме	Тип фильтра	Полный перепад давления на фильтре с новым фильтрующим элементом	
		При использовании отдельных диаграмм для корпуса фильтра и фильтрующего элемента	При использовании расчетных диаграмм
Рабочий фильтр	Фильтр в сливной линии. Напорн.фильтр с байпасн. клапаном.	$f_2 (\Delta p_{\text{корпус}} + f_1 \cdot \Delta p_{\text{элемент}}) \leq 0,5$	$Q_{\text{расчетное}} = Q_{\text{система}} \cdot f_1 \cdot f_2$
Заданный фильтр	Напорный фильтр без байпасного клапана	$f_2 (\Delta p_{\text{корпус}} + f_1 \cdot \Delta p_{\text{элемент}}) \leq 1,0$	$Q_{\text{расчетное}} = Q_{\text{система}} \cdot f_1 \cdot f_2$
Фильтр в байпасной линии	Магистральн. фильтр. Отдельные агрегаты.	—	—
Фильтр во всасыв. линии		$f_2 (\Delta p_{\text{корпус}} + f_1 \cdot \Delta p_{\text{элемент}}) \leq 0,01$	$Q_{\text{расчетное}} = 5 \text{ до } 10 \cdot Q_{\text{насос}} \cdot f_2$

Таблица 33: Определение типоразмера фильтра

- Определение полного перепада давления на фильтре с помощью диаграмм расчета параметров фильтра

С целью сокращения и упрощения процесса определения типоразмеров фильтров составлены диаграммы расчета параметров фильтра (диаграммы 52 и 53). Диаграммы построены с учетом вязкости рабочей жидкости 30 мм²/сек.

Более высокая рабочая вязкость и различные условия окружающей среды учитываются при расчете объемного расхода.

Объемный расход, который надо знать для расчета параметров фильтра, определяется по формуле

$$Q_A = Q_W \cdot f_1 \cdot f_2, \text{ где}$$

Q_A = объемный расход для расчета параметров фильтра

Q_W = эффективный объемный расход,

f_1 = коэффициент повышения вязкости,

f_2 = коэффициент влияния окружающей среды.

В точке пересечения значений объемного расхода Q_A и тонкости фильтрации находится нужный типоразмер фильтра.

5.6.2 Расчет параметров фильтров в байпасной линии

Путем установки фильтра в байпасной линии можно значительно повысить эффективность очистки рабочей жидкости, циркулирующей в гидросистеме. С помощью такого фильтра в любой момент и без особых реконструкций удается также снизить загрязненность твердыми загрязнителями рабочей жидкости в действующих гидросистемах.

Время работы фильтров в байпасной линии должно быть продолжительнее времени работы всей системы. Поэтому рекомендуется включать фильтры, независимо от системы, чтобы обеспечить возможность фильтрации рабочей жидкости в то время, когда система не функционирует (например, во время пауз, в обеденный перерыв, по окончании работы или в конце недели).

Для выбора размеров фильтра в байпасной линии надо определить:

- объемный расход жидкости, проходящей через фильтр,
- площадь фильтрующей поверхности фильтра.

Определение объемного расхода жидкости, проходящей через фильтр в байпасной линии

Максимальный необходимый объемный расход можно вычислить по формуле

$$Q_N = \frac{Q_A \cdot T_{TA} \cdot T_{WA} \cdot f_2}{T_{TN} \cdot T_{WN}}, \text{ где}$$

Q_N = объемный расход жидкости, проходящей через фильтр в байпасной линии,

Q_A = общая объемная подача насосов в гидросистеме

T_{TA} = время работы гидросистемы в день,

T_{WA} = время работы гидросистемы в неделю,

T_{TN} = время работы фильтра в байпасной линии в день,

T_{WN} = время работы фильтра в байпасной линии в неделю,

f_2 = коэффициент влияния окружающей среды (табл. 32).

При незначительной разнице в продолжительности работы гидросистемы и фильтра в байпасной линии количество жидкости, проходящей через фильтр, примерно соответствует производительности насосов, установленных в гидросистеме.

Однако это неэкономично.

Поэтому в таких случаях расчет параметров фильтра в байпасной линии рекомендуется производить следующим образом:

- Количество рабочей жидкости, проходящей через фильтр в байпасной линии выбрать таким образом, чтобы при объеме гидробака до 1000 л его содержимое полностью перекачивалось каждые 30 мин. Если бак имеет большую емкость, цикл рециркуляции должен составлять не меньше 120 мин.
- Следует повысить эффективность очистки. С этой целью тонкость фильтрации для фильтра в байпасной линии надо выбрать на ступень выше установленной для фильтров гидросистемы.
- Необходимая площадь фильтрующей поверхности устанавливается с учетом удельной нагрузки на поверхность при заданном объемном расходе.

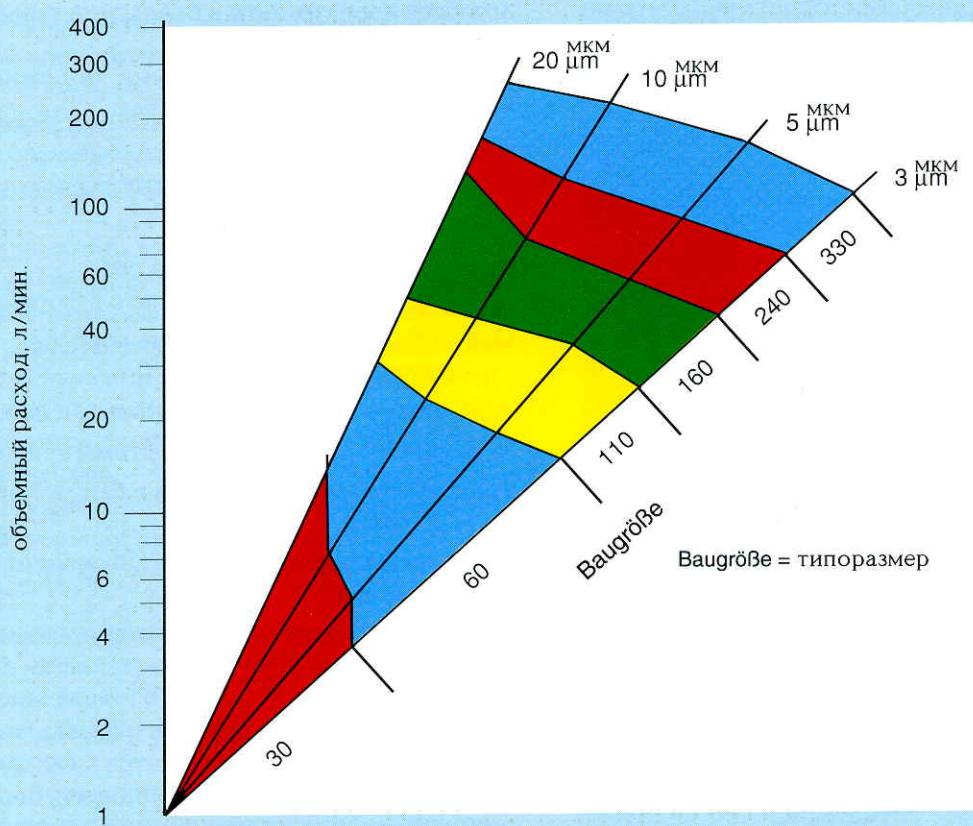


Диаграмма 52: Определение типоразмера фильтров в сливной линии

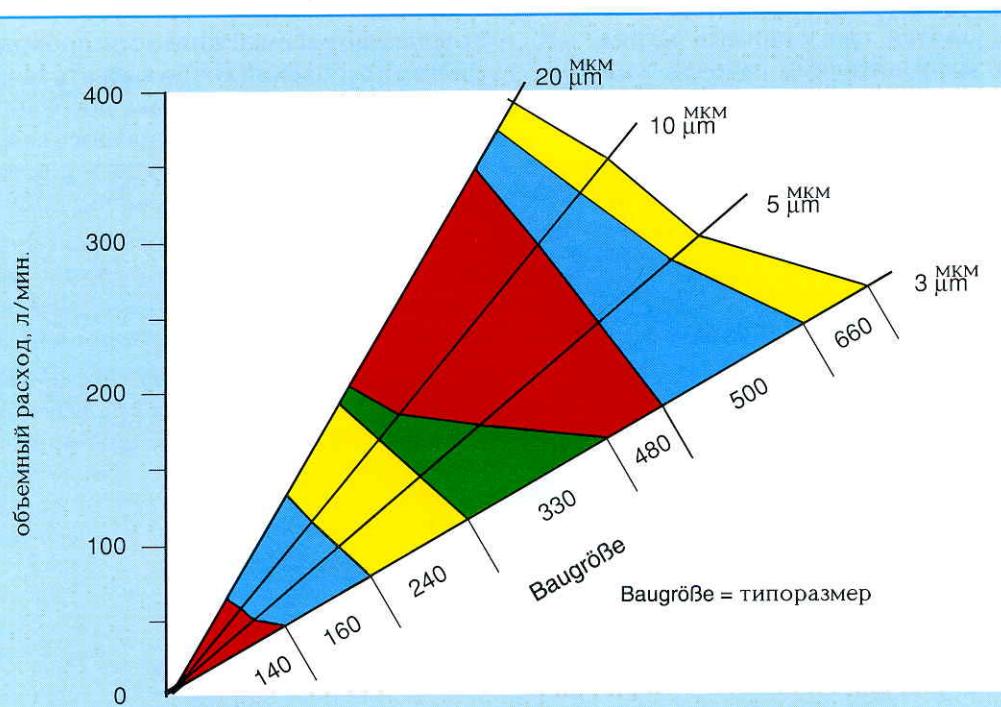


Диаграмма 53: Определение типоразмера напорных фильтров

Определение площади фильтрующей поверхности фильтра в байпасной линии

Чтобы иметь возможность определить площадь фильтрующей поверхности, следует предварительно найти тонкость фильтрации, обеспечиваемую фильтром в байпасной линии. (Она должна быть, по возможности, на ступень выше, чем у фильтров гидросистемы). Тонкость фильтрации зависит от элементов, используемых в гидросистеме. Определение тонкости фильтрации производится согл. разд. 5.4.

Теперь можно приступить к расчету минимальной необходимой фильтрующей поверхности. При этом надо учитывать значения удельной нагрузки на поверхность, представленные в табл. 34.

Максимальная необходимая фильтрующая поверхность вычисляется по формуле

$$A = \frac{Q_N \cdot f_1}{q}, \text{ где}$$

A = необходимая фильтрующая поверхность,

Q_N = объемный расход жидкости, проходящей через фильтр в байпасной линии,

q = удельная нагрузка на поверхность (см. табл. 34),

f_1 = коэффициент повышения вязкости

Тонк. фильтрации $\beta_x \geq 100$	Удельная нагрузка на поверхность, л/мин. ² /см ²
3 мкм	0,0025
5 мкм	0,0035
10 мкм	0,005
20 мкм	0,005

Таблица 34: Удельная нагрузка на поверхность при расчете параметров фильтров в байпасной линии, оснащенных фильтрующими элементами из стекловаты

5.6.3 Расчет параметров воздушных фильтров гидробака

Загрязненность системы в значительной мере определяется объемом загрязнений, попадающих снаружи. С этой точки зрения система подачи воздуха в гидробак выполняет особую задачу. Она не должна допускать попадания загрязнений в гидросистему из окружающей среды, несмотря на воздухообмен. Неправильно или небрежно разработанная система подачи воздуха в бак может дополнитель но повысить нагрузку на контур фильтра и привести к сокращению срока службы фильтрующих элементов. Пропускная способность воздушных фильтров должна быть выбрана в зависимости от пропускной способности фильтров гидросистемы.

При расчете параметров воздушного фильтра следует принимать во внимание следующие показатели.

Тонкость фильтрации: $\beta_x \geq 100$

(должна соответствовать параметрам фильтров гидросистемы).

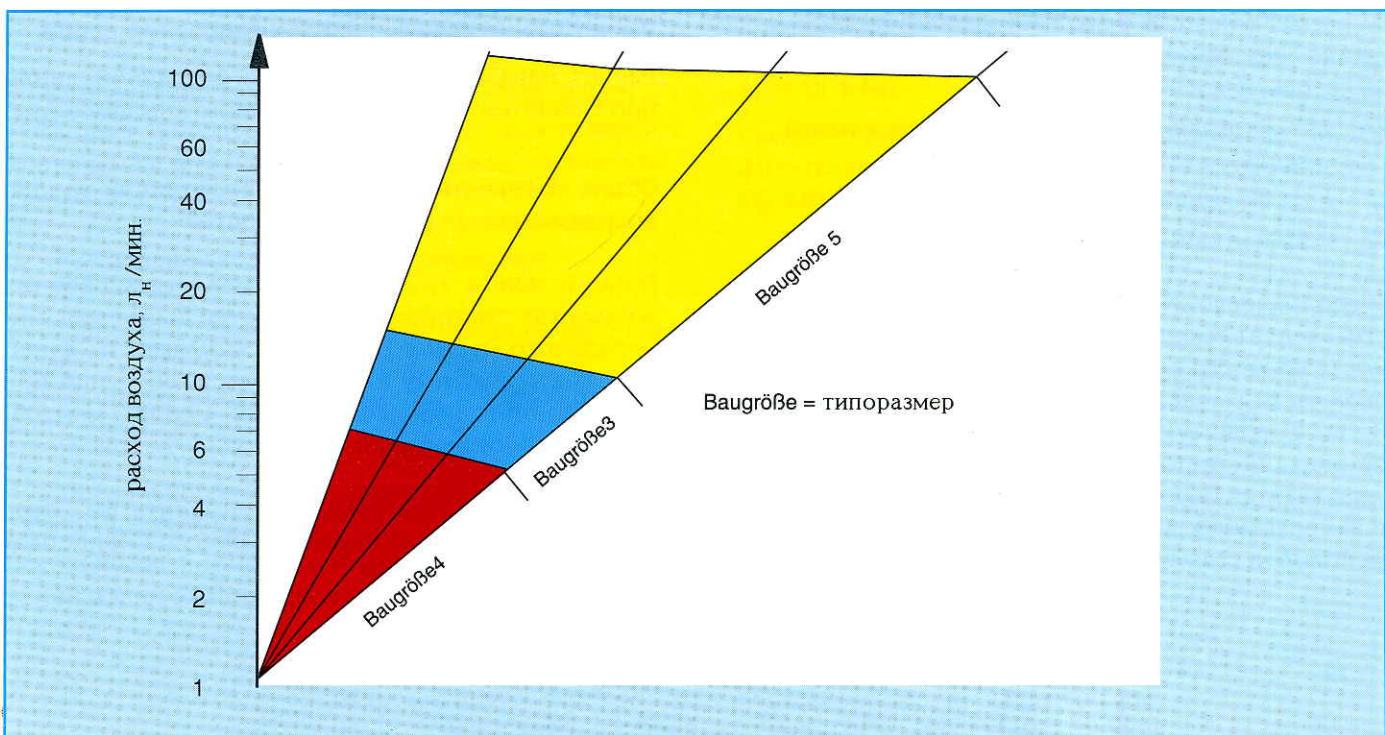
Расчетный расход для воздушного фильтра: в 5 - 10 раз выше максимальной производительности насоса.

Расчетный перепад давления: 0,01 бар (при использовании чистого фильтрующего элемента и расчетном расходе).

Типоразмер фильтра можно определить с помощью диаграммы 54.

Диаграмма 54:

Определение типоразмера воздушных фильтров



5.7 Расчет параметров фильтров для очистки трудно воспламеняемых рабочих жидкостей

Фильтрация таких жидкостей требует особого внимания по отношению к проблеме совместимости с материалами для фильтрующих элементов и корпусов фильтра.

В настоящее время применяются следующие материалы:

- в качестве фильтровальных материалов: стекловата, металлический нетканый материал, металлическая ткань из нержавеющей стали;
- для изготовления корпуса фильтра: сталь, чугун с фосфатированным или никелевым защитным покрытием.

Для защиты корпуса фильтра он может также покрываться соответствующей краской.

Вследствие повышенного износа элементов гидросистемы, образования мылообразных осадков и микроорганизмов, а также специфической осаждающей способности трудно воспламеняемых рабочих жидкостей гидрофильтры должны иметь большую площадь фильтрующей поверхности, чем при фильтрации минеральных масел.

Расчет этой фильтрующей поверхности производится по формулам:

- для фильтров в напорной линии

$$A = 30 \cdot f_1 \cdot f_2 \cdot f_3 \cdot Q_w$$

- для фильтров в сливной линии

$$A = 60 \cdot f_1 \cdot f_2 \cdot f_3 \cdot Q_w$$

A = требуемая фильтрующая поверхность,

f_1 = коэффициент повышения вязкости
(для HFA и HFB: $f_1 = 1$)

f_2 = коэффициент учета влияния окружающей среды,

f_3 = коэффициент повышения плотности (табл. 35),

Q_w = эффективный объемный расход.

Для определения необходимого типоразмера фильтра следует выбрать фильтр, фильтрующая поверхность которого равна или больше фильтрующей поверхности, вычисленной описаным выше способом. В сомнительном случае надо выбирать следующий по величине типоразмер фильтра.

Запрещается использование всасывающих фильтров и фильтрующих элементов из бумаги, пропитанной феноловой смолой.

Коэффициент повышения плотности жидкости f_3

Тип жидкости	Коэффициент f_3
HFA	1,16
HFB	1,16
HFC	1,27
HFD	2,21

Таблица 35

Определение тонкости фильтрации

Гидросистемы должны оснащаться фильтрами, обеспечивающими следующую тонкость фильтрации.

Стандартные гидросистемы:

абсолютная тонкость фильтрации - 10 или 20 мкм.

Гидросистемы с клапанами пропорционального регулирования

- 10 мкм.

Гидросистемы с серво- или регулирующими клапанами

- 5 мкм.

С целью экономической эксплуатации систем с серво- и регулирующими клапанами расчетный типоразмер фильтра должен быть увеличен в два раза.

Расчет параметров фильтров в байпасной линии

Расчет параметров фильтров в байпасной линии производится аналогично описанию в разделе 5.6.2.

Общие замечания по проблеме фильтрации трудно воспламеняемых рабочих жидкостей

Присутствие в трудно воспламеняемых рабочих жидкостях посторонних жидкостей (например, минерального масла в HFC) разко ухудшает их фильтруемость. Поэтому рекомендуется, особенно при абсолютной тонкости фильтрации 10 или 5 мкм, обращать особое внимание на состояние рабочей жидкости.

При необходимости следует применять фильтры, которые в состоянии очистить рабочую жидкость от посторонних примесей.

6. Практические примеры расчетов параметров фильтров

Ниже приводятся примеры выполнения расчетов параметров фильтров.

Пример 1

Техническая характеристика гидросистемы

Используемый насос: 1 PV2 V5-3X/16 RE 01 ML 70 A1

Максимальное рабочее давление: 70 бар.

Объемная подача насоса: $Q_p = 27,5 \text{ л/мин.}$
при скорости вращения двигателя 1450 мин.^{-1}

Используемая рабочая жидкость: ISO VG 46

Рабочая температура: 40°C .

Обеспечен постоянный контроль гидрофильтров.
Средняя степень загрязненности окружающей среды.

В систему управления гидросистемы встроен сервоклапан модели 4 WS 2 EM 10/4X/5B...

Объемный расход жидкости, проходящей через сервоклапан: 5 л/мин.

Согласно проспекту с описанием сервоклапана требуемая чистота жидкости составляет NAS 7.

Кроме того, гидросистема приводит в действие гидроцилиндр с передаточным отношением 2 : 1.

Перед сервоклапаном гидросистемы должны быть установлены рабочий и предохранительный фильтры.

Порядок расчета параметров фильтров

1. Определение требуемой тонкости фильтрации

Поскольку требуется класс чистоты жидкости NAS 7, тонкость фильтрации фильтров должна составлять $\beta_5 = 100$ (см. табл. 30).

2. Определение коэффициента повышения вязкости f_1

Согласно диаграмме 44 рабочая вязкость рабочей жидкости при 40°C составляет $46 \text{ мм}^2/\text{сек.}$

Коэффициент повышения вязкости $f_1 = 1,5$ может быть получен из диаграммы 49.

3. Определение коэффициента учета влияния окружающей среды f_2

Согласно табл. 32 при среднем количестве оборудования и постоянном контроле фильтров $f_2 = 1,0$.

4. Определение типоразмеров фильтров

В процессе проектирования гидросистемы было установлено, что для рабочей фильтрации должен быть предусмотрен сливной фильтр, а для предохранительной - напорный фильтр перед сервоклапаном.

4.1 Определение типоразмера фильтра в сливной линии (рабочего фильтра)

В начале следует рассчитать эффективный объемный расход Q_w

$$Q_w = Q_p \cdot \bar{U} = 27,5 \text{ л/мин.} \cdot 2 = 55 \text{ л/мин.}$$

Определение типоразмера фильтра с помощью отдельных диаграмм для корпуса и фильтрующего элемента

Вначале выбирают типоразмер, исходя из практического опыта. Если полученный перепад применительно к этому типоразмеру окажется выше максимального перепада, приведенного в табл. 33, расчеты надо выполнить повторно с учетом фильтра большего размера. Фильтр считается правильно выбранным, если полный расчетный перепад давления будет ниже максимального заданного. В этом случае можно планировать установку этого фильтра в гидросистему.

На нашем примере в сливной линии выбран фильтр типа RF BN/HC 110 G 005 C 1.X

Согласно диаграмме 50 потеря давления в корпусе фильтра типа RF 110 при $Q_w = 55 \text{ л/мин.}$ составляет $\Delta p_G = 0,18 \text{ бар}$

Согласно диаграмме 51 потеря давления на чистом фильтрующем элементе типа RF 0110 R 005 BN/HC при $Q_w = 55 \text{ л/мин.}$ составляет $\Delta p_E = 0,7 \text{ бар}$

Полный перепад давления равен

$$\Delta p_{Ges} = (\Delta p_G + f_1 \cdot \Delta p_E) \cdot f_2 = (0,18 + 1,5 \cdot 0,7) \cdot 1,0 = 1,23 \text{ бар}$$

Полученный полный перепад давления выше допустимого перепада, равного 0,5 бар. Из этого следует, что фильтр типа RF BN/HC 110 G 005 C 1.X имеет недостаточные размеры. Расчеты следует выполнить повторно, но применительно к фильтру с большими размерами.

Определение типоразмера фильтра с помощью расчетной диаграммы

В начале определяют объемный расход для расчета типоразмеров фильтра.

$$Q_A = Q_W \cdot f_1 \cdot f_2 = 55 \text{ л/мин} \cdot 1,5 \cdot 1,0 = 82,5 \text{ л/мин.}$$

Теперь можно определить типоразмер фильтра с помощью диаграммы 52. Точка пересечения $Q_A = 82,5$ л/мин. с характеристической кривой 5мкм лежит в области типоразмера 240.

Таким образом, для рабочей фильтрации в качестве фильтра в сливной линии должен быть использован тип RF BN/HC 240 G 005 C 1.X.

4.2 Определение типоразмера предохранительного фильтра

Этот фильтра устанавливается непосредственно перед сервоклапаном. Фильтр не имеет байпасного клапана. С целью контроля за загрязнением фильтрующего элемента фильтр оснащается электрическим указателем загрязненности.

Тонкость фильтрации этого фильтра составляет $\beta_5 \geq 100$.

Определение типоразмера фильтра с помощью расчетной диаграммы

Вначале определяют объемный расход для расчета параметров фильтра

$$Q_A = Q_W \cdot f_1 \cdot f_2 = 5 \text{ л/мин.} \cdot 1,5 \cdot 1,0 = 7,5 \text{ л/мин.}$$

Точка пересечения $Q_A = 7,5$ л/мин. с характеристикой кривой 5мкм на диаграмме 53 лежит в области типоразмера 30.

Таким образом, в качестве предохранительного фильтра перед сервоклапаном следует установить фильтр типа LF BN 30 G 005 C 1.X.

Пример 2

Ниже приводится пример расчета параметров фильтров в байпасной линии.

Техническая характеристика гидросистемы

Емкость бака: ок. 1000 л.

Используемая рабочая жидкость: ISO VG 46.

Рабочая температура: $T = 50^\circ\text{C}$.

В системе установлены 2 насоса, объемная подача каждого из которых составляет 100 л/мин.

Система оснащена клапанами пропорционального регулирования.

Средняя степень загрязненности окружающей среды.

Обеспечен постоянный контроль фильтров.

Система работает 7 часов в день.

Количество рабочих дней в неделю: 5.

Техническая характеристика фильтра в байпасной линии

Фильтры в байпасной линии могут работать непрерывно, то есть 24 часа в день в течение 7 дней.

Порядок расчета параметров фильтра

1. Определение объемного расхода

$$Q_N = \frac{Q_A \cdot T_{TA} \cdot T_{WA} \cdot f_2}{T_{TN} \cdot T_{WN}} = \frac{2 \cdot 100 \cdot 7 \cdot 5 \cdot 1}{24 \cdot 7} = 41,6 \text{ л/мин.}$$

Выбранный расход: 40 л/мин.

2. Определение тонкости фильтрации

Согласно разделу 5.6.2 тонкость фильтрации фильтра в байпасной линии должна быть на 1 ступень выше приведенной в табл. 30.

Из этого следует, что абсолютная тонкость фильтрации составляет 5 мкм.

3. Определение площади фильтрующей поверхности

$$A = \frac{Q_N \cdot f_1}{q} = \frac{40 \cdot 1}{0,0035} = 11428 \text{ см}^2$$

Результат

Пропускная способность фильтра в байпасной линии должна составлять 40 л/мин. Минимальная площадь фильтрующей поверхности должна быть равна 11428 см².

Фильтр должен обеспечивать абсолютную тонкость фильтрации 5 мкм.

Пример 3

Техническую характеристику гидросистемы см. на примере 2.

Техническая характеристика фильтра в байпасной линии

В соответствии с инструкциями по технике безопасности фильтр в байпасной линии должен эксплуатироваться только во время работы гидросистемы.

Порядок расчета параметров фильтра

Полное перекачивание рабочей жидкости из бака в течение не меньше 30 мин. При емкости бака 1000 л пропускная способность фильтра в байпасной линии составляет

$$Q = \frac{1000}{30} = 33,3 \text{ л/мин.}$$

Выбранный расход: 40 л/мин.

Определение площади фильтрующей поверхности

$$A = \frac{Q_N \cdot f_1}{q} = \frac{40 \cdot 1}{0,0025} = 16000 \text{ см}^2$$

Результат

Пропускная способность фильтра в байпасной линии для данного примера равна пропускной способности, рассчитанной согласно примеру 2, и однако в данном случае улучшается поглощающая способность и увеличивается площадь фильтрующей поверхности.

Пример 4

Ниже приводится пример расчета параметров фильтров для очистки трудно воспламеняемых рабочих жидкостей.

Техническая характеристика гидросистемы

Рабочая жидкость: HFC 46.

Гидросистема работает в комплекте с машиной для литья под давлением.

Высокая степень загрязненности окружающей среды.

Проводится нерегулярный контроль фильтров.

Емкость бака: ог. 1000 л.

Рабочая температура: 50 °C.

Эффективный объемный расход: 90 л/мин.

Система оснащена клапанами пропорционального регулирования.

Система должна быть оснащена фильтрами в байпасной линии.

Определение тонкости фильтрации

При использовании клапанов пропорционального регулирования требуется тонкость фильтрации $\beta_{10} \geq 100$.

Определение площади фильтрующей поверхности

$$A = 60 \cdot f_1 \cdot f_2 \cdot f_3 \cdot Q_W$$

Коэффициент повышения вязкости f_1

При вязкости 46 мм²/сек. $f_1 = 1,5$ (см. диаграмму 49)

Коэффициент учета влияния окружающей среды f_2

Согласно табл. 32 коэффициент $f_2 = 1,7$

Коэффициент повышения плотности f_3

Согласно табл. 35 коэффициент $f_3 = 1,27$

Требуемая площадь фильтрующей поверхности

$$A = 60 \cdot 1,5 \cdot 1,7 \cdot 1,27 \cdot 80$$

$$A = 15\ 544 \text{ см}^2$$

Результат

Следует использовать фильтр
RF BN/HС 1300 F 010 A1.1/SO 1057

7. Руководство по техническому обслуживанию и ремонту

7.1 Руководство по ремонту

Область температур эксплуатации гидрофильтров

Как правило, гидрофильтры разрешается применять в интервале рабочих температур от -10°C до +100°C. При кратковременном повышении температуры до 120°C фильтры еще работают нормально. Более высокая рабочая температура может вызвать повреждение фильтрующего элемента и материала уплотнения, что нарушает нормальную фильтрацию.

При низких температурах следует проверять состояние материала корпуса фильтра и уплотнения. Температура хранения фильтрующих элементов не должна быть ниже -50°C.

Трудно воспламеняемые рабочие жидкости

При использовании таких жидкостей надо считаться с вероятностью повышенной концентрации загрязнителя. Кроме того, запрещается применение цинкования для защиты поверхности. Поэтому применительно к этим фильтрам следует принимать особые меры, например, выбирать больший типоразмер или другой способ защиты поверхности.

См. также раздел 5.7.

Изменение тонкости фильтрации или применение другого фильтрующего материала в действующих гидросистемах

При этом следует учитывать, что частицы загрязнений, которые циркулируют в системе вызывают быстрое загрязнение фильтрующих элементов, поэтому при использовании фильтров тонкой очистки надо рассчитывать на более короткий срок службы элемента. В процессе реализации этих мер по переоснащению рекомендуется применять передвижные агрегаты для фильтрования части потока в байпасной линии.

Предлагаемые интервалы смены фильтрующих элементов

Смена фильтрующих элементов, используемых в гидрофильтрах, должна производиться:

- в случае срабатывания установленного в фильтре указателя загрязненности;
- каждые 1000 рабочих часов или после годичного срока эксплуатации;
- после полной смены рабочей жидкости в системе.

7.2 Рекомендации для производителей гидросистем

С целью обеспечения нормальной эксплуатации гидросистем необходимо соблюдать следующие правила монтажа фильтров.

- Выбор достаточного пространства для демонтажа фильтрующего элемента; это позволяет быстро и легко сменять элемент. Кроме того, предотвращается его повреждение.
- Прокладка трубопроводов гидросистемы не должна мешать смене фильтрующих элементов.
- Установка фильтров в легкодоступных местах гидросистемы. Правильное расположение гидрофильтров иногда имеет решающее значение с точки зрения возможности их нормального технического обслуживания. Следует обеспечить достаточную высоту пространства для демонтажа фильтра с целью замены.
- Соблюдение правильного направления потока в корпусе фильтра.
- Предпочтительное использование электрических указателей загрязненности нормализованного типа. Это затрудняет выполнение таких операций, как отсоединение штекера или разъединение кабеля.
- Установка заправочных патрубков на баке или перед фильтром в байпасной линии, что облегчает заправку или доливку рабочей жидкости в бак.
- Установка контрольных выводов для взятия проб с целью контроля состояния гидросистемы. При резких повышениях давления или колебаниях объемного расхода рекомендуется дополнительная установка гасителя пульсации для защиты фильтрующего элемента.
- Ликвидация отрицательных импульсов давления на гидрофильтре. Эти импульсы разрушают фильтрующий элемент и могут быть предотвращены путем установки обратного клапана между фильтром и клапаном или гидроаккумулятором.

7.3 Техническое обслуживание гидрофильтров

Во избежание загрязнения фильтрующих элементов во время транспортировки или хранения на складе их следует герметично упаковывать с синтетической пленкой. Эту защитную пленку можно снимать непосредственно перед установкой элементов в корпус.

Только фильтрующие элементы из проволочной ткани, тканого кружева, щелевых трубок и металлического нетканого материала могут подвергаться очистке. Элементы из слоя бумажной массы или стекловолокнистого холста очистке не подлежат.

Процесс смены фильтрующего элемента

- При срабатывании указателя загрязненности произвести гидростатическое уравновешивание гидрофильтра или секции фильтра с загрязненным фильтрующим элементом.
- Отвернуть корпус или открыть крышку фильтра. При этом не допускать загрязнения соединительной резьбы корпуса фильтра. Поворот крышки фильтра в сливной линии на 45° облегчает открытие крышки.
- Снять загрязненный фильтрующий элемент. Проверить, не отложились ли на поверхности элемента остатки загрязнений; они могут указывать на возможное повреждение гидравлических элементов. Кроме того, при снятии фильтрующего элемента фильтров в сливной линии его следует извлекать вместе со вставленным грязеуловителем.
- Остатки рабочей жидкости, находящейся в корпусе, слить в соответствующую емкость. Эта жидкость содержит очень высокий процент загрязнителя, поэтому ее нельзя повторно заливать в систему.
- Протереть корпус фильтра чистой мягкой тряпкой.
- Проверить и при необходимости заменить уплотнения корпуса или крышки фильтра.
- Смочить чистой рабочей жидкостью резьбу, уплотнительные поверхности фильтра и уплотнение фильтрующего элемента.
- Вставить новый фильтрующий элемент, соблюдая требуемую тонкость фильтрации.
- Привернуть корпус или крышку фильтра.
- Включить систему или залить в корпус фильтра рабочую жидкость и убедиться в отсутствии течи.

Указания по техническому обслуживанию воздушных фильтров

При каждой смене рабочей жидкости рекомендуется производить замену воздушного фильтра. Следует различать фильтры, которые заменяются полностью, и фильтры, оснащенные сменным фильтрующим элементом или сменным фильтрующим патроном.

7.4 Полная промывка системы

Промывку системы рекомендуется производить в следующих случаях:

- при вводе в действие новой системы,
- после выполнения ремонтных работ,
- после вскрытия гидросистемы, например, с целью установки нового насоса или клапана.

Порядок промывки системы

Заправить систему чистой рабочей жидкостью.

Для заправки рекомендуется использовать маслоzapравочный агрегат с гидрофильтром. Это устройство позволяет залить в бак рабочую жидкость и осуществлять ее постоянное фильтрование в байпасной линии.

Заменит дорогостоящие клапаны, например, сервоклапаны и клапаны пропорционального регулирования, промывочными плитками или промывочными клапанами.

Применять системные фильтры, обеспечивающие тонкость фильтрации, предусмотренную для эксплуатации гидросистемы.

При необходимости использования фильтрующих элементов, рассчитанных на низкий перепад давления, их тонкость фильтрации должна соответствовать тонкости фильтрации системных фильтров.

После 150-300-кратного перекачивания всего объема рабочей жидкости проверить степень ее загрязненности твердыми загрязнителями и в зависимости от результата промывку закончить или продолжать.

В течение всего процесса промывки обращать особое внимание на показания указателей загрязненности, установленных на фильтрах. В случае срабатывания указателей немедленно сменить фильтрующие элементы. С этой целью предусмотреть наличие достаточного количества запасных элементов для замены в ходе промывки.

8. Перечень символов, безразмерных числовых показателей и индексов

Символы

Символ	Единица измерения	Наименование
Q	л/мин, м ³ /с	Объемный расход
A	м ² , см ² , мм ²	Поверхность, фильтрую- щая поверхность
p	бар, Н/м ²	Давление
α	г	Поглощающая способн.
ρ	кг/дм ³	Плотность
τ	ч	Рабочее время
q	л/мин, см ²	Удельн. нагр. на поверх.
n	мин ⁻¹	Число оборотов
v	мм ² /сек	Кинематич. вязкость

Индексы

Символ	Наименование
1, 2, 3	Номер элемента, номер коэффиц.
X	Размер частицы
GB	Корпус: при исполь. опред. рабоч. жидк.
GP	Корпус: данные, приведен. в проспекте
P	Проспект, насос
B	Условия эксплуатации
W	Эффективный, активный
Ü	Передаточное отношение
Ges	Полный, всего
E	Элемент
G	Корпус
A	Расчет, поверхн.(площ.), устан.(система)
N	Номинальный ток, номинальный
TA	Колич. рабоч. часов гидросист. в день
WA	Колич. рабоч. дней гидросист. в неделю
TN	Колич. рабоч. часов фильтр. в байп.линии
WN	Колич. рабоч. дней фильтр. в байп.линии

Безразмерные числовые показатели

Символ	Наименование
f	Поправоч. коэффиц., повыш. коэффиц.
%	Процент
t	Время, время промывки
β	Коэффиц. "бэта", коэффиц. фильтрации
n	Количество
M	Миллион
K	Тысяча

Знаки

Символ	Наименование
Δ	Разность

9. Международные стандарты

ISO 228	Трубная резьба.
ISO 1000	Единицы измерения системы SI.
ISO 3722	Рабочая жидкость: "Пригодность и контроль способов очистки емкостей для проб".
ISO 4021	Рабочая жидкость: "Взятие проб для определения загрязненности из системы, находящейся в эксплуатации".
ISO 4402	Рабочая жидкость: Тарирование автоматических счетчиков с помощью контрольной пыли "AC-fine" для воздушных фильтров".
ISO 4405	Гравиметрический анализ.
ISO 6162	Технология использования рабочих жидкостей, гидравлика, фланцевые соединения.
ISO DIS 4406	Рабочая жидкость: "Числовой код содержания твердых загрязнителей".
DIN ISO 2941	Технология использования рабочих жидкостей, гидравлика, фильтрующие элементы, испытание на разрушающий перепад давления.
DIN ISO 2942	Технология использования рабочих жидкостей, гидравлика, фильтрующие элементы, проверка качества изготовления.
DIN ISO 2943	Технология использования рабочих жидкостей, гидравлика, фильтрующие элементы, проверка на совместимость с рабочей жидкостью.
DIN ISO 3723	Технология использования рабочих жидкостей, гидравлика, способы проверки конечной нагрузки на диск фильтрующего элемента.
DIN ISO 3724	Технология использования рабочих жидкостей, гидравлика, фильтрующие элементы, определение расходно-усталостной характеристики.
DIN ISO 3968	Технология использования рабочих жидкостей, гидравлика, фильтры, определение и регистрация потери давления в зависимости от объемного расхода.
DIN ISO 4572	Технология использования рабочих жидкостей, гидравлика, фильтры, многопроходное испытание для определения и регистрации эффективности фильтрации.
DIN ISO 5598	Технология использования рабочих жидкостей, гидравлика, определение используемой терминологии.
DIN ISO 2909	Расчет индекса вязкости по кинематической вязкости масла.
DIN 24312	Технология использования рабочих жидкостей, давление, значения, термины.
DIN 24550	Технология использования рабочих жидкостей, гидравлические фильтры.
DIN 51519	Смазочные материалы; классификация вязкости по ISO для жидких промышленных смазочных материалов.
DIN 51562	Измерение кинематической вязкости вискозиметром Уббелоде.
DIN 51592	Определение содержания твердых загрязнителей в смазочных маслах.
DIN 51757	Определение плотности.
DIN 51777	Определение содержания воды в рабочей жидкости на масляной основе.
Cetop RP 91 H	Жидкости под давлением для гидроприводов, работающих на масле. Требования, предъявляемые к минеральным маслам.
Cetop RP 92 H	Перечень требований, предъявляемых к фильтрам в гидросистемах.
Cetop RP 94 H	Определение содержания твердых частиц в рабочих жидкостях с помощью автоматического счетчика частиц, действующего по принципу прерывания светового пучка

Cetop RP 95 H Рекомендуемые методы взятия проб рабочих жидкостей с помощью баллона для подсчета количества твердых частиц.

Cetop RP 118 H Рекомендации по контролю загрязнения жидкостей под давлением, используемых в гидросистемах.

NAS 1638 Американская ассоциация промышленной астронавтики.

SAE 749 D Общество автотракторных инженеров

Разработка металлоконструкций для гидроагрегатов

Ганс Х. Фаатц

1. Введение

Гидроагрегаты состоят из безнапорного гидробака, узла двигатель-насос, системы управления, принадлежностей и соединительных трубопроводов. Узлы гидроагрегата могут устанавливаться отдельно или вместе. Узел двигатель-насос, система управления и принадлежности (холодильник, фильтры, гидроаккумуляторы) часто устанавливают на гидробаке. Требующиеся для этого несущие элементы изготавливаются, как правило, из поддающихся сварке материалов - в основном из стали, реже из алюминия. Пластмассы в качестве несущих элементов гидроагрегатов пока не используются. Способ изготовления, при котором материал несущего элемента может свариваться, независимо от материала, называют строительством из металлоконструкций.

При разработке металлоконструкций для гидроагрегатов действуют те же принципы, которые обычно используются при изготовлении деталей из металлоконструкций, поэтому мы не будем касаться описания общеизвестных положений.

Поскольку конструкции, рациональные с точки зрения сварки, играют важную роль при проектировании металлоконструкций для гидроагрегатов, автор остановится на этой теме. Кроме того, будут рассмотрены особенности, которые следует принимать во внимание при создании металлоконструкций для гидроагрегатов, применительно к отдельным узлам.

2. Разработка металлоконструкций, рациональных с точки зрения сварки

Уже на стадии проектирования деталей надо обратить внимание на рациональность конструкции с точки зрения сварки. Это касается выбора сталей, которые должны быть пригодны к сварке соответствующим способом. При разработке конструкции также следует принимать во внимание форму, размеры, условия изготовления и эксплуатации деталей.

2.1 Указание параметров сварки на чертеже

На чертеже должна быть показана готовая деталь. Условные обозначения согласно стандартам DIN 1910-1912 позволяют конструктору быстро внести необходимые данные. На основании нагрузки на сварной шов конструктор задает формы соединения, способ сварки и (при необходимости) присадочный материал. Для угловых швов следует дополнительно указать толщину шва.

Условное обозначение сварного шва указывают для каждого шва. Это относится и к толщине углового шва. На чертеже могут иметься таблицы, в которых представлены способы сварки и качество сварных швов. Это касается также класса качества.

2.2 Пригодность к сварке

Предназначенные для сваривания материалы должны быть пригодны к сварке. Как правило, металлоконструкции для гидроагрегатов изготавливаются сваркой из сталей типа RST 37.2 согласно DIN 17100. Баки из нержавеющей стали изготавливают из материалов X5CRNI 189 или X10CRNITI 189, соответствующих номерам материала 1.4301 и 1.4541 согласно DIN 17440.

Особые условия приемки материалов должны согласовываться между заказчиком и исполнителем.

исполнение сварного шва	вид	условные обозначения сечения	исполнение сварного шва	вид	условные обозначения сечения

Рис. 98. Условные обозначения основных форм сварных швов на рабочих чертежах

(Дополнительные данные см. в спецификациях DIN 1912)

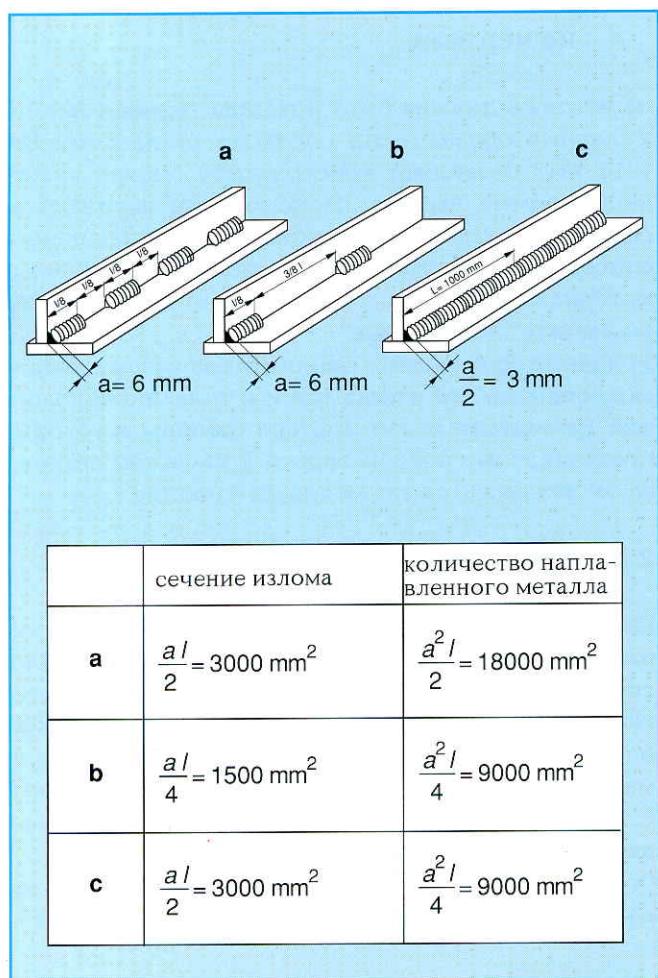


Рис. 99. Сравнение угловых швов, полученных сваркой прерывистым швом и сваркой напроход

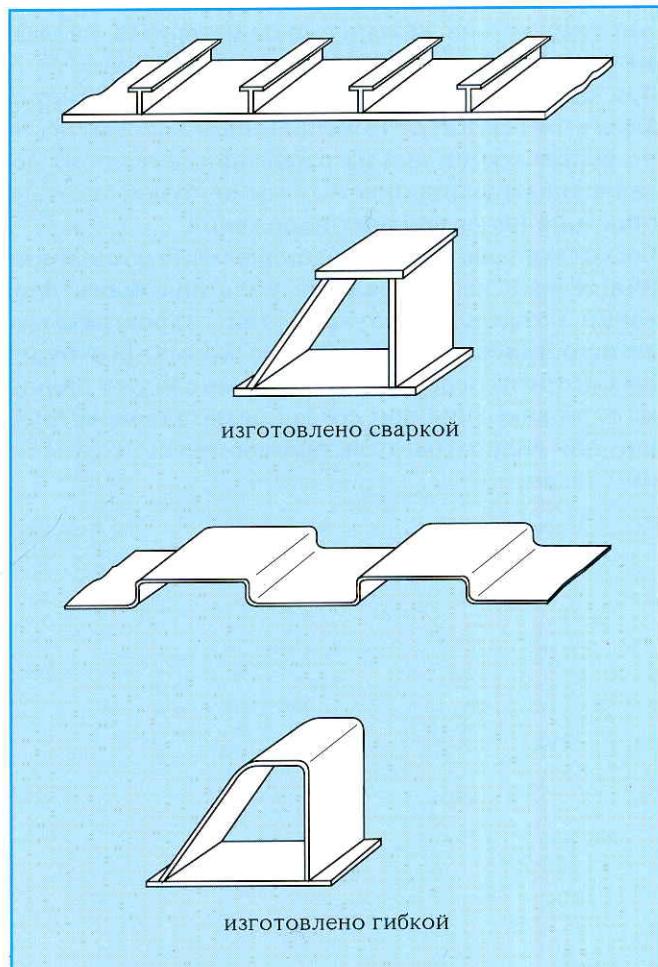
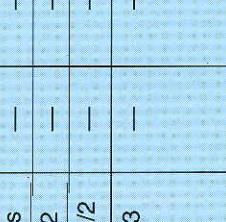
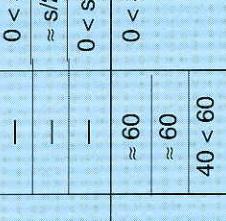
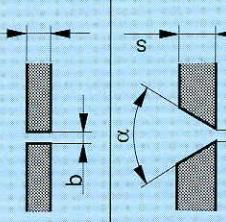
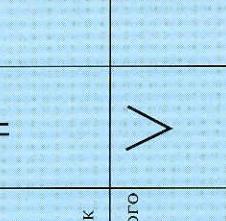
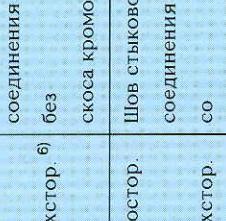
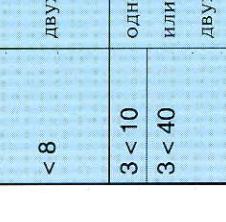


Рис. 100. Сокращение числа сварных швов за счет применения гибки

Толщина изделия	Использование	Наименование	Условное обозн. ¹⁾	Форма разделки кромок	градусы 2) α, β	зазор 3) b	высота притупл. c	высота кромок h	Способ сварки ⁴⁾	Примечания
< 4	одностор.	Шов стыкового соединения			—	$\approx s$	—	—	G, E, WIG ⁵⁾	—
< 8	двухстор. ⁶⁾	без скоса кромок			—	$0 < s$	—	—	MIG, MAG	С защитой ванны до 8 мм
3 < 10	одностор. или двухстор.	Шов стыкового соединения со скосом кромок	V		≈ 60	$0 < 3$	—	—	E, WIG ⁵⁾	—
3 < 40					≈ 60	$0 < 3$	—	—	MIG, MAG	—
10 <	двуствор.	Стыков. шов со скосом двух кром. с увелич. притуплением	Y		≈ 60	$0 < 3$	$2 < 4$	—	E, WIG ⁵⁾ MIG, MAG	В особых случаях для меньшей толщины стенок и G
12 <	одностор. или двухстор. ⁶⁾	Шов стыкового соединения с криволинейн. скосом кромок	U		≈ 8	$0 < 3$	≈ 3	—	E, WIG ⁵⁾ MIG, MAG	Корень шва также с помощью G $\theta = 4,6 + 0,14 s$, если $s = 4$ мм а $\beta = 8^\circ$.
30 <	двуствор. ⁶⁾	Шов стыкового соединения с двумя симметричными криволинейн. скосами кромок	U		≈ 8	$0 < 3$	≈ 3	$\approx s/2$	E, WIG ⁵⁾ MIG, MAG	Эта форма разделка кромок может быть получена с различной высотой кромок аналогично 2/3 двухстороннего стыкового шва со скосом кромок $\theta = 5 + 0,1 s$, если $s = 3$ мм а $\beta = 8^\circ$.

1) Дополнительные условные обозначения см. в DIN 1912, часть 5.

2) При сварке в положении q (горизонтально на вертикальной стенке) угол может быть больше и/или асимметричным.

3) Указан. размеры действ. в услов. прихватки. Оптим. велич. зазора между свариваем. кромками при стыков. сварке зависит от полож., при котором произв. сварка, и от способа сварки.

4) E=дуговая сварка, G=сварка металлич. электр. в активн. газе, MIG=сварка вольфрам. электр. в инерт. газе

5) При сварке вольфрамовым электродом в инертном газе может потребоваться защита ванны с помощью защитного газа (см. проект стандарта DIN 32526), например, формиргаза.

6) При необходимости корень шва можно вырубить и подварить.

Таблица 36.: Формы разделки кромок стыковых швов на изделиях, изготавленных из металлоконструкций (Выдержки из DIN 8551, часть 1)

2.3 Оптимальное расположение сварных швов

Конструктор обязан ограничивать количество, сечение и длину сварных швов, таким образом, чтобы максимально сократить объем сварочных работ.

Вырезка углов в тех местах, где отсутствует передача силы, также сокращает трудоемкость и соответствующие затраты.

На чертеже указывается форма разделки кромок для стыковой сварки. Форма разделки кромок зависит от размеров изделия, способа сварки, положения, при котором производится сварка, и производственного оборудования. При изготовлении металлоконструкций для гидроагрегатов обычно применяют сварку металлическим или вольфрамовым электродом в инертном газе, а также дуговую сварку.

При сварке угловых швов бывает целесообразным получение прерывистого шва. Однако при этом следует учитывать условия эксплуатации готовой детали. В гидроагрегатах для гидротехнических сооружений использование прерывистых угловых швов запрещено. Нельзя также применять сварку прерывистым швом внутренних стенок бака. Если сечение излома прерывистого углового шва должно быть таким же, как у непрерывного, толщину углового шва следует увеличить в 2 раза при условии, что непроваренные участки имеют точно такую же длину, что и валик шва. Такое решение нельзя считать экономичным. Следовательно, прерывистый шов надо выбирать в тех случаях, когда не требуется передавать значительные усилия, например, при наплавке усиливающих валиков. При этом преимущество прерывистого шва состоит в уменьшении усадки.

Поскольку при изготовлении гидроагрегатов из металлоконструкций редко требуется производить расчеты, конструктор должен выбирать минимально допустимую толщину углового шва, исходя из практического опыта.

Сварные швы должны находиться в хорошо доступных местах. Об этом следует помнить уже на стадии разработки конструкции, особенно при сваривании элементов, имеющих кромки.

Сварные швы должны располагаться на участках низких нагрузок. При этом надо избегать изменений сечения между деталями.

Коробчатые профили, обладающие повышенной статической и динамической прочностью, более предпочтительны по сравнению с гладкими профилями. Однако следует помнить, что применительно к гидроагрегатам короб должен оставаться закрытым во избежание коррозии внутренних элементов.

Конструктор обязан проверить, нельзя ли сократить количество сварных швов путем применения отбортовки или гибки (рис. 100). Как правило, отбортовка дешевле и проще сварки.

2.4 Обеспечение качества сварочных работ

Качество сварочных работ может быть оценено согласно стандарту DIN 1863, часть3. В этом стандартестыковые и угловые швы классифицируются по оценочным группам. Приводится подробная информация об анализе допустимых внешних и внутренних дефектов.

На металлоконструкции гидроагрегатов распространяется требования классов оценки DS и СК.

3. Конструкция гидроагрегатов

При разработке конструкции гидроагрегатов следует учитывать особенности технологии использования рабочих жидкостей. Надо следить за тем, чтобы расположение элементов гидрооборудования обеспечивало их нормальное техническое обслуживание, и был обеспечен доступ к резьбовым соединениям. Кроме того, в процессе конструирования необходимо соблюдать требования основных стандартов, таких как DIN 24346, специальных рабочих инструкций и руководств по техническому обслуживанию, составленных производителями элементов.

С целью организации экономичного производства узлы или отдельные детали должны соответствовать заводским стандартам. Основой разработки конструкции гидроагрегатов является гидросхема, составляемая согласно DIN 24347, и спецификация элементов.

На гидросхеме согласно DIN 24347 должно быть показано:

- поток энергии рабочей жидкости,
- устанавливаемые давления,
- размеры трубопроводов.

В спецификацию элементов должны быть включены все компоненты, показанные на гидросхеме, с точным указанием типа и поставщика или производителя.

3.1 Системный подход к разработке конструкции

Основные принципы конструирования следует соблюдать и при разработке конструкции гидроагрегатов. Можно, например, использовать методику, описание которой дается в Рекомендации 221 Общества немецких инженеров (рис. 101).

Конструктор часто имеет в своем распоряжении такие вспомогательные средства, как наклеиваемые изображения насосов, двигателей и клапанов, чертежи баков и узлов двигатель-насос. Существенную помощь при разработке конструкции гидроагрегатов может оказать дальнейшее совершенствование систем проектирования с использованием CAD, которые могут реализовываться с помощью вычислительной техники среднего класса или персональных компьютеров.

3.2 Особенности разработки конструкции гидроагрегатов

Кроме стандартных правил конструирования, при разработке конструкции гидроагрегатов, следует учитывать некоторые особенности, которые зависят от области применения и узла. Эти особенности будут рассматриваться применительно к отдельным узлам.

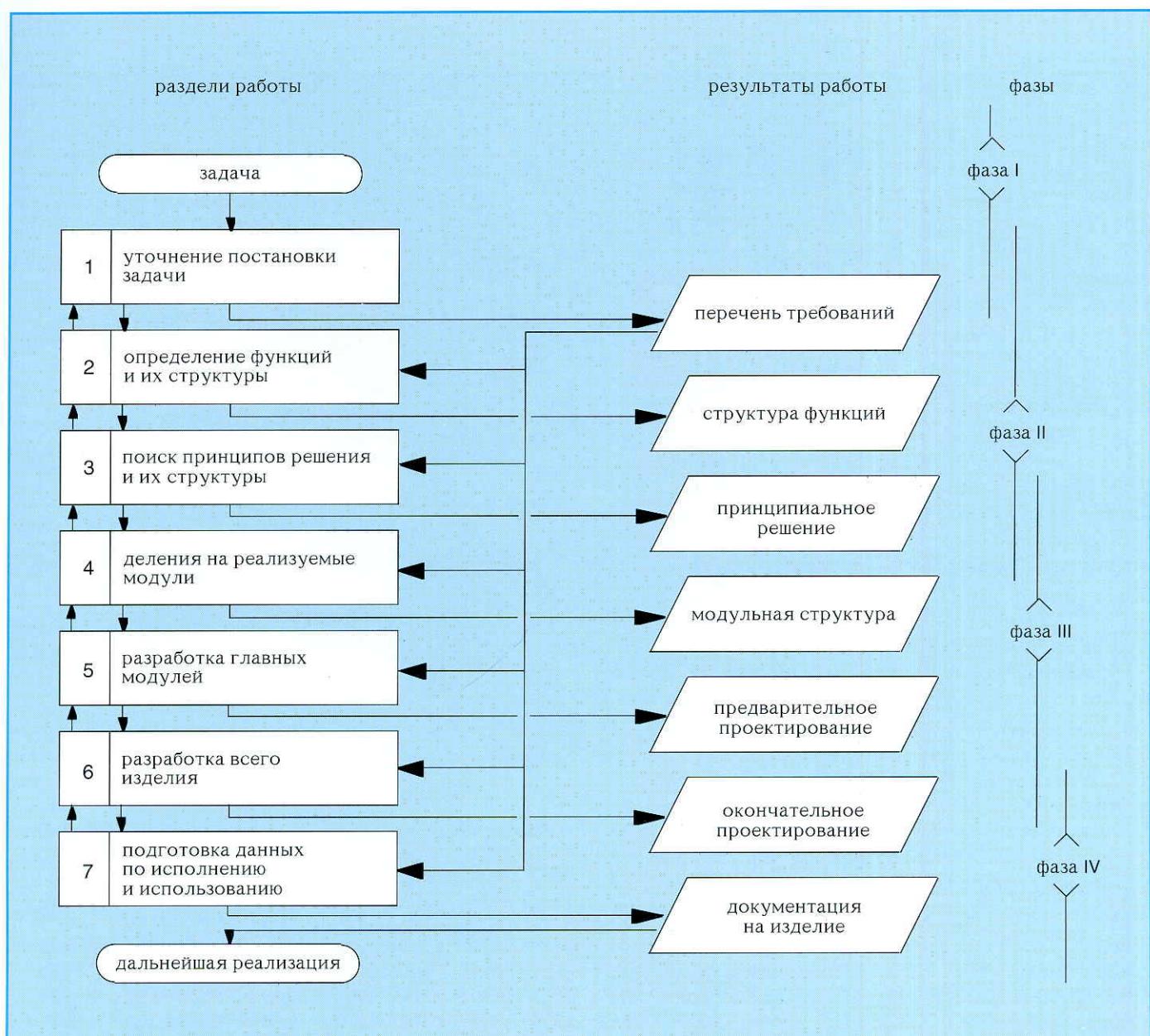


Рис. 101: Системный подход к проектированию и разработке конструкции

4. Узлы

4.1 Бак для рабочей жидкости

Как правило, в гидросистемах применяют баки, в которых рабочая жидкость не находится под давлением. Их размеры следует рассчитывать таким образом, чтобы баки могли вмещать весь объем жидкости, находящейся в системе, если установленные в циркуляционном контуре элементы, например, обратные клапаны, находящиеся под предварительным направлением, не перекрывают обратный поток жидкости по направлению к баку. Минимальная емкость бака при этом должна быть равна или больше, чем 3-кратная объемная подача насоса. Это относится к гидросистемам, работающим на минеральном масле. При использовании другой рабочей жидкости, например, трудно воспламеняемой, емкость бака (в зависимости от осаждающей способности

применяемой жидкости) должна быть увеличена до 5 - 8-кратной рабочей подачи гидронасоса.

Баки емкостью до 63 л и более, для его изготовления применяют листовую сталь. В станкостроении используют прямоугольные стальные баки согласно DIN 24339. Этот стандарт предусматривает также стандартизацию замков бака. На прессах и литьевых машинах встречаются прямоугольные стальные баки с гладкими армированными или гофрированными стенками. В сталеплавильных и сталепрокатных цехах обычно устанавливают круглые масляные баки.

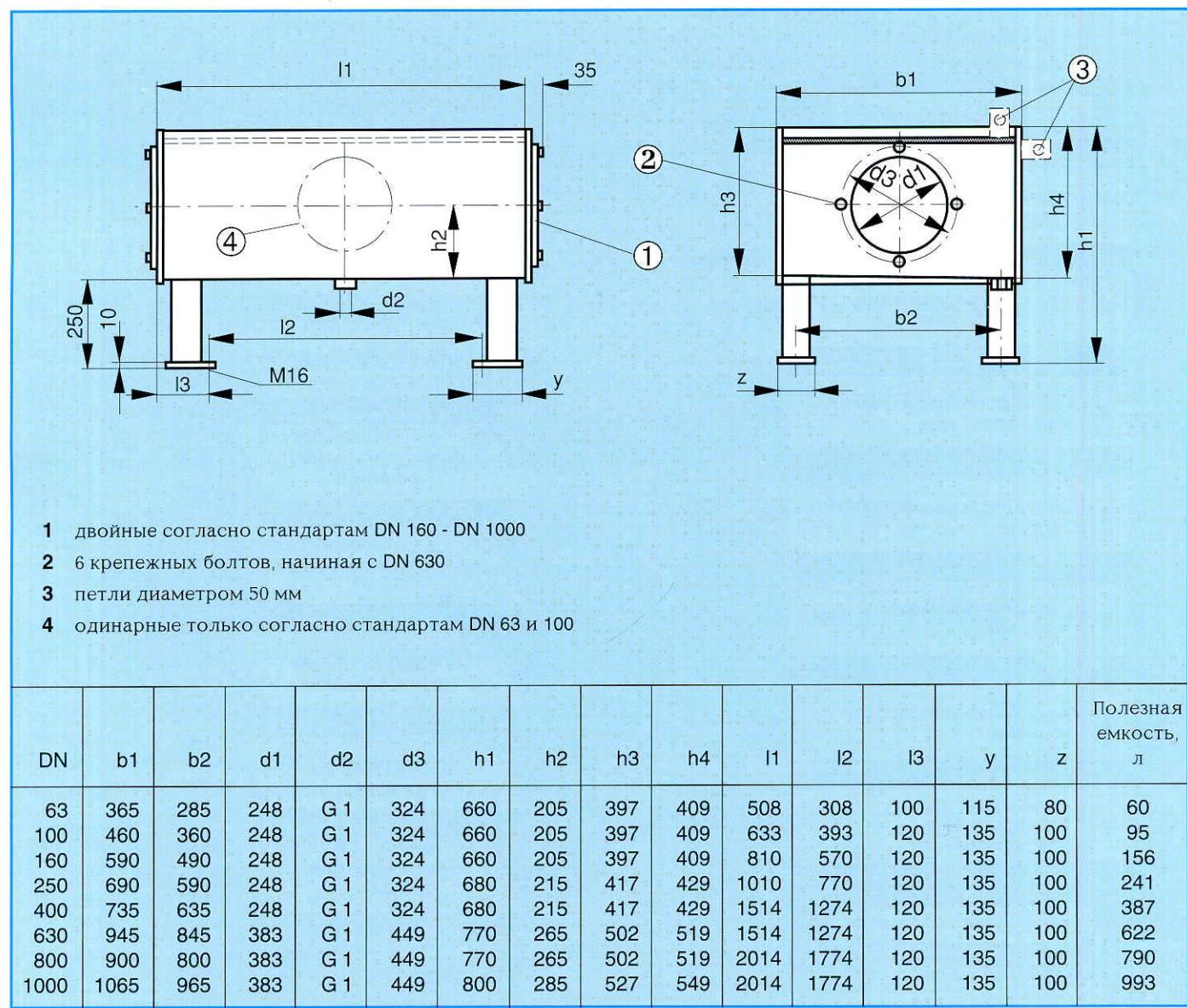


Рис. 102: Основные размеры прямоугольных масляных баков из стали аналогично стандарту DIN 24 339



Рис. 103: Алюминиевый бак



Рис. 104: Стальной бак

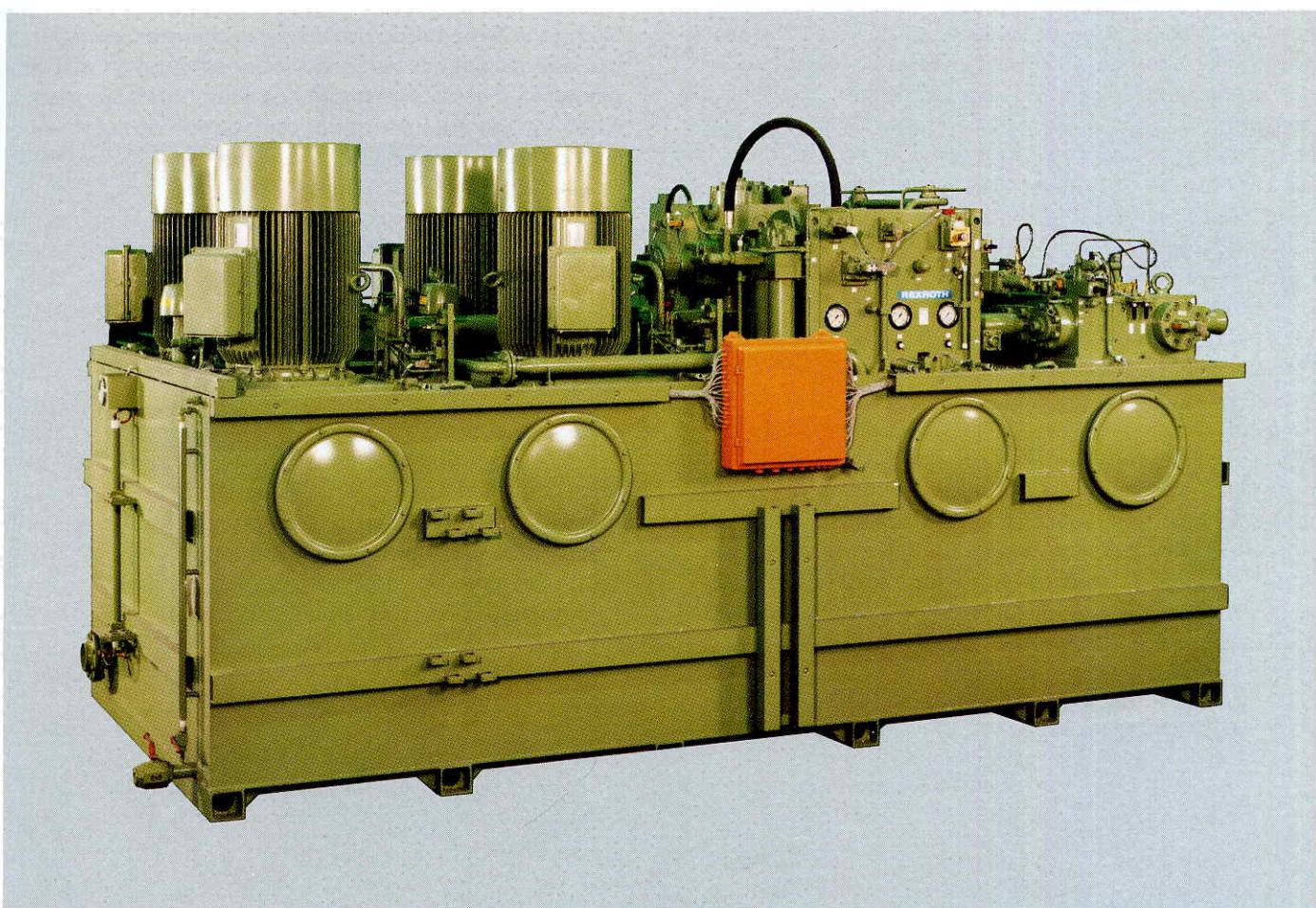


Рис. 105: Бак емкостью 16000 л

Рабочая жидкость, находящаяся в баке, должна освобождаться от содержащегося в ней воздуха. Поэтому всасывающие и сливные линии следует располагать на значительном расстоянии друг от друга. Скорость течения в баке должна быть ограничена, чтобы обеспечить осаждение загрязнений, которые возможно, имеются в рабочей жидкости. С целью периодического осмотра и очистки внутренних стенок бака необходимо предусмотреть достаточно большие очистные отверстия.

Если емкость бака больше 1000 л, между камерой всасывания и сливной камерой рекомендуется устанавливать проваренную перегородку с перепускным клапаном. Разумеется, в этом случае обе камеры могут раздельно опорожняться и очищаться.

Вместо проваренной, оснащенной перепускным клапаном перегородки можно использовать проницаемую перегородку, например, из тянутого металла. Чтобы улучшить удаление воздуха, эту перегородку рекомендуется устанавливать наклонно. Однако и при такой конструкции по крайней мере в нижней части бака надо предусмотреть проваренную перегородку, которая предотвращает попадание загрязнений из сливной камеры в камеру всасывания.

Гидробаки часто служат несущей конструкцией для других элементов гидросистемы, например, для узла двигатель-насос и/или органов управления. Поэтому иногда приходится усиливать стенки бака. Простейшим способом усиления является гофрирование с помощью ротационного токарного выдавливания. Преимущество этого способа состоит в отсутствии сварочных работ.

Может потребоваться также приваривание элементов жесткости. В простейшем случае используют плоскую стальную пластину, которая с обеих сторон приваривается к стенке бака сквозными угловыми швами.

Если пластина не обеспечивает достаточной жесткости, обычно вваривают U-образный профиль. При этом надо следить за тем, чтобы этот профиль был плотно приварен к баку с целью предотвращения попадания в рабочую жидкость загрязнений, которые могут находиться внутри профиля.

При вваривании ребер жесткости следует избегать близкого расположения сварных швов и угловых участков, где могут скапливаться загрязнения. В этом случае также должна быть обеспечена возможность очистки внутренних стенок бака.

При использовании баков, подвергнутых горячему цинкованию, надо обратить внимание на удобный доступ к внутренней части бака. Горячее цинкование предусматривает удаление воздуха из внутренней части бака, поэтому бак должен иметь вентиляционные и выпускные отверстия.

Цинкование гидробаков распылением используется в ограниченном масштабе. Преимущество этого способа заключается в том, что с его помощью можно цинковать баки, размеры которых не дают возможности погружать их в ванну для цинкования. Однако в этом случае цинк можно наносить только на блестящую металлическую поверхность. Труднодоступные участки недостаточно покрываются цинком, и при нанесении очень толстых покрытий цинк легко отслаивается.

Необходимо знать, что при горячем цинковании гидробаков температура ванны составляет ок. 480°C. Под действием такой температуры происходит высвобождение собственных напряжений металла, возникающих при сварке, которые могут привести к деформации бака. Иногда только по этой причине приходится усиливать стенки бака. Цинк, который находится в баке или в полостях, должен вытекать быстро и без значительного изменения температуры. При разработке конструкции следует учитывать размеры имеющейся ванны и способ погружения. Надо своевременно предусмотреть соответствующие возможности подвешивания бака.

Стальные гидробаки перед привариванием крышки подвергают пескоструйной обработке и грунтуют изнутри цинковой краской. Это покрытие обладает стойкостью к действию большинства рабочих жидкостей. Кроме того, оно обеспечивает достаточную защиту от коррозии.

Для систем, оснащенных сервоклапанами, часто требуются баки из нержавеющей стали. Принципы конструирования баков из нержавеющих и углеродистых сталей одинаковы. Следует тщательно изучить возможность сокращения толщины стенок бака. Надо избегать сварных соединений элементов из аустенитных и углеродистых сталей.

Гидробаки из нержавеющих сталей после изготовления подвергают травлению. Окраска не требуется.

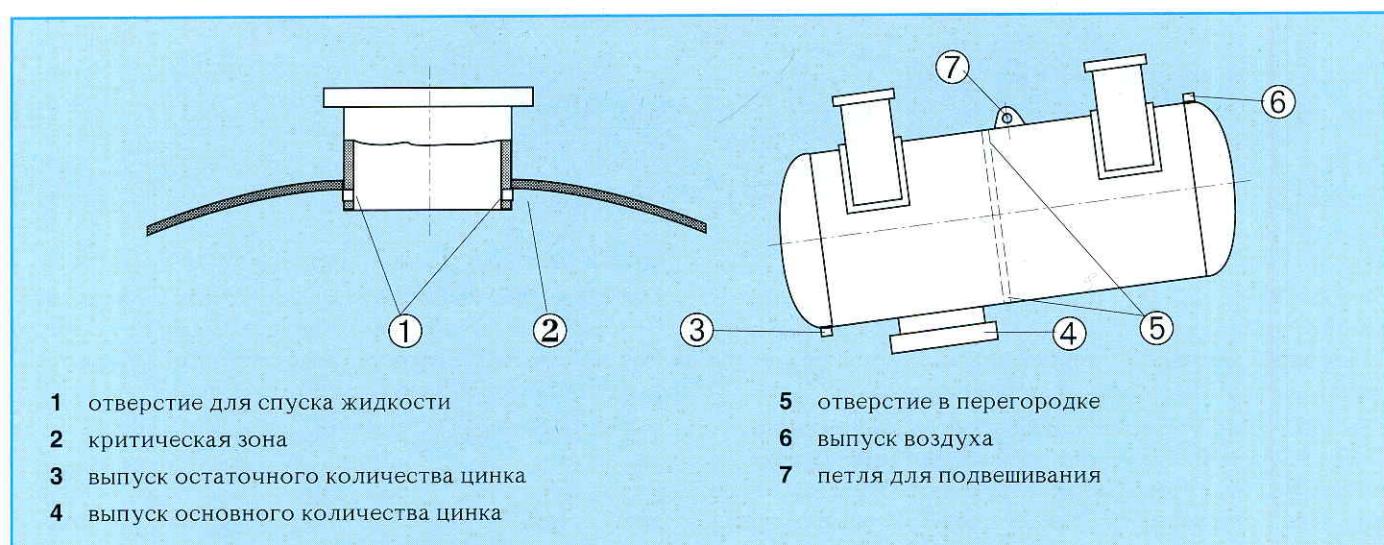


Рис. 106: Меры, необходимые для горячего цинкования круглых масляных баков

При разработке конструкции баков больших размеров следует учитывать, что разность температур может вызвать изменение длины бака. Поэтому круглый масляный бак имеет одну жесткую и одну регулируемую опору (рис. 107).

Гидробаки должны быть не только герметичными изнутри; следует позаботиться о том, чтобы в бак не попадали загрязнения из окружающей среды. Это особенно важно в том случае, когда верхняя часть прямоугольных баков выполнена как ванна для сбора утечек масла. Необходимо тщательно закрывать и герметизировать соответствующие отверстия, например, для прокладки трубопроводов, установки фильтров и узла двигатель-насос. В качестве уплотнительного материала можно использовать комбинацию резины с пробкой. Материал должен быть упругим и/или достаточно толстым, чтобы компенсировать небольшие неровности металлоконструкции, и стойким к действию соответствующей среды. Уплотнительные поверхности должны быть плоскими и чистыми. Расстоя-

Емкость л	d	l1	l2	b1	b2	a1	a2
1000	1000	1510	765	200	150	750	600
1500	1000	2050	1400	200	150	750	600
2000	1250	1830	1100	200	150	950	800
3000	1250	2740	1920	200	150	950	800
4000	1250	3490	2740	200	150	950	800
4000	1600	2230	1280	350	300	1200	1050
5000	1600	2820	1770	350	300	1200	1050
6000	1600	3260	2250	350	300	1200	1050
7000	1600	3740	2770	350	300	1200	1050
10000	1600	5350	4290	350	300	1200	1050
13000	1600	6960	5625	525	475	1150	1000
16000	2000	5550	4210	600	550	1750	1600
20000	2000	6960	5395	600	550	1750	1600

- 1) указатель уровня масла
- 2) заправочно-вентиляционный фильтр
- 3) перепускной клапан
- 4) петля для транспортировки

- 5) условный проход 500 мм
- 6) спускной кран G 2
- 7) жесткая опора
- 8) регулируемая опора

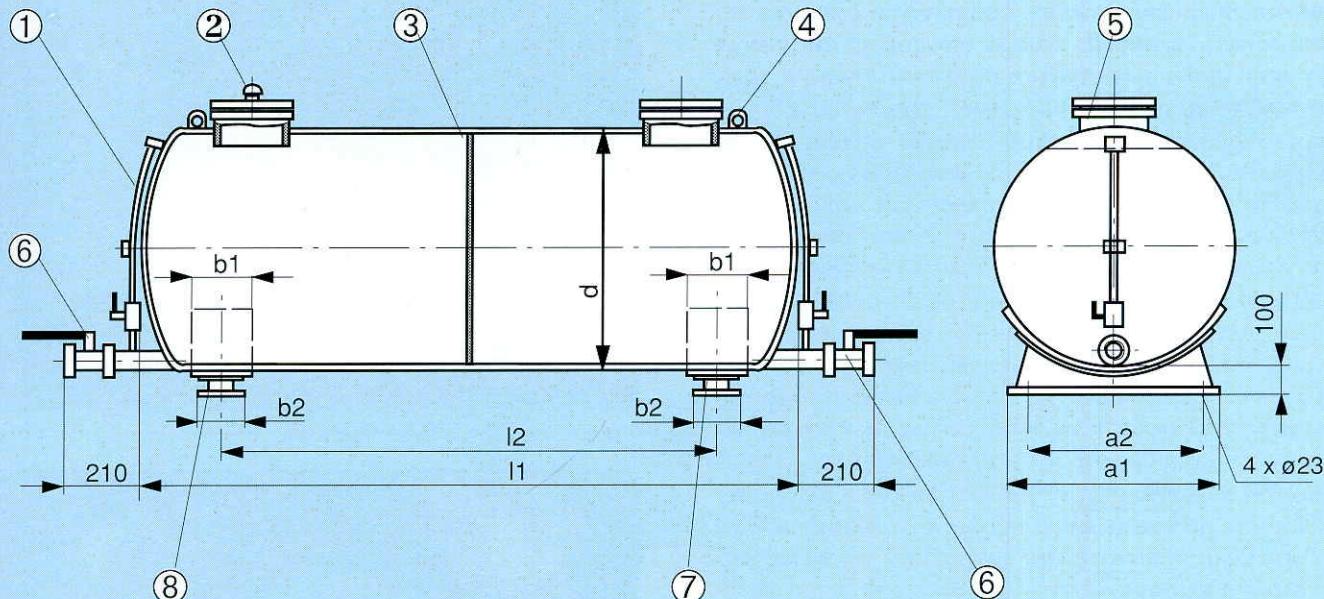


Рис. 107: Основные размеры круглых масляных баков из стали

ние между крепежными болтами следует выбирать таким образом, чтобы была обеспечена хорошая герметизация.

4.2 Узлы двигатель-насос

Узел двигатель-насос гидроагрегата преобразует электрическую энергию в гидравлическую. В специальной литературе встречаются также термины "приводной узел", "насосный агрегат", "блок двигатель-насос".

В зависимости от конструкции применяемого электродвигателя различают следующие типы узлов двигатель-насос: V1, B3, B5 или B3/B5.

В узлах типа V1, B5 или B3/B5 крутящий момент передается через опору насоса. Здесь имеет место наиболее короткий силовой поток для крутящего момента. Кроме того, корпусной шум гасится демпфирующими кольцами непосредственно позади насоса. Демпфирующее кольцо должно соответствовать конструкции насоса.

Применяемые элементы, такие как опора насоса с демпфирующим кольцом или без него, ножки опоры, муфты и монтажные плиты, имеют стандартное исполнение.

Узлы типа V1, B5 или B3/B5 предпочтительны, поскольку благодаря принудительной соосности насоса и вала двигателя предотвращается смещение муфты, и не требуется ее длительная регулировка. Производители муфт предусматривают их фиксацию в заданном положении с помощью небольшого винта в призматической шпонке. Этого достаточно, если приводная мощность агрегата не превышает 15 кВт. В более мощных двигателях полумуфты следует зафиксировать шайбой. Такой способ стопорения муфт всегда рекомендуется применительно к типу V1, по крайней мере, для верхней полумуфты.

Во время сборки следует проверять, правильно ли выдержано расстояние между полумуфтами.

В узле типа B3 двигатель и насос установлены на общей раме. Как правило, насос крепится к угольнику. Общая рама передает крутящие моменты и усилия, поэтому ее конструкция должна предотвращать взаимное перемещение электродвигателя и насоса под действием передаваемых усилий.

Для электродвигателей до типоразмера 180 достаточно простая рама из полосовой стали. Крепежный угольник к такой раме можно приваривать.

В электродвигателях типоразмеров 200 - 315 вышеописанная простая конструкция усиливается за счет дополнительного приваривания плоских или угловых профилей.



Рис. 108: Узел двигатель-насос

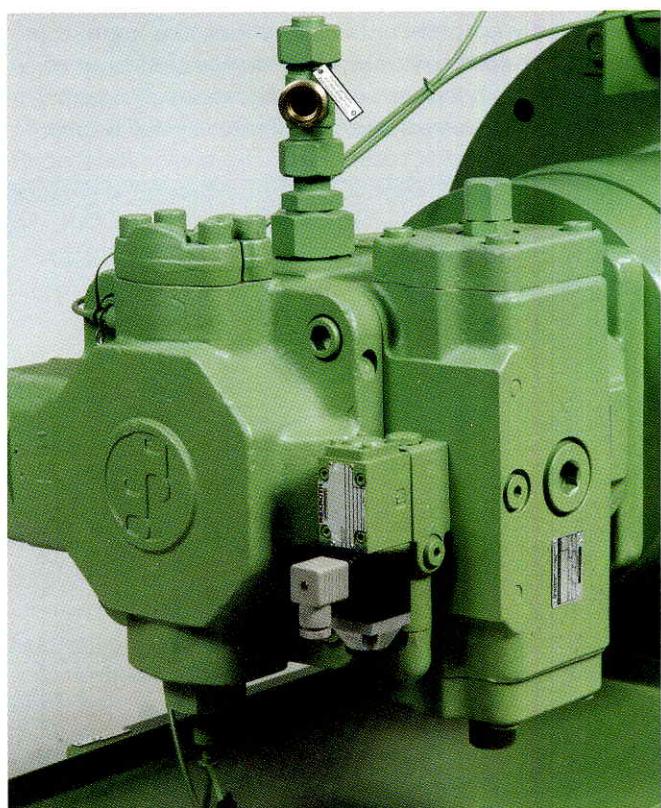


Рис. 109: Узел двигатель-насос

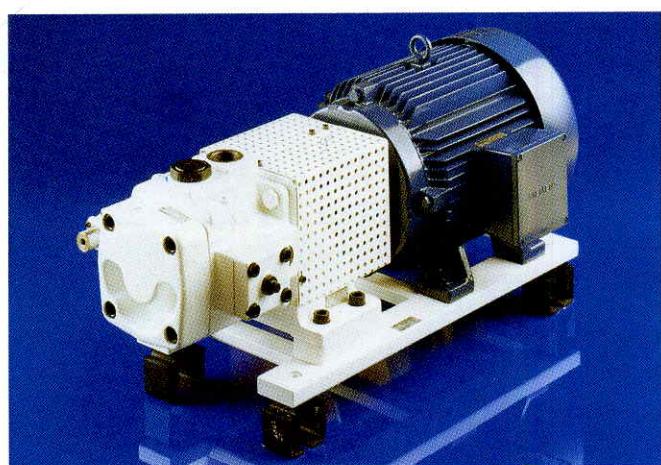


Рис. 110: Узел двигатель-насос

Двигатели типоразмера 355 и выше требуют применения стабильной опорной рамы, которая сваривается из полосовой стали и U-образных профилей. В данном случае опорные угольники целесообразно не приваривать, а крепить болтами.

Высота двигателя регулируется прокладками. Во избежание бокового перемещения на элементах из полосовой стали следует предусмотреть соответствующие планки, по крайней мере, начиная с типоразмера 200.

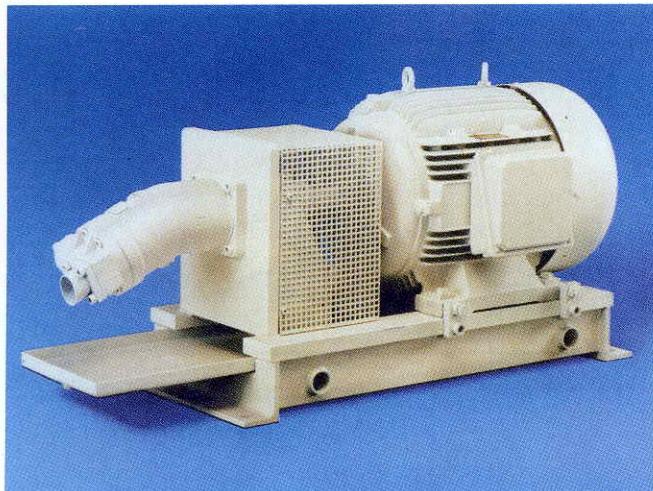


Рис. 111: Узел двигатель-насос

На узлах двигатель-насос часто устанавливают приборы, относящиеся к системе управления насосом, и/или ограничительные клапаны.

Применительно к узлам типа В5 и В3/В5 панель для монтажа соответствующих приборов может крепиться болтами для крепления двигателя.

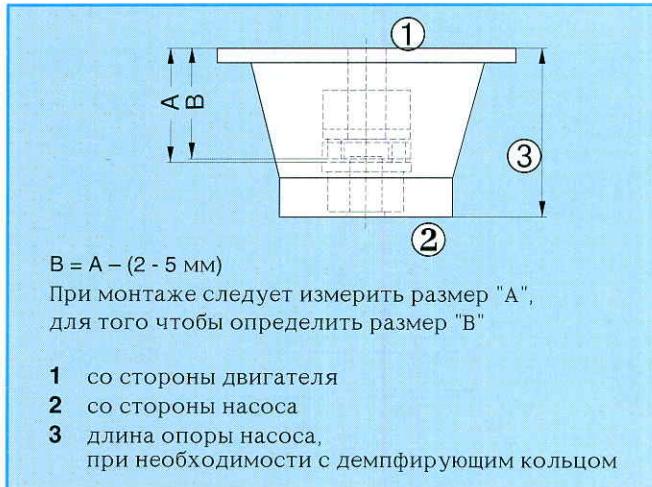


Рис. 112: Опора насоса

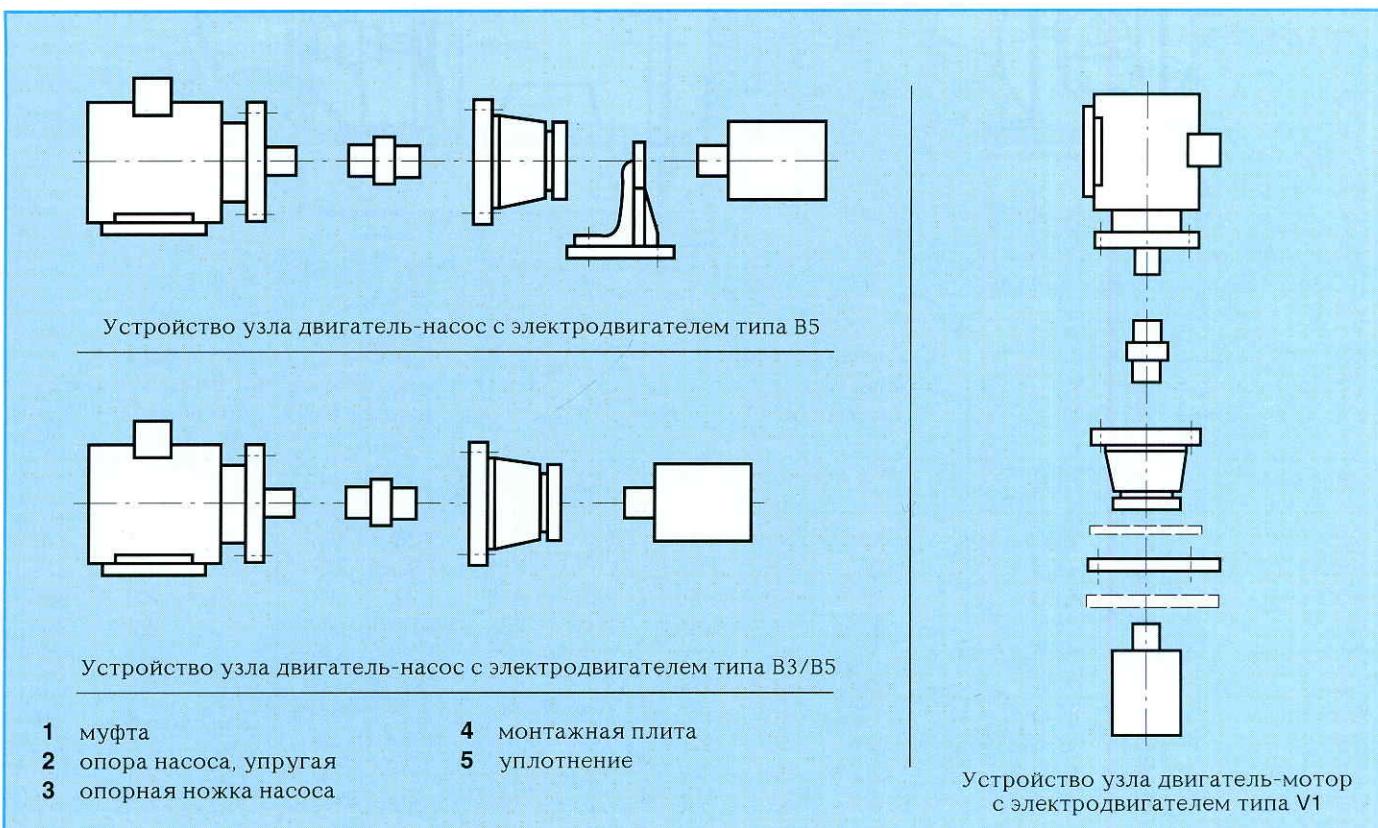
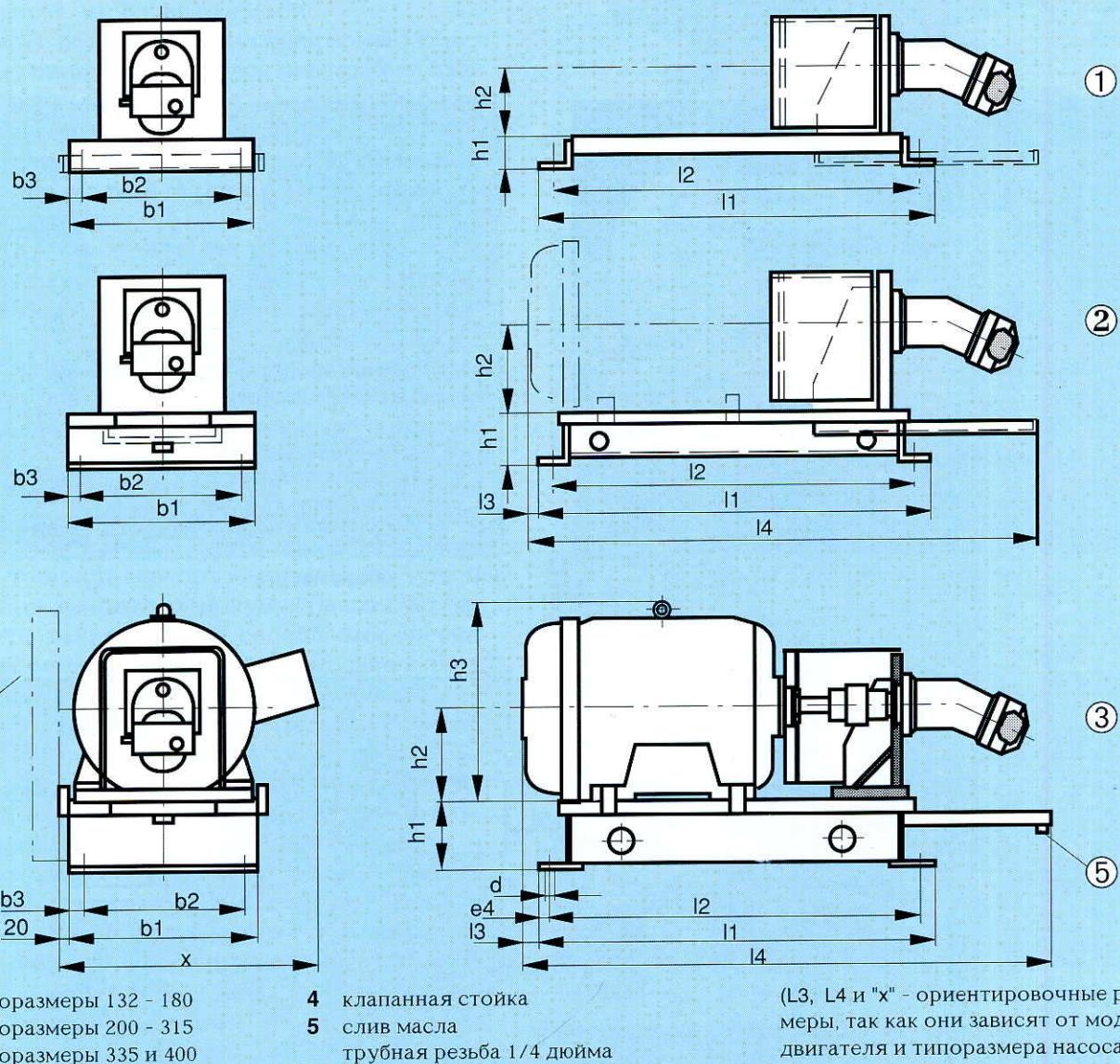


Рис. 113: Устройство узлов двигателей-насос

При использовании типа В3 клапанная стойка должна устанавливаться на раме.

Время от времени следует проверять, требуется ли компенсация относительного перемещения насоса и системы трубопроводов применения шлангов в напорных и всасывающих линиях и компенсаторов во всасывающей линии.

Для устранения корпусного шума целесообразно использовать шланги в напорной линии и линии отвода утечек.



Типоразмер	b1	b2	b3	d	e	h1	h2	h3	l1	l2	l3	l4	x
132S/132M	280	200	40	18	30	55	135	308	720	660	65	900	375
160M/160L	330	250	40	23	35	55	163	368	820	750	75	1050	450
180M/180L	370	290	40	23	35	55	183	418	870	800	75	1200	520
200L	410	330	40	23	35	150	203	463	920	850	80	1350	590
225S/225M	460	380	40	23	35	150	228	520	1020	950	80	1450	630
250M	520	440	40	23	45	190	253	584	1090	1000	100	1520	730
280S/280M	620	540	40	23	45	190	283	664	1240	1150	100	1650	810
315S/315M	650	570	40	23	40	220	318	700	1360	1280	90	1800	870
355S/355M	750	650	50	23	35	255	355	795	1450	1380	140	2000	950
400S/400M	860	760	50	26	50	325	400	895	1750	1650	160	2250	1120

Рис. 114: Основные размеры узла двигатель-насос с электродвигателем типа В3

4.3 Элементная рама

Приборы, блоки управления и клапаны гидравлической системы должны иметь надежное и стабильное крепление.

В гидросистемах металлообрабатывающих станков приборы, необходимые для осуществления функций управления, часто устанавливают на баке вместе с узлом двигатель-насос. Для того, чтобы ограничить шум, создаваемый агрегатами во время работы, поверхность звукоизлучения должна иметь минимальную площадь. Поэтому приборы системы управления рекомендуется устанавливать на блоке управления. Крепеж блока при этом следует предусмотреть непосредственно на баке, без монтажной стенки.

Часто из-за недостатка места выполнить это условие невозможно. Однако, чтобы, несмотря на это, обеспечить максимальное снижение уровня шума от излучающих поверхностей, была разработана так называемая элементная рама. В этом случае к стандартизированной раме из труб прямоугольного сечения приваривают стандартизованные элементы для крепления приборов.

Толщина трубы прямоугольного сечения зависит от размеров и веса устанавливаемых приборов:

- для крепления клапанов типоразмера 6 достаточную прочность гарантируют трубы размером 20 мм x 30 мм x 2 мм;
- для крепления клапанов типоразмеров 10 - 16 применяют трубы размером 30 мм x 6 мм x 3 мм;
- для крепления клапанов типоразмера 25 и более следует использовать трубу размером 60 мм x 60 мм x 4 мм.

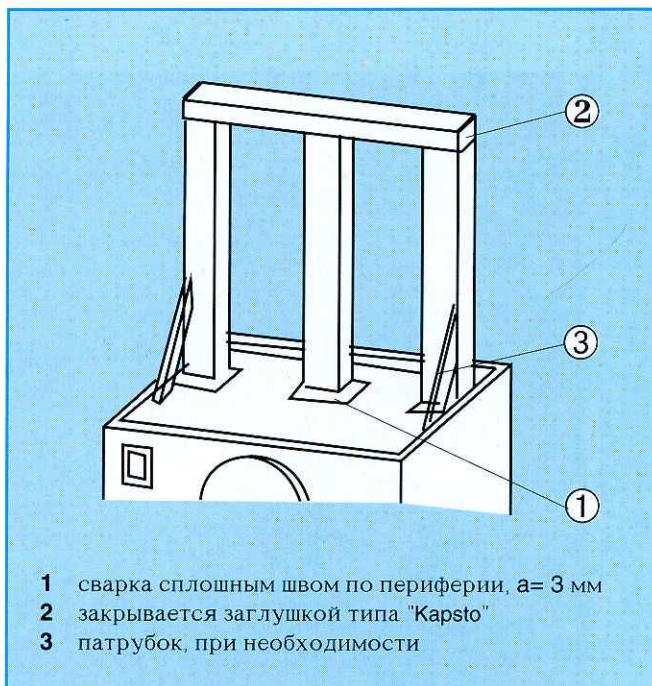


Рис. 116: Эскиз элементной рамы

В зависимости от веса целесообразно обеспечить крепление элементной рамы подкосами.

Для отвода корпусного шума с целью снижения звуковой эмиссии агрегата элементы могут крепиться к раме болтами. В этом случае между элементом и рамой могут быть установлены резинопробковые прокладки. Это относится также к креплению элементной рамы к баку.

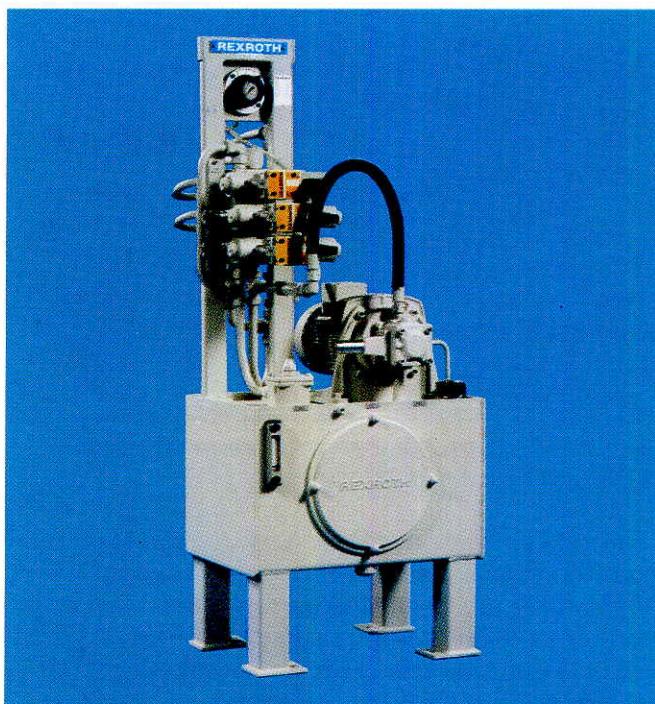


Рис. 115

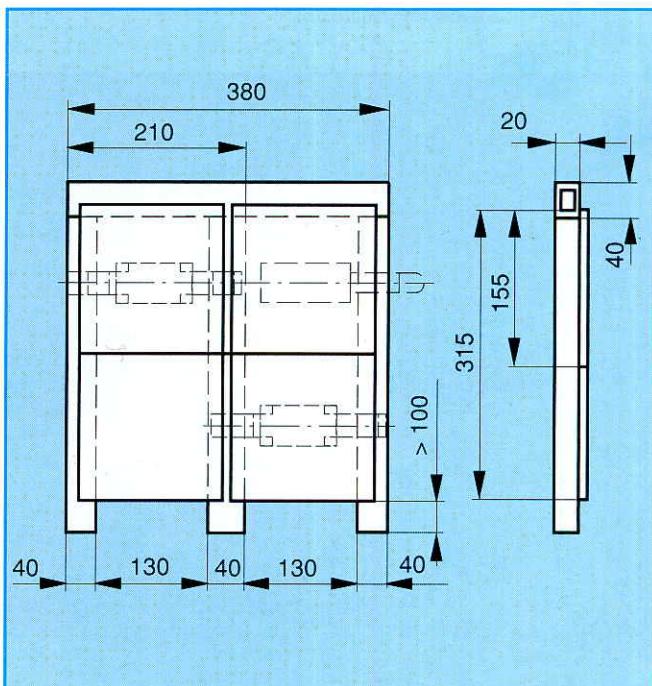


Рис. 117: Двухсекционная элементная рама для установки элементов типоразмера 6

При разработке конструкции гидроагрегатов с элементной рамой следует обращать особое внимание на обеспечение доступа к резьбовым соединениям. Поэтому элементы должны быть установлены позади рамы, так чтобы приборы находились между прямоугольными трубами. Однако это может затруднить доступ к регулирующим органам, поэтому положение элементов определяется в каждом конкретном случае.

Конструкция с использованием элементной рамы требует большей площади, чем применение передней панели. Если использование элементной рамы

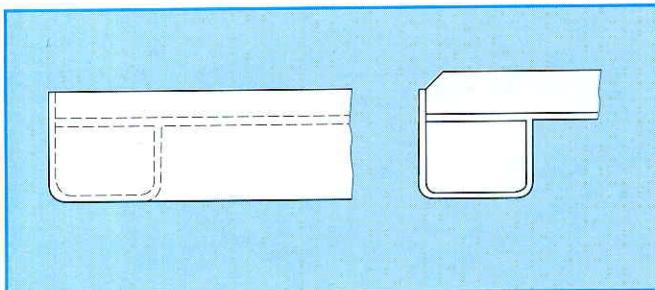


Рис. 118: С-образные профили и элементы жесткости на передних панелях

невозможно из-за недостатка места, приборы приходится устанавливать на передней панели.

Применительно к панелям, которые называют также монтажными стенками, разработаны заводские стандарты на отверстия, поэтому конструктору остается только выбрать длину и высоту панели, а также положение и направление отверстий.

Стандартизованы также несущие поперечины панели. Обычно используют гнутые С-образные профили, в которые вваривают панель.



Рис. 119

В зависимости от размеров панели и веса устанавливаемых приборов в монтажной стенке могут потребоваться элементы жесткости и опоры для соединения с баком.

В верхней части С-образного профиля целесообразно предусматривать отверстия для транспортировки панели.

4.4 Клапанные панели

В гидросистемах для крупных станков и сооружений баки, приводы и системы управления из-за больших размеров устанавливаются отдельно. Если баки и приборы, как правило, монтируются в специальных помещениях (часто подвальных), то система управления устанавливается как можно ближе к потребителям (гидродвигателю или гидроцилиндру). Во многих случаях система управления выполняется в виде клапанных панелей с соединительными трубами.

Размер клапанной панели зависит от конструкции и веса устанавливаемых приборов, поэтому стандартизированы могут быть только несущие элементы: опорные ножки, масляная ванна и поперечины.

Как и в передних панелях, здесь также в некоторых случаях требуются элементы жесткости и опоры.

В качестве средств транспортировки клапанных панелей используются трубы, ввариваемые в несущие поперечины, поскольку подъем снизу невозможен. При разработке конструкции расстояние между приборами, которые устанавливаются и соединяются трубами на клапанной панели, должно быть рассчитано таким образом, чтобы трубам можно было придавать U-образную форму.

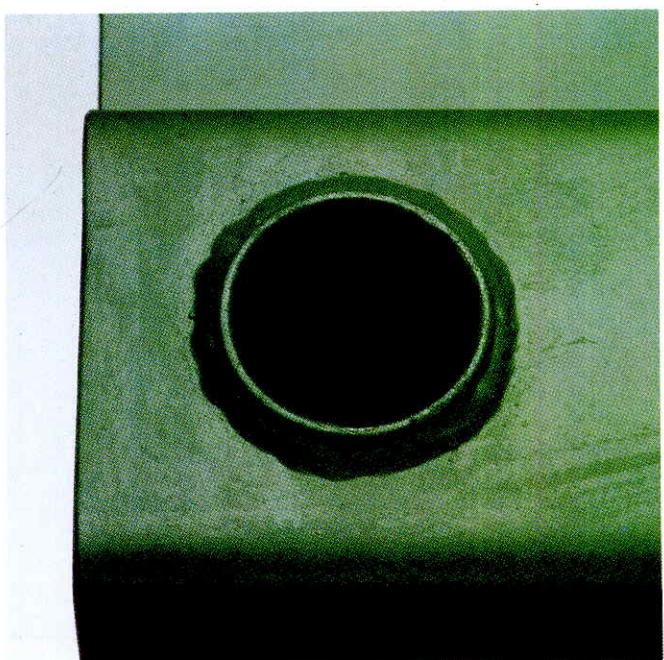


Рис. 120

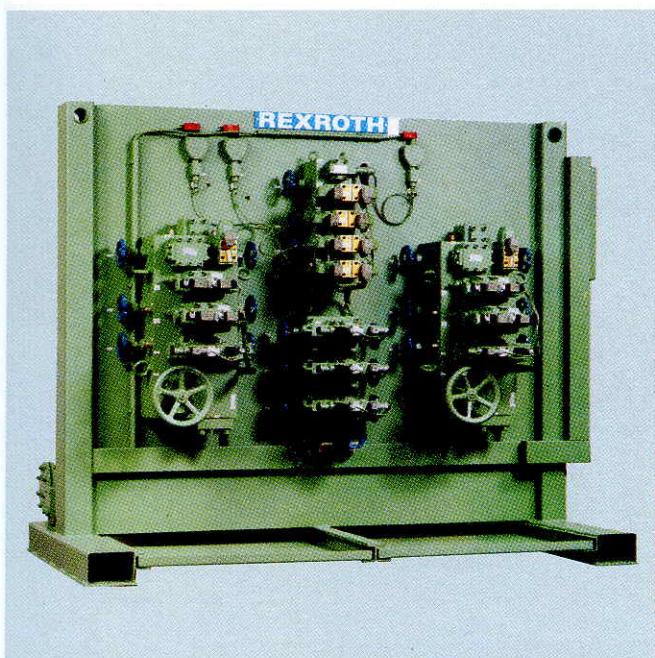


Рис. 121

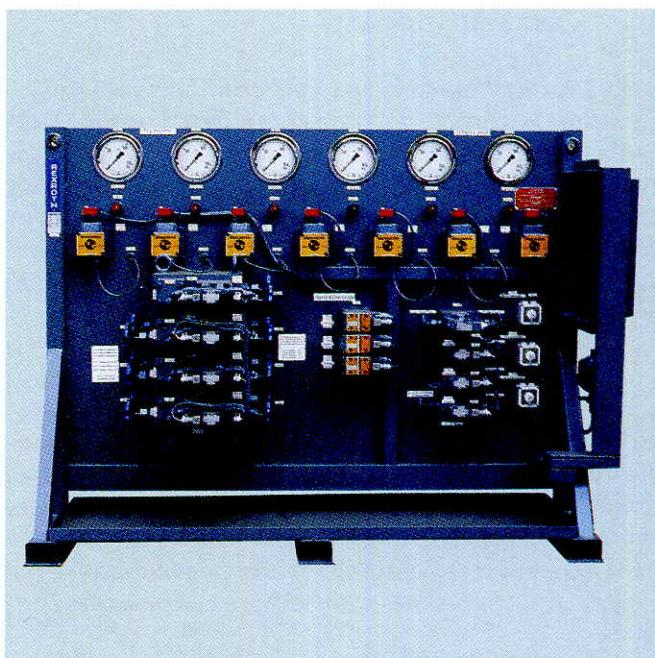


Рис. 122

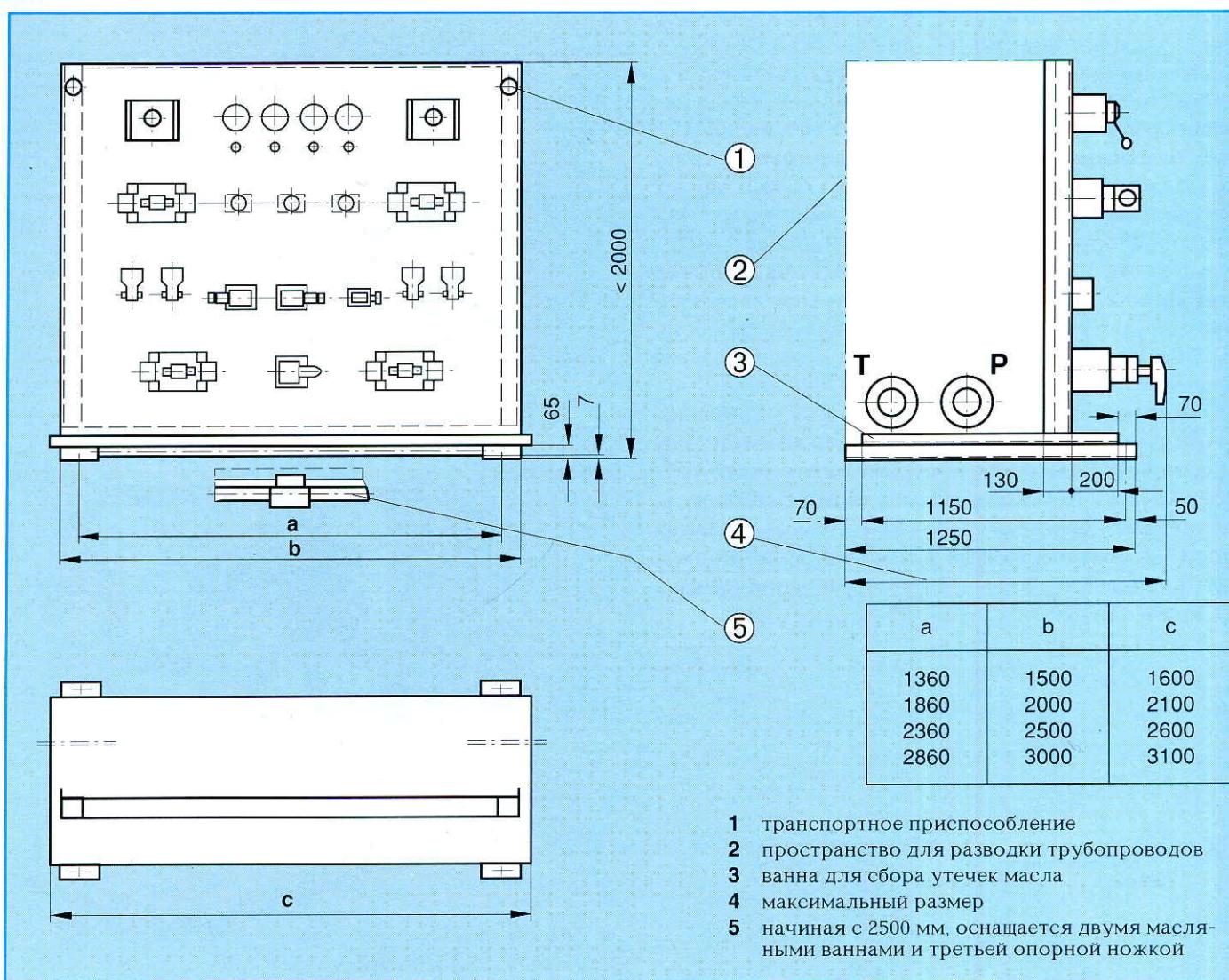


Рис. 123: Клапанная панель облегченного типа

4.5 Клапанные столы

На клапанных панелях элементы обычно установлены таким образом, что плоскость разделяющая клапан и плиту, расположена вертикально. Это затрудняет ремонтные работы. Поэтому часто используют клапанные столы, в которых большинство плоскостей, разделяющих клапан и плиту, могут быть расположены горизонтально. Это облегчает выполнение ремонта.

В зависимости от веса элементов клапанные столы могут выпускаться в усиленном или облегченном исполнении. В наиболее простой конструкции, рассчитанной на блоки управления с клапанами типоразмера 16, используют угловые профили как для опорных ножек, так и для горизонтальных несущих элементов. Плита стола может быть сплошной и иметь соответствующие отверстия или выполняется в виде полок между горизонтальными поперечинами.

Для крепления крупных блоков управления с клапанами типоразмеров больше 16 клапанные столы должны иметь более стабильную конструкцию. При этом прямоугольные трубы могут применяться как для опор, так и для горизонтальных опорных балок.

Клапанные панели часто проектируются вместе с разводкой трубопроводов. На клапанных столах целесообразно, чтобы разводка шла от блока управления, благодаря чему в столе прокладываются, только коллекторные трубы для насоса, бака и утечек масла, которые затем соединяются с общей системой трубопроводов на месте монтажа гидросистемы.

За счет того, что на клапанных панелях приборы расположены друг над другом, создается впечатление, что для их установки требуется меньше места, чем на клапанных столах, где приборы расположены в линию.

Во многих случаях клапанные столы устанавливаются вдоль стены в подвальном помещении, где монтируется гидросистема, благодаря чему трубопровод от блока управления можно проложить непосредственно по стене. При этом занимаемая площадь также не больше той, которая необходима для клапанных панелей, при обеспечении лучших условий для ремонта.



Рис. 124: Клапанный стол

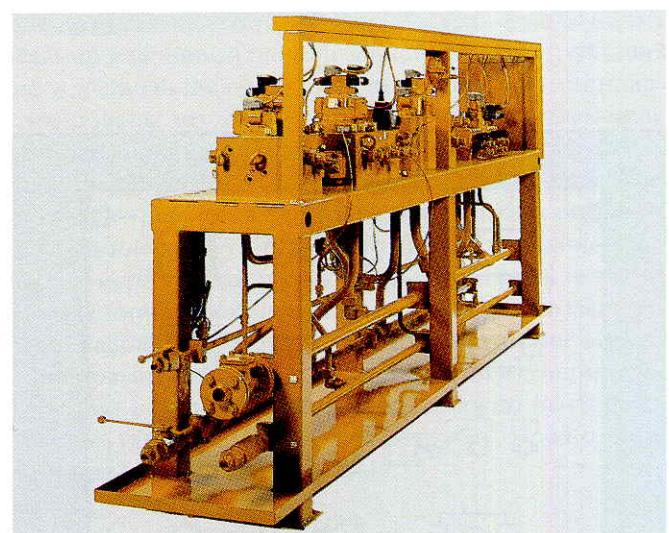


Рис. 125: Клапанный стол

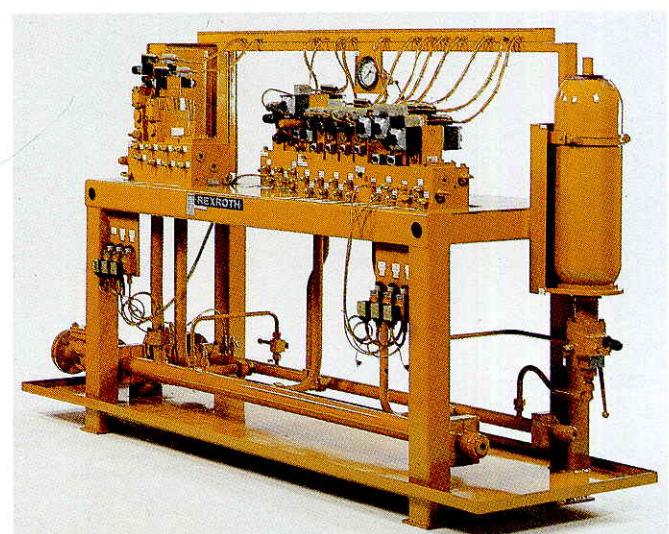


Рис. 126: Клапанный стол

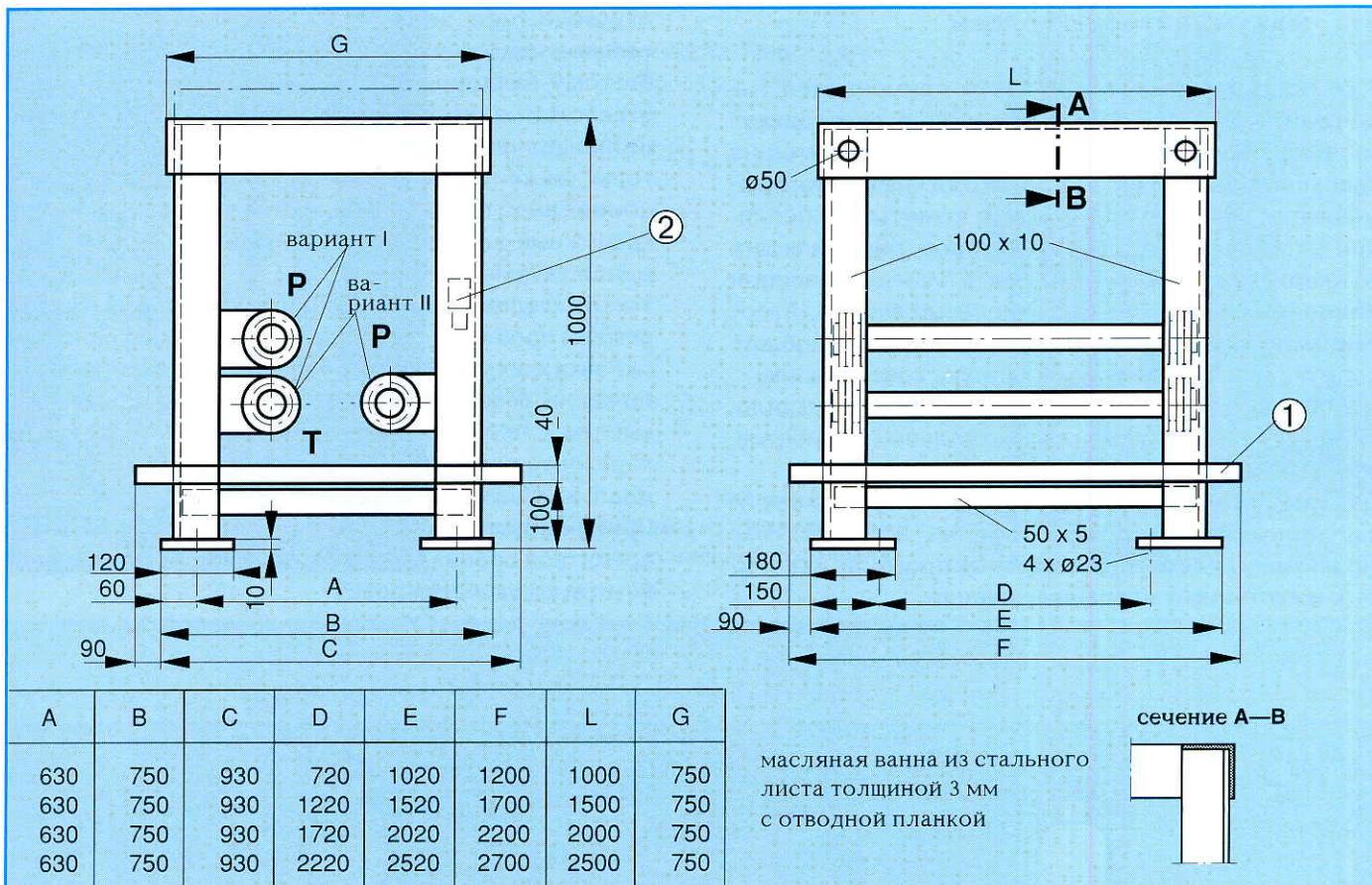


Рис. 127: Клапанный стол облегченного типа
для установки отдельных клапанов до типоразмера 22 и блоков управления до типоразмера 16

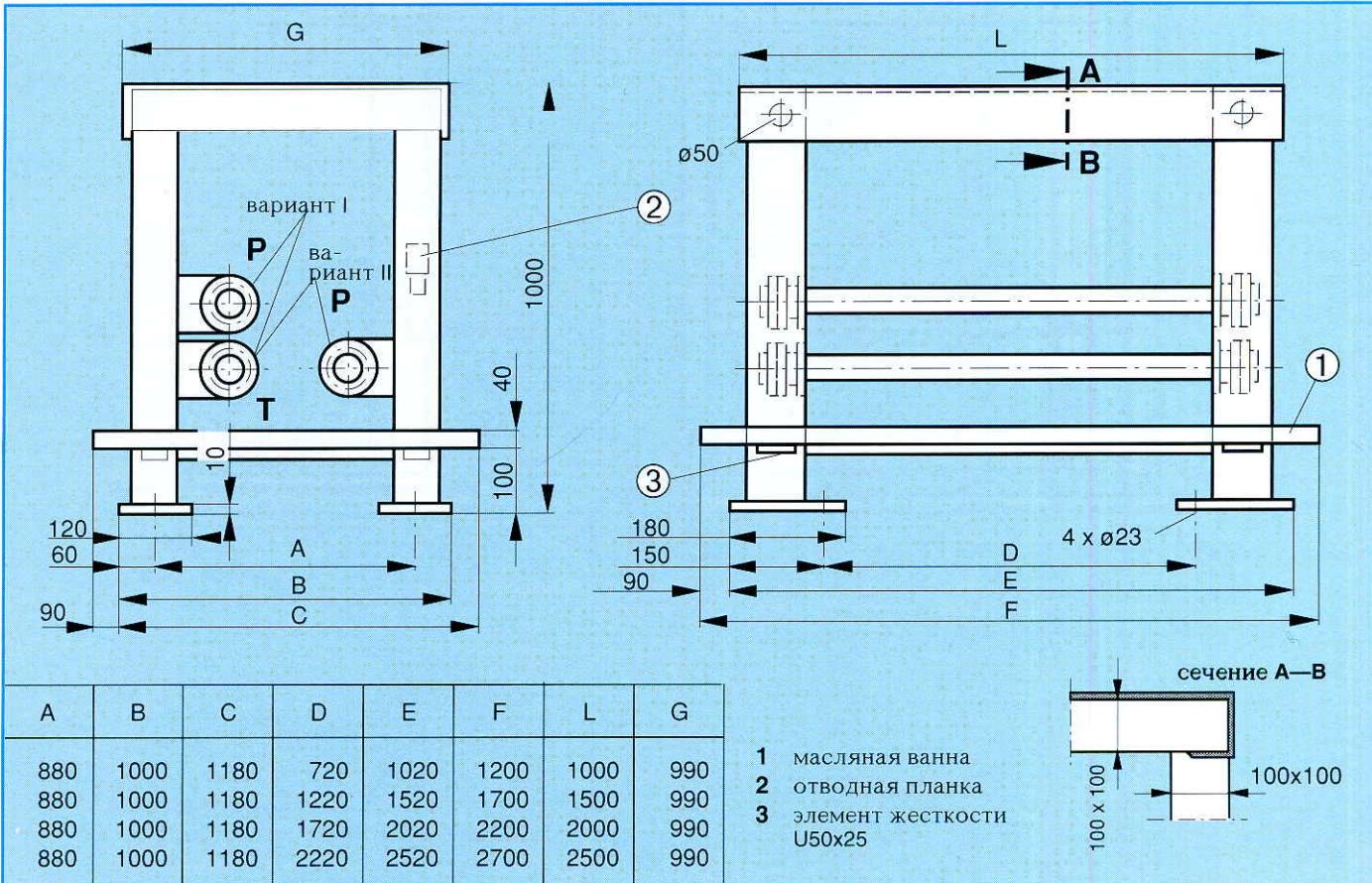


Рис. 128: Клапанный стол усиленного типа

4.6 Аккумуляторные блоки

В больших гидросистемах часто применяются гидроаккумуляторы. Если речь идет о энергоаккумуляторах в контуре управления, они крепятся на клапанных панелях или столах. Для крепления применяются стандартизованные хомуты и консоли. При установке гидроаккумуляторов, выполняющих функции энергоаккумуляторов, в главной насосной линии, их монтируют как отдельные аккумуляторные блоки. При этом различают однорядную (облегченную) и двухрядную (усиленную) конструкцию. Однорядное, облегченное исполнение, как правило, создается на базе профильных стальных элементов, соединяемых сваркой.

Двухрядное, усиленное исполнение предусматривает применение гнутых профилей. В этом случае можно использовать стандартные профили, из которых изготавливают клапанные панели.

Аккумуляторы должны устанавливаться в вертикальном положении независимо от конструкции. Поэтому баллонные аккумуляторы монтируются в отверстии горизонтальной стальной плиты на опоре из профилированной резины. Поршневые аккумуляторы также устанавливаются на горизонтально расположенной плите. Приваренные кольца или другие крепежные элементы предотвращают боковые смещения аккумуляторов.

Уже на стадии разработки конструкции должны быть решены проблемы транспортировки. Если транспортировка аккумуляторных блоков в вертикальном положении невозможна из-за их большой монтажной высоты, следует с самого начала предусмотреть их горизонтальную транспортировку с помощью специальных опор, крепящихся болтами.

При транспортировке гидроаккумуляторы должны крепиться специальными средствами и иметь соответствующую маркировку.

См. также раздел "Упаковка и транспортировка".

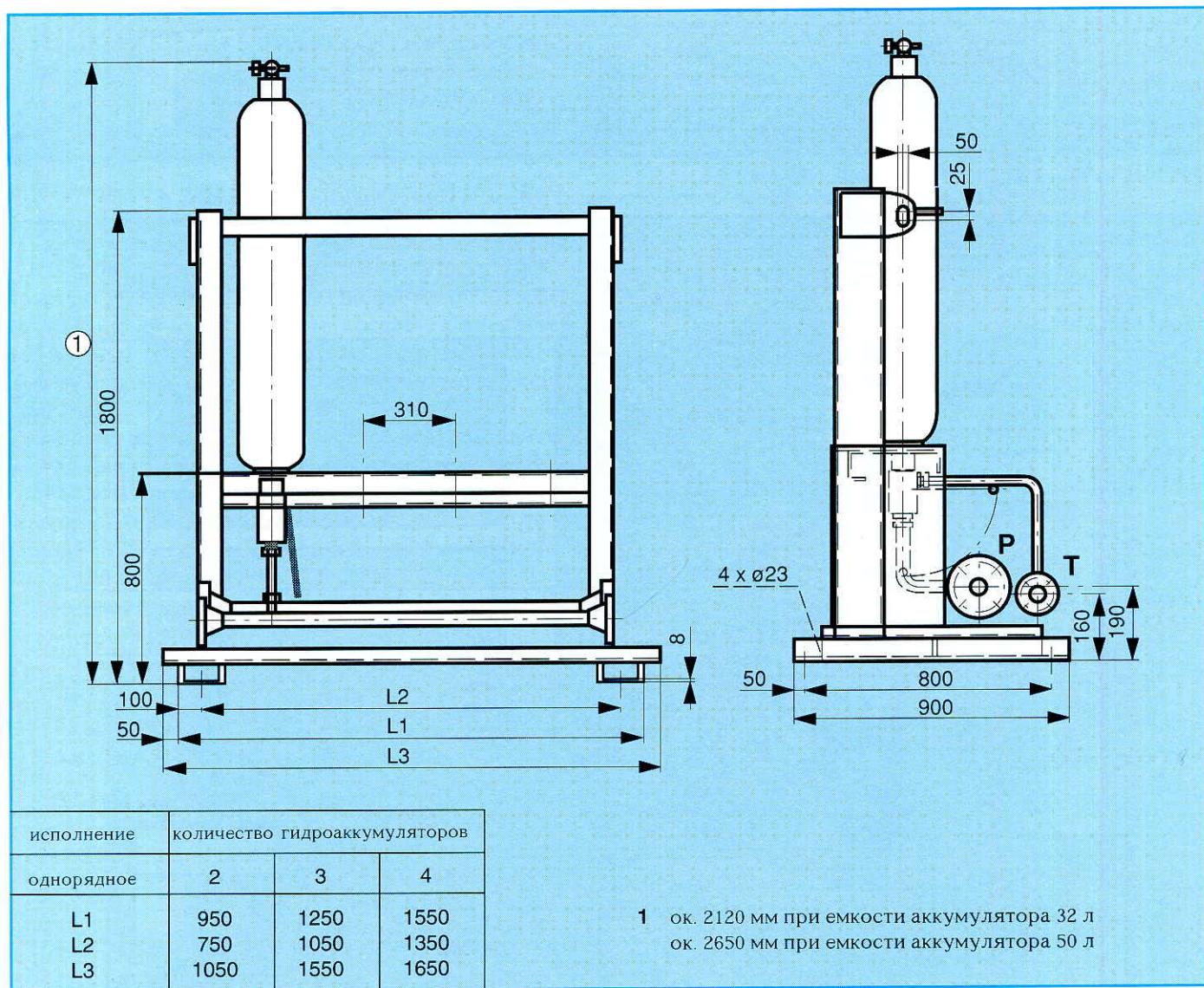


Рис. 129: Однорядный аккумуляторный блок

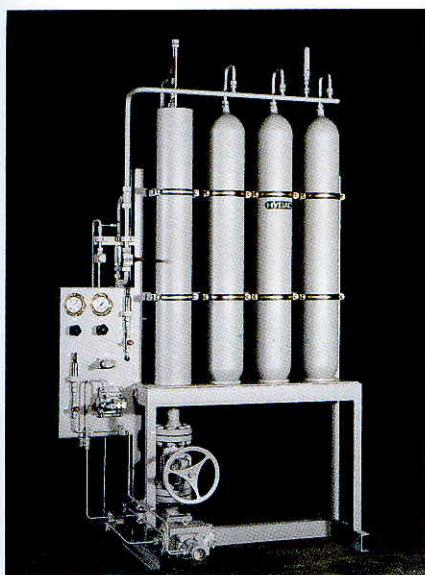


Рис. 130 (слева):
Однорядный аккумуляторный блок



Рис. 130 (справа):
Двуихрядный аккумуляторный блок,
усиленное исполнение

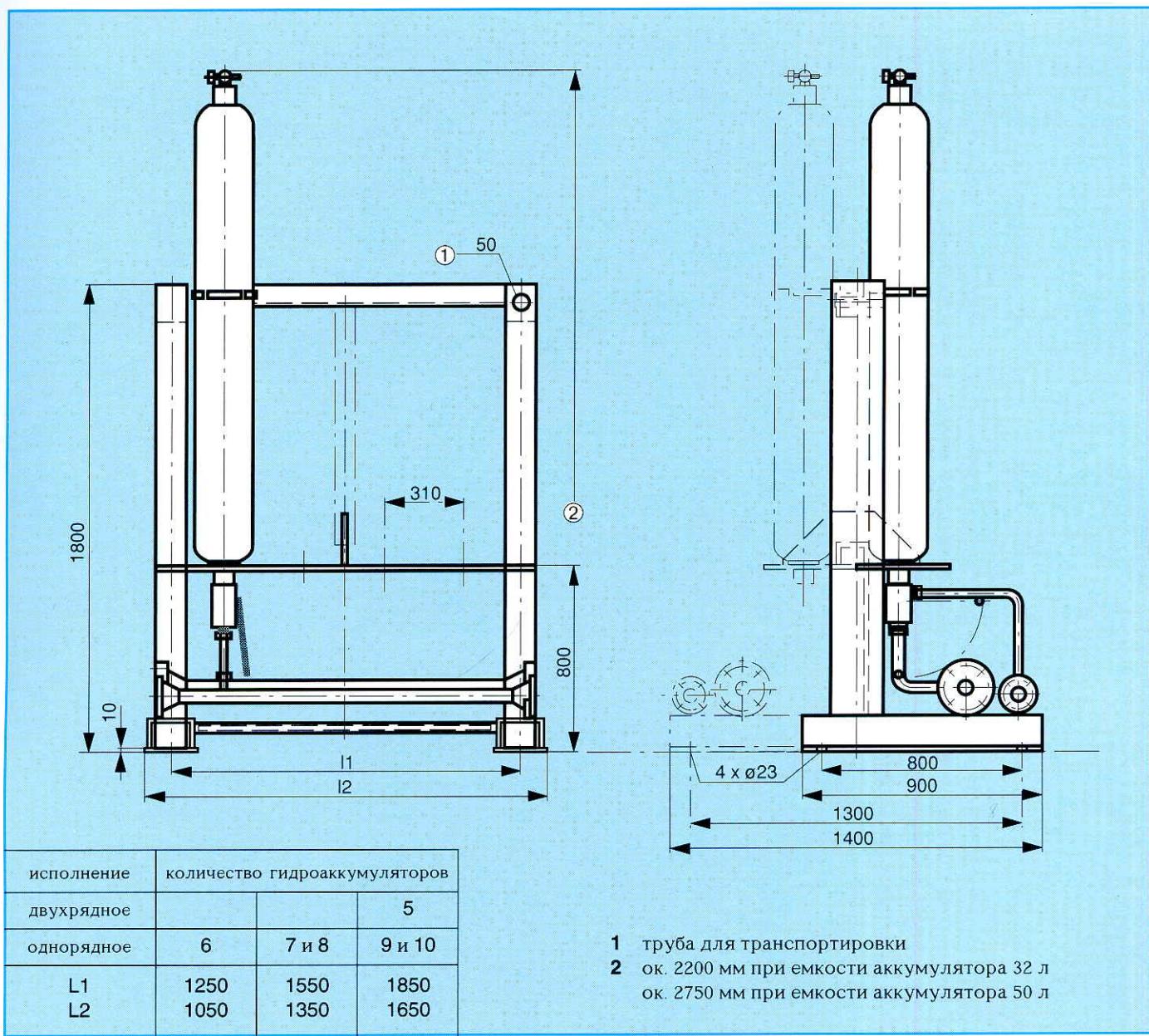


Рис. 132: Аккумуляторный блок усиленного исполнения, двухрядный

5. Литература

- [1] Ежегодник Немецкого общества сварки.
"Сварочная техника"
- [2] Д-р-инж. Мализиус
"Экономические аспекты практического
использования сварочной техники".
- [3] Рекомендация VDI 2221
Общества немецких инженеров.
"Методика разработки конструкции
технических систем и изделий".

Для заметок

Для заметок

Меры по снижению шумности

Д-р инж. Иоахим Морлок

1. Постановка задачи

Гидравлические приводы и устройства управления отличаются чрезвычайно высокой плотностью энергии и силы относительно объема и веса конструктивных элементов. Однако там, где в малом пространстве происходит интенсивный обмен мощностью, одновременно возникают и высокие уровни шума.

Во многих индустриальных государствах издаются предписания по защите от шума. Они устанавливают, что (средний) уровень шума на рабочем месте не должен превышать 90дБ(А), во многих случаях даже 85дБ(А). Предельные значения исходят из того обстоятельства, что при постоянном воздействии шумов на уровне, превышающем 90дБ(А), неизбежны повреждения слуха.

Основные из этих предписаний в Федеративной Республике Германии:

- предписание о рабочем месте, §15,
- предписание по технике безопасности, раздел "Шум".

Последнее предписание контролируется профессиональными объединениями. В нем подробно описаны предельные значения и - в случае их превышения - необходимые меры по защите работников.

Как правило, на каждом рабочем месте на слух работника одновременно действуют шумы нескольких станков и устройств, а также их отражения от стен, полов и потолков. По этой причине никого уже не удивляют требования по ограничению уровня шума на рабочем месте у одного станка до 80дБ(А).

Поэтому изготовители оборудования вынуждены все больше учитывать требования к своей продукции с точки зрения фактора шума и соответственно ее оптимизировать.

Недоразумения неизбежно возникают, когда значений, замеренных изготовителем в нормативных условиях - т.е. без учета влияния окружающей среды - не удается достичь у потребителя. Это объясняется особенностями среды на месте применения. В таких случаях часто не принимается во внимание необходимость дополнительных мер, позволяющих снизить уровень шума. Поэтому необходимо рассмотреть не только происхождение и воздействие шу-

мов и меры по их уменьшению, но также сбор и предварительную обработку измерительной информации о шумах и ее анализ.

2. Немного о физике и измерительной технике

Шум возникает, когда в упругой среде возбуждаются колебания. В зависимости от характера этой среды мы говорим о воздушном, корпусном или жидкостном шуме. В гидроагрегатах мы можем констатировать все три эти разновидности. Насосы и моторы вибрируют и передают эту вибрацию в виде корпусного шума в крепежные места. Объемные насосы создают пульсации давления, которые поддаются измерению по всему контуру в виде жидкостного шума и генерируют механические колебания в любом месте контура. Воздушный шум возникает повсюду, где элемент конструкции, возбужденный корпусным или жидкостным шумом, передает свои колебания граничащей с ним воздушной массе.

2.1 Воздушный шум

Число колебаний в секунду, т.е. частоту, мы измеряем в герцах. Она определяет высоту звука. Человеческое ухо воспринимает звуки в диапазоне 16Гц - 20000 Гц, причем верхняя граница слышимой частоты с возрастом понижается. Здоровый двадцатилетний человек должен услышать частоту 17000Гц, у пенсионера граница звукового восприятия часто составляет 10000 Гц.

Кроме различий в высоте звука, наш слух воспринимает также различия в громкости, которые определяются звуковым давлением. Это - переменное давление атмосферного воздуха. Звуковое давление $P_{\text{eff}} = 1 \text{ мкбар}$ (действующее значение) примерно соответствует нормальной громкости разговора, т.е. одной миллионной части атмосферного давления.

Чувствительность уха, нашего "измерительного прибора" - поразительна. Оно различает изменения давления порядка нескольких 10^{-10} бар. Еще одно его достоинство - очень широкий динамический диапазон.

При частоте 1кГц предел слышимости составляет 0,0002мкбар. "Измерительный диапазон", не перегружающий ухо, достигает почти 200мкбар (боловой порог лежит в области 300 мкбар).

Таким образом, динамический диапазон человеческого уха имеет коэффициент 1 : 1000000.

Чтобы охватить этот чрезвычайно широкий диапазон и в то же время достичь высокой "разрешающей способности" при низких звуковых давлениях, наш слух воспринимает звуки согласно логарифмическому закону, который соответствует энергии (мощности) звуковой информации. Таким образом, увеличение звуковой энергии (звуковой мощности) в десять раз воспринимается как увеличение силы звука примерно вдвое.

2.2 Звуковая энергия, звуковая мощность

Приведенные выше разъяснения показывают, что звуковая мощность может быть использована для характеристики шума. Диапазон звуковых мощностей источников звука, излученных в воздух, распространяется на многие порядки величин. Звуковая мощность человеческой речи может исчисляться в микро- и милливаттах. Лишь реактивный самолет создает звуковые мощности, измеряемые киловаттами - см. таблицу 37.

Таким образом, акустические мощности P_{ac} станков в целом очень незначительны.

Звуковая мощность P в Вт	Уровень звуковой мощности L_w в дБ (10^{-12} Вт)	Источник шума
40000000	195	Ракета "Сатурн"
100000	170	Реактивный двигатель
10000	160	Турбореакт. двигатель
1000	150	Четырехмоторн. самол.
100	140	Болевой порог
10	130	Большой оркестр
1	120	Автомобильный сигнал
0,1	110	Громкое радио
0,01	100	Легковой автомобиль на автостраде
0,001	90	Шум метро (в вагоне)
0,0001	80	Громкий разговор
0,00001	70	Нормальный разговор
0,000001	60	Канцелярия
0,0000001	50	Тихий разговор
0,00000001	40	Шепот
0,000000001	30	Шелест листвьев

Таблица 37: Взаимосвязь между звуковой мощностью и уровнем звуковой мощности

Существует следующая очень важная взаимозависимость:

$$P_{ac} \sim p_{eff}^2 \cdot S$$

где S - площадь воображаемой оболочки вокруг станка, а p_{eff} - звуковое давление, замеренное в отдельных точках этой оболочки, а затем усредненное (действующее значение).

Рис. 133 наглядно показывает, что величина звукового давления (или уровень звукового давления), регистрируемая измерительными приборами, зависит от места измерения. Если звуковое давление (уровень звукового давления)дается без указания на расстояние от источника звука, то этот показатель ни о чем не говорит.

Зато звуковая мощность объекта не зависит от расстояния до источника звука. С увеличением дистанции изменяется лишь распределение энергии. В этом случае мы говорим об уменьшении интенсивности звука (звуковой мощности на единицу площади).

Итак, звуковую мощность объекта можно однозначно определять путем создания мысленной огибающей поверхности вокруг источника звука и измерения звукового давления (уровня звукового давления) в нескольких местах этой поверхности. При выборе формы огибающей поверхности и ее удаления от источника звука следует учитывать два условия:

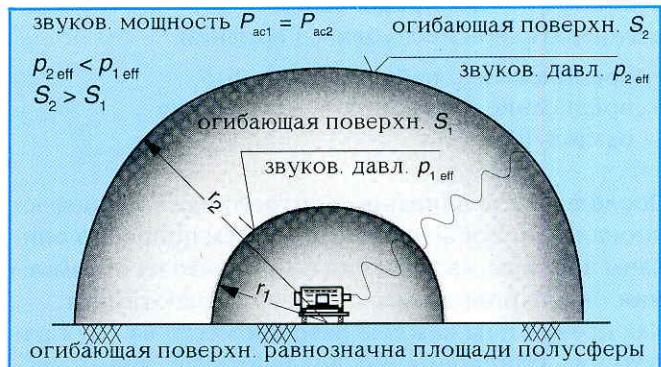


Рис. 133: Взаимосвязь между звуковым давлением, измеряемой поверхн. и звуковой мощностью

- Необходимо выдерживать минимальное расстояние от источника звука, для этого часто бывает достаточно $d = 1$ м.
- Все звуковые волны, исходящие из источника звука, должны иметь возможность проникать сквозь огибающую поверхность (желательно под прямым углом). Лишь в этом случае переданная мощность полностью поддается учету.

В стандартах ФРГ в качестве огибающей поверхности часто (в том числе и для гидроагрегатов) применяется прямоугольный параллелепипед. Точки измерения располагаются, в числе прочего, в углах, в соответствующих центрах боковых поверхностей и верхней поверхности.

Звуконепроницаемая базовая поверхность во внимание не принимается (звуковые волны отражаются от нее и выходят через боковые поверхности). Заданное расстояние от внешних контуров станка часто составляет $d = 1$ м.

2.3 Определение уровня звуковой мощности и уровня звукового давления

Как показывает табл. 37, в практической деятельности нецелесообразно применять ватт в качестве абсолютной меры звуковой мощности из-за слишком большого диапазона его числовых значений. Кроме того, как уже было сказано, чувствительность нашего уха к громкости находится не в линейной, а в логарифмической зависимости от звуковой мощности и звукового давления. По этим причинам была введена логарифмическая система отсчета, когда существующую звуковую мощность P_{ac} соотносят с заданным базовым значением P_{ac0} . Это отношение логарифмируется. Возникает уровень с обозначением L (от английского level - уровень). Таким образом, уровень - логарифмированное отношение двух энергетических величин:

$$L_w = \lg(P_{ac}/P_{ac0}) \text{ в белах (Б)}$$

Упоминание о белах дает понять, что здесь был применен десятичный логарифм. Однако бел здесь не является единицей в законном смысле.

И наконец, чтобы получить более удобные в обращении числовые значения, мы переходим к еще меньшей единице - децибелу (дБ).

$$\text{Уровень звуковой мощности } L_w = 10 \lg \frac{P_{ac}}{P_{ac0}}, \text{ дБ}$$

Если подставить зависимость

$$P_{ac0} \sim p_0^2 \cdot S_0 \text{ и } P_{ac} \sim p^2 \cdot S$$

получим следующую зависимость:

$$L_w = 10 \lg \frac{p^2}{p_0^2} + 10 \lg \frac{S}{S_0}, \text{ дБ}$$

The diagram shows the equation $L_w = 10 \lg \frac{p^2}{p_0^2} + 10 \lg \frac{S}{S_0}$ with two brackets underneath. The first bracket groups $10 \lg \frac{p^2}{p_0^2}$ and is labeled "Уровень звуко-вого давления L_p ". The second bracket groups $10 \lg \frac{S}{S_0}$ and is labeled "Мера измеряемой поверхности L_s ".

Таким образом, уровень звуковой мощности L_w складывается из двух величин уровня звукового давления L_p и меры измеряемой поверхности L_s . Уровень звукового давления L_p считывается с измерительных приборов прямо в дБ. В качестве опорного или базового значения P_0 был избран порог слышимости для человеческого уха $P_{0\ eff} = 2 \cdot 10^{-4}$ мкбар мы получаем уровень звукового давления $L_p = 0$ дБ, исходную точку шкалы. Измерительные приборы замеряют фактическое звуковое давление и сами производят пересчет на децибели в соответствии с отношениями, приведенными выше.

Уровень звукового давления указывается в дБ.

Мера измеряемой поверхности L_s вычисляется исходя из избранной огибающей поверхности (напр., площади прямоугольного параллелепипеда в м^2) и базовой площади $S_0 = 1 \text{ м}^2$.

2.4 Устреднение величины уровня

Для определения уровня звуковой мощности на огибающей (или контрольной) поверхности избирают различные точки измерения уровня звукового давления. По результатам измерений для определения уровня звуковой мощности вычисляют среднее значение, так называемый уровень звукового давления измеряемой поверхности. Если разница между максимальным и минимальным значением меньше трех дБ, допускается арифметическое усреднение. В остальных случаях для усреднения используется следующее уравнение (где n = число точек измерения):

$$\bar{L}_p = 10 \lg \left[\frac{1}{n} (10^{0.1 \cdot L_{p1}} + 10^{0.1 \cdot L_{p2}} + \dots + 10^{0.1 \cdot L_{pn}}) \right]$$

В этом случае для уровня звуковой мощности действительно уравнение

$$L_w = \bar{L}_p + L_s, \text{ дБ}$$

2.5 Оценка с учетом особенностей человеческого слуха

Еще одна трудность при измерении акустических эмиссий - это свойство нашего слуха по-разному воспринимать звуки разной частоты: они могут казаться нам несоответственно громкими или даже неприятными.

Особенно чувствительны мы к звукам в диапазоне 500 - 5000 Гц. Например, свистящий звук частотой 3000 Гц по своей звуковой мощности может быть в 100 раз слабее гудящего звука частотой 20 Гц, но будет восприниматься нами, как не менее громкий.

Чтобы учесть эту особенность в измерительном приборе, физически точно замеренный уровень корректируется или оценивается в зависимости от частоты с помощью оценочной схемы с нормированными значениями.

Существуют различные методы или графики оценки. Чаще всего используют кривую по шкале А. В этом случае при включении оценочной системы индикатор измерительного прибора показывает уровень звукового давления с учетом особенностей человеческого восприятия в дБ(А).

Так как наше ухо особенно "чувствительно" в диапазоне частот 500 - 5000 Гц, часто бывает важным знать, где в этом частотном диапазоне возникают пиковье уровни. Тогда эти уровни можно целенаправленно подавлять - напр., с помощью шумоглушителей.

Для этого "частотного анализа" применяются электронные фильтрующие схемы. Мало информации предоставляют октавные фильтры, третьоктавные фильтры в этом отношении уже лучше. Наилучшие результаты обеспечивает узкополосный анализ.

2.6 Стандарты и методика измерений

Для определения эмиссии (звукового излучения) станков и агрегатов разработана обширная система стандартов.

Основу составляет DIN (промышленный стандарт ФРГ) 45635, часть 1; в этой инструкции по проведению измерений определяются самые общие условия измерения эмиссии.

В отдельных стандартах, напр., DIN 45635, часть 26, для гидронасосов, и DIN 45635, часть 41, для гидроагрегатов, установлены детальные предписания об огибающих поверхностях, точках измерения и условиях эксплуатации.

Характерная особенность этих измерений заключается в том, что определению подлежат только акустические эмиссии машины. Влияние окружающей среды, например, ответная пространственная реакция, должны быть исключены.

Методика

Гидроагрегат устанавливают в месте с низким исходным уровнем и незначительной или хорошо известной ответной пространственной реакцией (порядок действий описан в DIN 45635, часть 1).

В качестве огибающей поверхности предписан прямоугольный параллелепипед, построенный вокруг агрегата на расстоянии 1 м от его внешнего контура. В качестве точек измерения названы: угловые точки параллелепипеда, средние точки боковых сторон и верхней поверхности - см. рис. 134.

В этих точках при заданных эксплуатационных условиях уровни звукового давления оценивают по шкале А и измеряют в дБ(А). Затем данные усредняют согласно разделу 2.4.

В случае необходимости вычисляют ответную пространственную реакцию путем коррекции усредненного значения.

Уровень звуковой мощности определяют с привлечением меры измеряемой поверхности L_s , вычисленной исходя из огибающей поверхности - см. раздел 2.3.

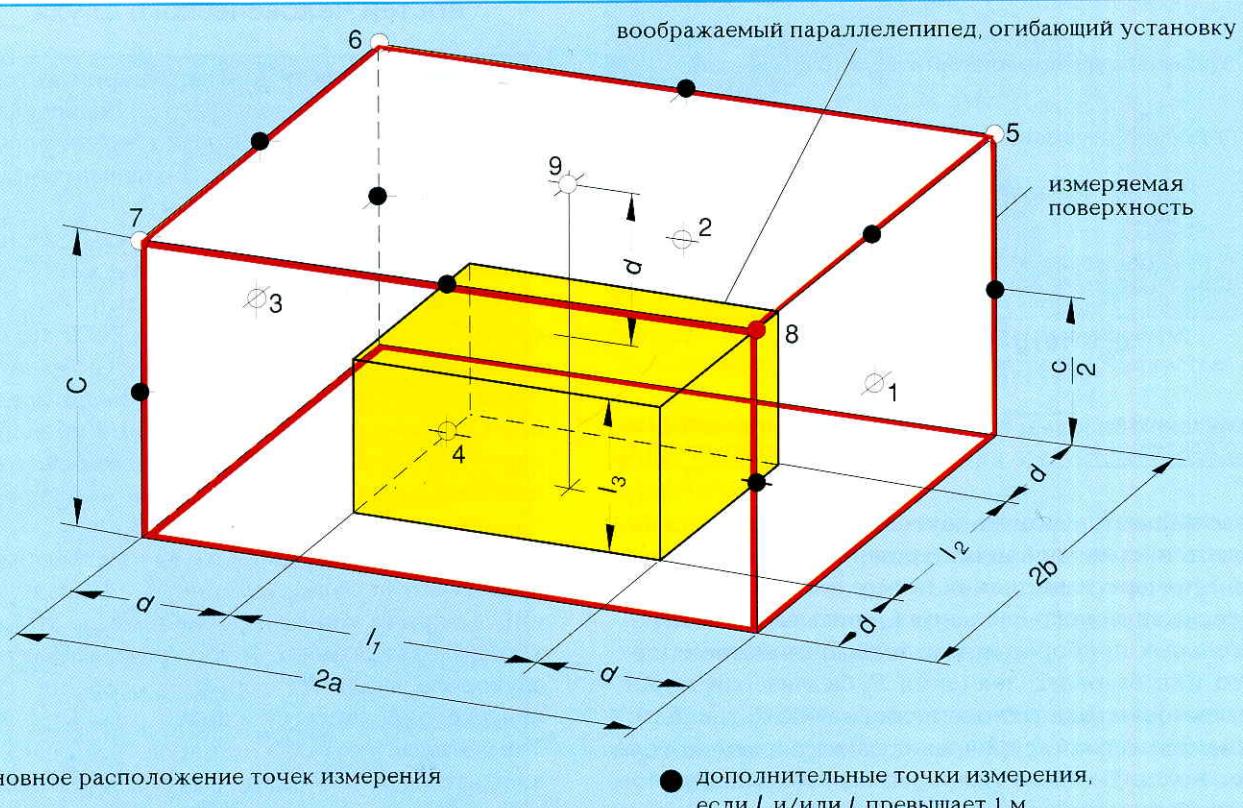


Рис. 134: Измеряемая поверхность и расположение точек измерения согласно DIN 45635, часть 41

2.7 Эмиссия и иммиссия

Эмиссия:	излучение звуковых волн источником шума
Иммиссия:	воздействие различных источников шума на определенное место (напр., на рабочее место оператора)

До сих пор речь шла о показателях и методах, применяемых при измерениях эмиссии. Этим было дано четкое основание для измерений на базе DIN 45635 "Измерение шумности станков" и информации об уровне звуковой мощности.

Определение этих показателей в соответствии с предписаниями стандартов - задача изготовителя станков. Он может улучшать эти показатели с помощью плановых и конструктивных мер. Еще одно преимущество заключается в том, что эти данные можно сопоставлять с показателями других изготовителей, полученными в таких же условиях.

Совсем другая ситуация складывается у потребителей станков.

Предполагаемое иммиссионное значение на месте обслуживания станка складывается под влиянием нескольких факторов:

- а) эмиссии обслуживаемого станка;
- б) ответных пространственных реакций, таких как отражения от полов, стен, потолков;
- в) акустических эмиссий соседних установок;
- г) фоновых шумов на месте установки.

Факторы б) – г) известны изготовителю отдельной конкретной установки лишь в редчайших случаях. Поэтому требования в договорах о поставке относительно выдерживания "уровней шума", которые не были заранее уточнены, иногда приводят к недоразумениям и последующим рекламациям.

Чаще всего это происходит потому, что влияние окружающей среды на месте окончательной установки (напр., ответные пространственные реакции) превышает значение, замеренное изготовителем в условиях предусмотренных стандартом. Многократные отражения от ближайших стен и потолков вместе с отражениями от соседних машин могут привести к повышению уровня на 5 - 10 дБ(А).

В основном это происходит при установке в небольших помещениях, вдоль стен или при плотном расположении станков.

Для определения ответной пространственной реакции можно прибегнуть к расчетам на основе опытных значений (DIN 45635, часть 1) или к точным способам измерений, напр., с использованием сопоставимых источников шума.

В принципе любое соглашение о допустимом уровне шума должно базироваться на стандарте DIN 45635.

Изготовителям следует испытывать свои станки согласно стандарту.

Если соглашение отклоняется от нормативных условий, потребитель обязан предоставить очень подробные и, главное, очень точные данные об условиях окружающей среды (прежде всего, об ответной пространственной реакции).

2.8 Оценка уровня шума

Часто в одном месте измерения одновременно оказывается влияние нескольких источников шума. В этом случае при расчете иммиссии в данном месте действует правило:

При наложении звуковых полей нескольких источников звука звуковые мощности суммируются.

Выполняя это сложение, после различных преобразований и перестановок получаем следующую зависимость:

$$L_{\Sigma} = 10 \lg (10^{0.1 \cdot L_1} + 10^{0.1 \cdot L_2} + \dots + 10^{0.1 \cdot L_i}), \text{дБ} \quad (1)$$

где

L_{Σ} = общий уровень,

$L_1 \dots L_i$ = уровень единичного источника (шума).

При этом неважно, что вычисляется как сумма: уровень звукового давления - из отдельных значений L_p или уровень звуковой мощности - из отдельных значений L_w .

В том случае, если несколько источников звука создаются в одном месте измерения одинаковые звуковые давления или одинаковый уровень звукового давления L_p , мы получаем простое уравнение:

$$L_{p\Sigma} = 10 \lg (k \cdot 10^{0.1 \cdot L_p}) = L_p + 10 \lg k \quad (2)$$

где k - число источников звука

Экстремальный пример:

Если каждый из двух источников звука создает в определенном месте измерения уровень звукового давления $L_p = 0$ дБ, то, согласно уравнению (2), получаем:

$$L_{p\Sigma} = 0 \text{ дБ} + 10 \lg 2 = 3 \text{ дБ}$$

Это единственный случай, когда можно записать $0 + 0 = 3$!

Следует напомнить, что здесь суммируются звуковые мощности!

При 0 дБ существует звуковая мощность однако она так незначительна, что обычное человеческое ухо неспособно ее воспринимать.

Таблица 38 показывает, что происходит при увеличении числа источников шума, создающих один и тот же уровень шума.

И наоборот, с помощью таблицы нетрудно определить, сколько нужно удалить источников шума, чтобы добиться определенного уровня.

число источников k	повышения уровня ΔL , дБ	фактор звуковой мощности	восприятие громкости
1	0	1	—
2	3	2	удвоение
4	6		
10	10	10	—
25	14		
50	17		удвоение
100	20	100	—

Таблица 38: Взаимозависимость между уровнем шума, воспринимаемой громкостью и числом одинаковых источников шума

Так, например, чтобы понизить уровень шума на 10 дБ, необходимо удалить 90% имеющихся источников шума. В то же время уравнение (2) очень наглядно показывает, что для достижения такого же результата достаточно понизить громкость каждого источника шума (машины) на 10 дБ.

Эта взаимозависимость говорит о том, как важно понижать акустические эмиссии отдельных установок с помощью конструктивных мер, а также мер по изоляции и гашению вибраций.

3. Причина и действие

Меры по снижению шумности оказываются особенно успешными и экономичными, если удается повлиять непосредственно на источники корпусного и жидкостного шума.

В этой связи целесообразно составлять так называемую "схему шумового потока".

В ней обозначают возможные места возникновения шума, пути передачи шума и вероятные места излучения воздушного шума.

3.1 Шумовой поток

В гидравлических приводах шум (корпусной и жидкостный) создается разнообразными источниками, передается несколькими путями и в конце концов излучается разными поверхностями.

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.

Как правило, гидроагрегаты устанавливаются отдельно от рабочей машины. Для соединения с гидроцилиндрами или гидромоторами этих агрегатов служат турбо- и/или шлангопроводы - см. рис. 135. 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 способствует механическая связь между моторно-насосной группой и гидробаком. Еще один "мостик" для 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 структурам, например, 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.

Ходовые, напорные и поточные клапаны могут генерировать высокочастотные шипящие шумы, обусловленные турбулентными и кавитационными явлениями в местах дросселирования.

Исходя из этих соображений, нужно в общем виде отобразить что на пути между генерированием и излучением необходимо принимать во внимание различные передаточные элементы. Это нужно для лучшего понимания, где можно принять меры по снижению шумности.

На рис. 136 схематически показана монтажная стена одного из гидроагрегатов.

На стенке из листовой стали укреплен клапан, на вход которого воздействует периодически изменяющаяся сила $F(t)$. Эту силу вычисляют, например, исходя из колебаний (пульсаций) давления подаваемой среды, обусловленных работой насоса. На основе временной характеристики можно определить ее частотный спектр, который мы будем называть в дальнейшем спектром возбуждения.

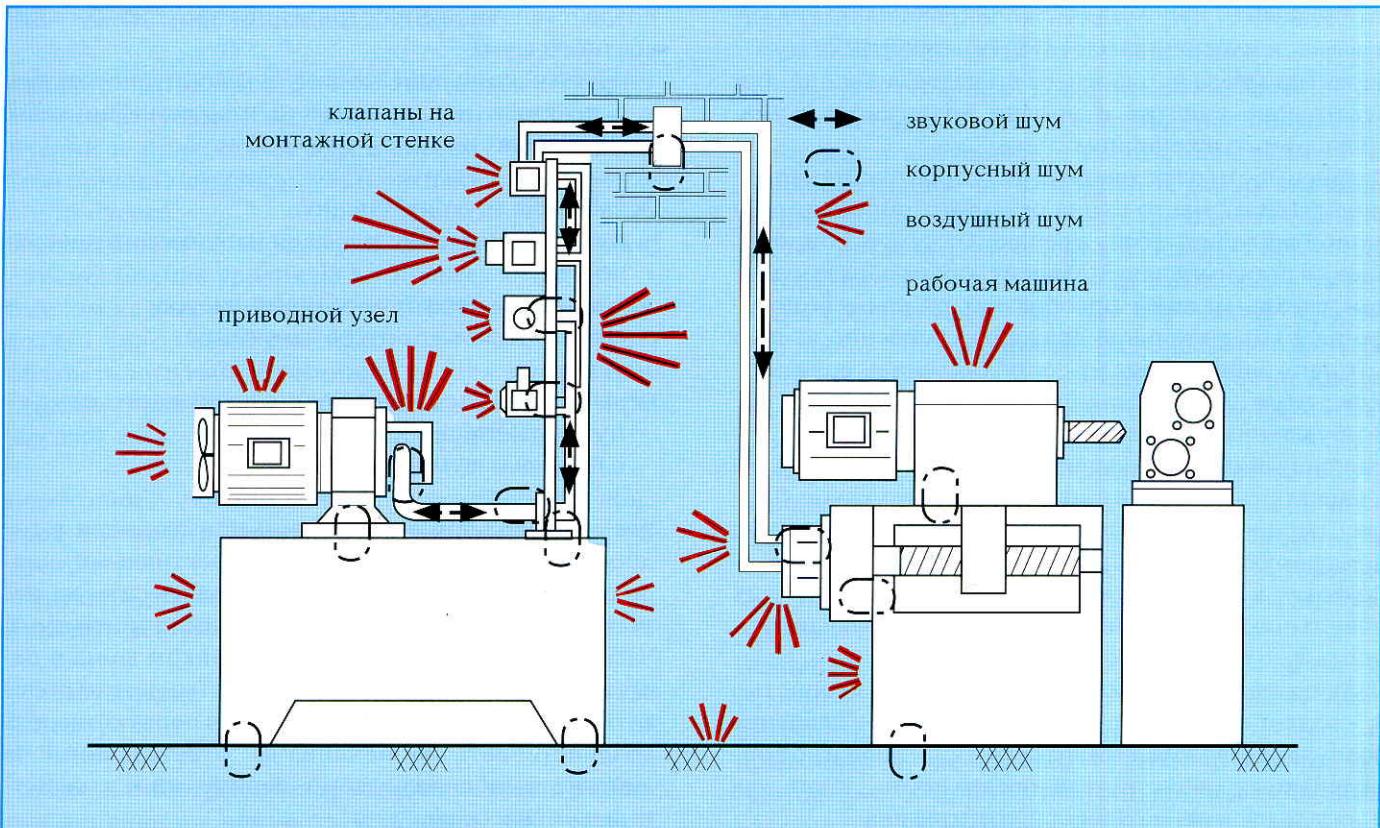


Рис. 135: Звуковой поток в гидравлических приводах и системах управления

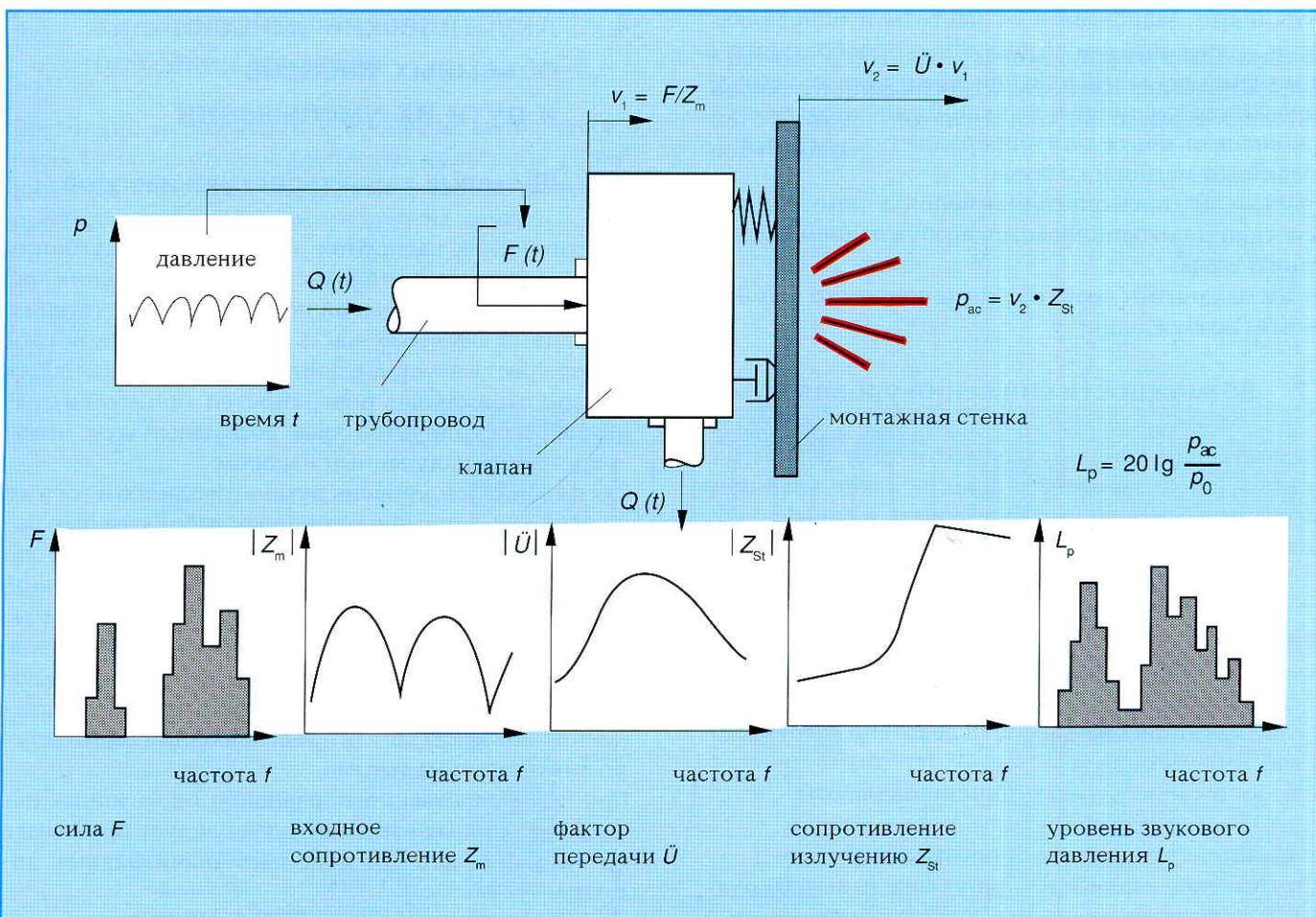


Рис. 136: Спектр возбуждения и характер поведения в зависимости от частоты

Это означает, что существуют определенные, поддающиеся измерению частоты, генерирующие шум. Характер места входа имеет большое значение для частотного спектра и уровня воздушного шума, излучаемого в конечном счете.

В зависимости от различных факторов (например, от своей массы), место входа оказывает определенное "сопротивление" возбуждению. От этого сопротивления (или импеданса) зависит, каким образом данная деталь машины преобразует силовое возбуждение в колебательное движение. Особенно велико это движение (т.е. мало сопротивление), если возбуждается резонансная частота детали.

Возбужденная в детали колебательная скорость, т.е. корпусный шум, в дальнейшем передается корпусом и распространяется в примыкающей структуре. Процесс распространения зависит от изолирующих или демпфирующих свойств структуры.

Поэтому, в зависимости от частоты, в излучающих поверхностях устанавливается колебательная скорость v_2 , отличающаяся от скорости v_1 .

Излучающая поверхность, колебляясь со скоростью v_2 , создает в своем окружении переменное давление воздуха (т.е. воздушный шум), которое зависит от определенных свойств этой поверхности, таких как площадь, форма, материал и его толщина.

И этот процесс тоже зависит от частоты.

Итак, мы имеем дело с несколькими величинами или функциями, зависящими от частоты и определяющими, каким образом возбуждение преобразуется в воздушный шум. Эти функции можно также рассматривать как "оценочные функции" силового спектра. В конечном счете они определяют характер возникающего машинного шума.

Отметим, что вышеописанная цепочка взаимных воздействий не ограничивается возбуждением жидкостного шума.

Те же механизмы срабатывают и при чисто механическом возбуждении.

3.2 Возможности снижения уровня шума

Рассмотренные выше зависимости дают весьма наглядное представление о том, на какие величины или функции можно воздействовать в борьбе с шумом.

Отправные точки в этой борьбе выглядят следующим образом:

Воздействие на силы возбуждения $F\{f\}$:

- уменьшением амплитуды,
- увеличением длительности действия возбуждающих сил;
- выбором малошумных принципов работы.

Воздействие на входное сопротивление:

- путем применения изолирующих и демпфирующих элементов, например, дополнительных масс, резиновых элементов.

Воздействие на распространение корпусного и жидкостного шума:

- путем исключения "мостов" для корпусного шума,
- с помощью изолирующих и/или демпфирующих элементов.

Ослабление звукозлучения:

- путем уменьшения площади излучающих поверхностей,
- с помощью перфорированных листов (акустическое короткое замыкание).

Ограничение распространения воздушного шума:

- путем заключения в кожух,
- с помощью шумоглушителей.

Все перечисленные выше меры применяются в гидросистемах. Однако наиболее эффективными, а не редко и наиболее экономичными являются меры, непосредственно воздействующие на источники шума. Чаще всего доминирующим источником шума в системе является насос. Поэтому, если мы хотим понизить шумность установки, следует в первую очередь воздействовать на механизмы, ответственные за эмиссию шумов (воздушный, корпусный и жидкостный шум) насосом.

4. Акустические эмиссии объемных насосов и пути их уменьшения

4.1 Шумовые характеристики насосов

В технических паспортах изготавителей шумность насосов указывается в зависимости от давления, числа оборотов и объемной подачи. В соответствии с условиями DIN 45635, часть 26, эти характеристики определяют в измерительных лабораториях с малым числом отражающих поверхностей. При этом в сущности регистрируется лишь воздушный шум, непосредственно излучаемый насосом.

Как выяснилось, уровень шумности одного и того же насоса, замеренный в различных лабораторных помещениях, может различаться на величину до 5dB(A). Это объясняется различиями в закреплении, расположении и исполнении напорных и всасывающих трубопроводов и нагрузочных клапанов. Кроме того, производственные и установочные допуски также сказываются на шуме насосов. Расхождения порядка ± 2 dB(A) в пределах одной серии можно считать нормальными.

При непосредственном сравнении однотипных насосов различных изготавителей следует принимать во внимание все эти довольно значительные допуски.

4.2 Действие насоса в установке

Следует учитывать, что насосы не только непосредственно излучают воздушный шум, но и вводят корпусный и жидкостный шум в систему (агрегат). По этой причине шумность установки всегда выше шумности насоса.

В зависимости от параметров системы нужно ожидать повышение уровня на 5 - 10 дБ(А).

В целом же действует правило, что агрегат будет работать тихо, если уже насос сам по себе будет обладать низкими значениями уровня шума. Таким образом, правильный выбор насоса - первый и решающий шаг к снижению шумности системы.

Необходимо учитывать три принципиальных фактора шумности, зависящих от моторно-насосной группы:

- непосредственно излучаемый воздушный шум;
- возбуждение корпусного шума и ввод его в систему;
- возбуждение жидкостного шума и ввод его в систему.

Любой из этих трех факторов может оказаться решающее влияние на шумность установки. Как правило, все они тесно взаимосвязаны.

4.3 Жидкостный шум - пульсации давления

Постоянно чередующиеся процессы вытеснения в насосах создают периодические пульсации давления. При этом следует обращать внимание на два процесса, накладывающиеся друг на друга.

4.3.1 Геометрически обусловленная пульсация объемного потока

Все системы подачи, основанные на вытеснении, работают по одному и тому же принципу. Поршневые, роторные и шестеренные насосы оснащены ограниченным числом нагнетательных камер. Эти камеры циклически открываются для наполнения (всасывание), затем закрываются во избежание обратного потока, после чего опять открываются для вытеснения содержимого - см. рис. 137. Таким образом, этот процесс не непрерывен. Отдельные потоки жидкости накладываются и суммируются. Так возникает суммарный пульсирующий поток, схематически изображенный на рис. 138.

Однако пульсирующий объемный поток является причиной непрерывных пульсаций давления, которые распространяются по всей системе в качестве жидкостного шума. В результате во всех подключенных элементах агрегата и рабочей машины возбуждаются колебания.

Основная частота f_0 пульсации давления вычисляется исходя из числа оборотов привода и числа вытеснительных элементов. В пластинчатых насосах применяются, как правило, 11 вытеснительных элементов ($f_0 = 275\text{ Гц}$ при $n = 1500 \text{ об}/\text{мин}$), в шестеренных насосах с внешним зацеплением - 12 ($f_0 = 300\text{ Гц}$), а в поршневых насосах - 7 ($f_0 = 175\text{ Гц}$) или 9 ($f_0 = 225\text{ Гц}$) вытеснительных элементов.

Кратные f_0 создают гармонические составляющие высшего порядка; они определяют характер воздушного шума установки и имеют, как правило, очень высокие уровни.

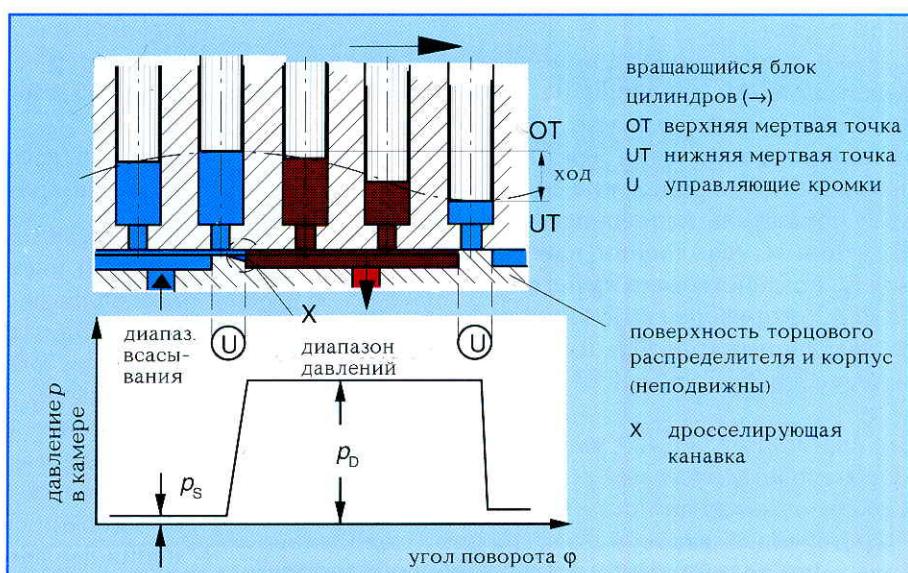


Рис. 137:
Процесс объемной подачи
и характер давления

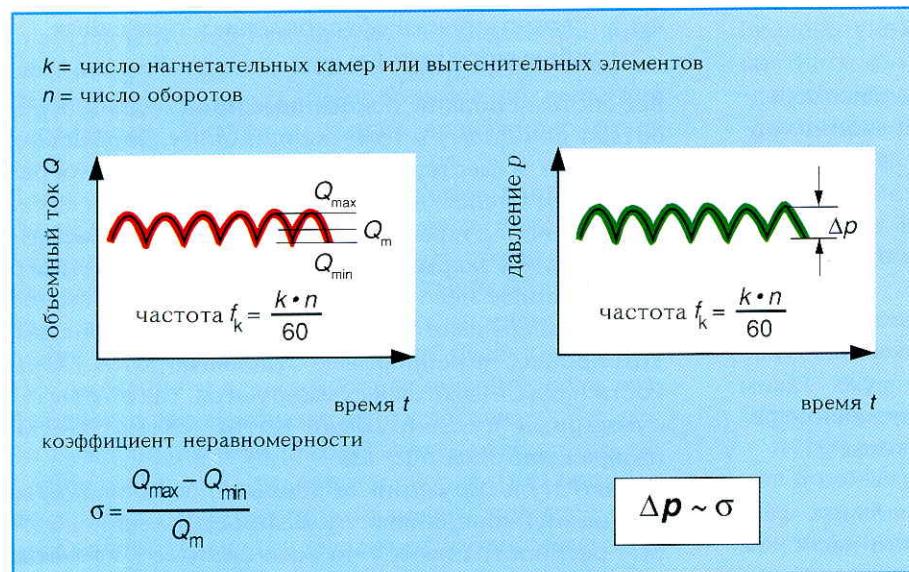


Рис. 138:
 Пульсация подачи и давления
 в объемных насосах
 (изображены схематически)

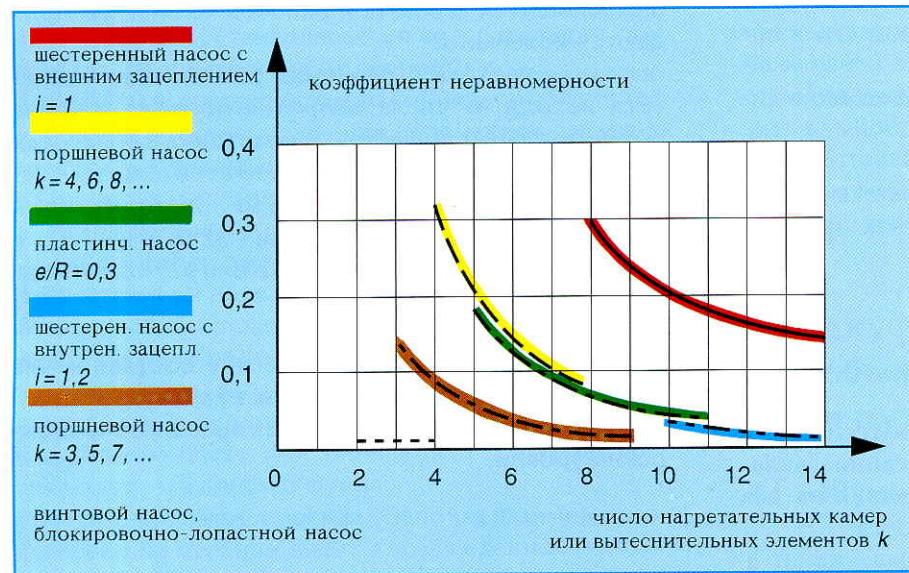


Рис. 139:
 Неравномерность подачи -
 сопоставление различных
 конструкций насосов

Эти частоты проявляются особенно отчетливо, если они совпадают с областью резонанса столба жидкости, заключенного между насосом и ближайшим дросселем.

С точки зрения пульсации подачи и соответствующей пульсации давлений различные конструкции насосов отличаются друг от друга. В качестве параметрического значения берется коэффициент неравномерности - определение см. на рис. 138.

Этот показатель непосредственно зависит от конструкции и исполнения насоса, через которые и можно воздействовать на него.

На рис. 139 приведен коэффициент неравномерности для различных конструкций в зависимости от числа вытеснительных элементов (или нагнетательных камер).

Как явствует из рис. 139, увеличение числа вытеснительных элементов выше обычного (см. выше) не позволяет существенно понизить неравномерность.

У шестеренных насосов с внутренним зацеплением пульсация подачи незначительна, что обусловлено

их конструкцией. По этой причине они работают тише, чем насосы с внешним зацеплением. Особенно благоприятно выглядит ситуация у винтовых насосов. Благодаря своей конструкции они практически не генерируют геометрически обусловленные пульсации объемного потока.

4.3.2 Согласование давлений в нагнетательной камере. Пульсация давления

В зоне всасывания объем нагнетательной камеры постоянно увеличивается ("всасывание"), в переходной области стабилизируется а в области нагнетания уменьшается ("подача") - см. рис. 137.

Решающее значение имеет при этом временная характеристика согласования давления (от давления всасывания до давления нагрузки) в камере. Если камера без всякого перехода открывается в сторону давления, то давление в ней нарастает с чрезвычайно высокой скоростью: замеренные скорости изменения давления могут доходить до 10^8 бар/сек.

Вытекающие из этого периодические изменения сил внутри насоса позволяют ожидать значительного влияния на шумность. Эпюра сил имеет ударный характер. В спектре возбуждения деформирующих сил наблюдаются многочисленные компоненты очень высокой частоты с высокой интенсивностью возбуждения. Так как силовой поток насоса ограничен кожухом, эти частоты возбуждают в кожухе изгибные колебания.

Кроме того, нельзя забывать, что при сжатии масла в нагнетательной камере происходит уменьшение объема. "Недостаточный объем" вынужденно компенсируется обратными потоками из области нагнетания. Если давление нарастает очень быстро, возникают кратковременные обратные потоки с высокой скоростью, которые приводят к кратковременной декомпрессии, т.е. к падению давления на выходе из насоса.

На рис. 140 показано, как согласование давления может повлиять на эмиссию шума насосом. Возникают внутренние (деформирующие) силы, но в то же время возникают и внешние силы, генерирующие колебания корпуса насоса как компактной массы. Этот процесс приводит к самостоятельному излучению воздуш-

ного шума насосом, возбуждает корпусный шум в кронштейне и периодические колебания давления в подключенных трубопроводах, которые распространяются по всей системе в виде жидкостного шума. Эти колебания давления называют "пульсацией сжатия". Она накладывается на геометрически обусловленную пульсацию объемного потока, описанную в разделе 4.1.

Простое конструктивное средство воздействия на данный процесс - так называемое "предварительное управление": с помощью пазов, канавок или отверстий создается связь между зоной нагнетания и камерой еще до того, как откроется прямой путь к напорной полости - см. рис. 137 и 140. При вращающейся камере эта канавка играет роль постепенно открывающегося дросселя. В этом случае сжатие объема камеры определяется жидкостью, которая поступает под повышенным давлением в соответствии с законом изменения параметра во времени. Нарастание давления (и силы) значительно замедляется во времени по сравнению с вариантом без канавки - см. рис. 140 (В).

Значительно уменьшается и шумность.

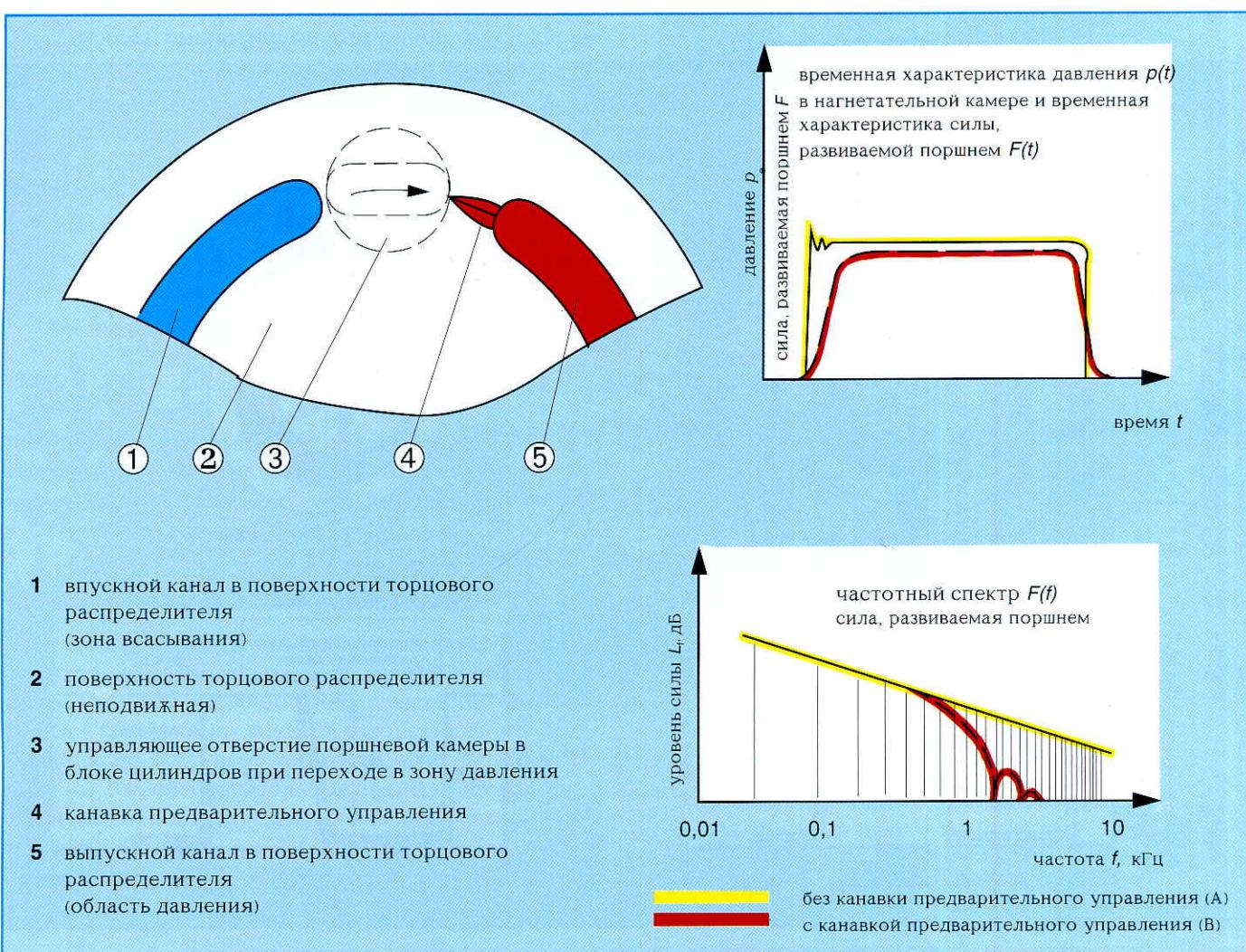


Рис. 140: Влияние канавки предварительного управления на характеристику внутренних сил в поршневом насосе

Все конструкции тщательно оптимизируются с точки зрения характеристики структуры давления. Правда, недостаток этого "жесткого" предварительного управления заключается в том, что его можно оптимально решать только исходя из одного значения рабочего давления - см. также рис. 141.

Поэтому в пластинчатых насосах применяется другой способ.

В них существует возможность начать процесс сжатия уже тогда, когда нагнетательная камера еще не связана с зоной давления. В этом случае вытеснительные элементы "предварительно сжимают" содержимое камер. Трудность заключается в том, чтобы открыть доступ в зону давления точно в тот момент, когда предварительное сжатие достигает уровня рабочего давления. Если пропустить эту "точку реверсирования", происходят рассогласования.

Этот метод позволяет оптимизировать характеристику давления и, соответственно, шумность таких насосов в избранном режиме. Оптимизацию можно осуществить заранее - в этом большое преимущество данного метода.

На рис. 141 показана возможность регулирования предварительного сжатия в пластинчатом насосе путем установки статорного кольца перпендикулярно направлению хода.

4.4 Влияние процесса всасывания

Следует подчеркнуть, что характеристика согласования давления в значительной степени зависит также от степени наполнения и от содержания воздуха в нагнетательной камере. Если камеры наполнены не полностью, засасывается воздух. В результате возникают пульсации сжатия с большой амплитудой колебаний и кавитационными ударами.

Чтобы жидкость засасывалась без завихрений и пузырьков, гидроагрегат должен обладать следующими признаками:

- большой емкостью бака;
- сливная линия должна находиться как можно дальше от линии всасывания, в баке должны иметься разделятели из листовой стали для образования успокоительных участков;
- линия всасывания должна быть абсолютно герметичной.

Во избежание гидравлических сопротивлений в зоне всасывания следует применять короткие всасывающие трубопроводы большого номинального диаметра, а также избегать сужений и перегибов этой линии. Если значительные гидравлические сопротивления во всасывающем трубопроводе неизбежны, необходимо применять подпиточные насосы.

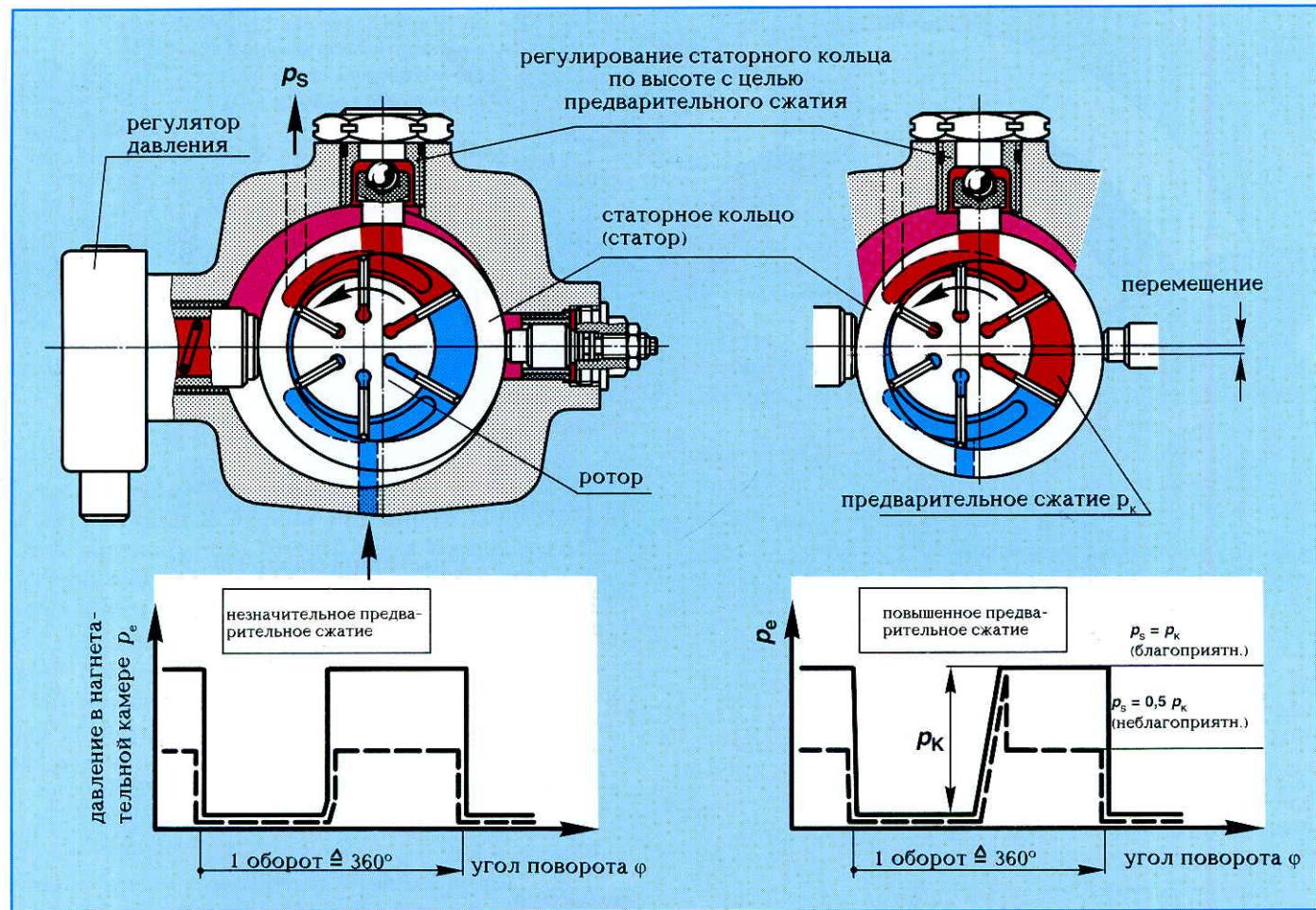


Рис. 141: Согласование давления путем регулируемого предварительного сжатия в пластинчатых насосах (чисто схематически, для большей наглядности, число камер "к" было сокращено с 11 до 6)

Следует принимать во внимание допустимые значения давления на всасывающем патрубке, приведенные изготовителем. Линии всасывания и слива не должны располагаться слишком близко к стенке бака, во всяком случае - не ближе 10 см.

4.5 Расположение насоса и электромотора в баке

Для уменьшения непосредственно излучаемого воздушного шума полезно бывает размещать насос в баке. Для этого имеются две возможности.

4.5.1 Погружное расположение приводной группы

Приводная группа, т.е. насос с электромотором в погружном исполнении находится внутри закрытого бака. Чаще всего виброизолированный узел "мотор-насос" подвешивается к крышке и полностью погружается в жидкость - см. рис. 152.

Преимущества

- В первую очередь, не возникает непосредственно излучаемый воздушный шум. Правда, вибрация насоса и электромотора передается окружающей жидкости и распространяется ею в виде жидкостного шума, однако стенки бака при достаточном расстоянии до них приглушают шум.
- Насос может всасывать жидкость прямым путем при $p_s = 1$ бар.
- Отпадает проблема пропускания всасывающей трубы сквозь крышку.

Недостатки

Возможности ремонта и обслуживания насоса сильно ограничиваются. При техническом обслуживании приходится приподнимать всю крышку бака.

Предпосылка максимальной эффективности

Виброизолированную насосно-моторную группу подвешивают к крышке (не жестко) при минимальном расстоянии от стенок бака 0,5 м.

4.5.2 Погружное расположение насоса

При таком расположении приводной электромотор вертикально располагают на крышке гидробака. Для пропускания прифланцеванного вытеснительного насоса в крышке выполняется отверстие. Благодаря этому насос всасывает жидкость непосредственно из ванны. Это обес печительные преимущества с точки зрения наполнения нагнетательных камер - см. разделы 4.4 и 4.5.1.

Предпосылка максимальной эффективности

Расстояние до стенок бака >0,5м. Исполнение крепежных фланцев, изолирующее и снижающее корпусный шум - см. рис. 142 и 146.

Эти меры особенно эффективны, если определяющим фактором шумности является воздушный шум, прямо излучаемый приводной группой.

Недостаток все тот же: насос недоступен снаружи, что ограничивает возможности ухода и обслуживания.

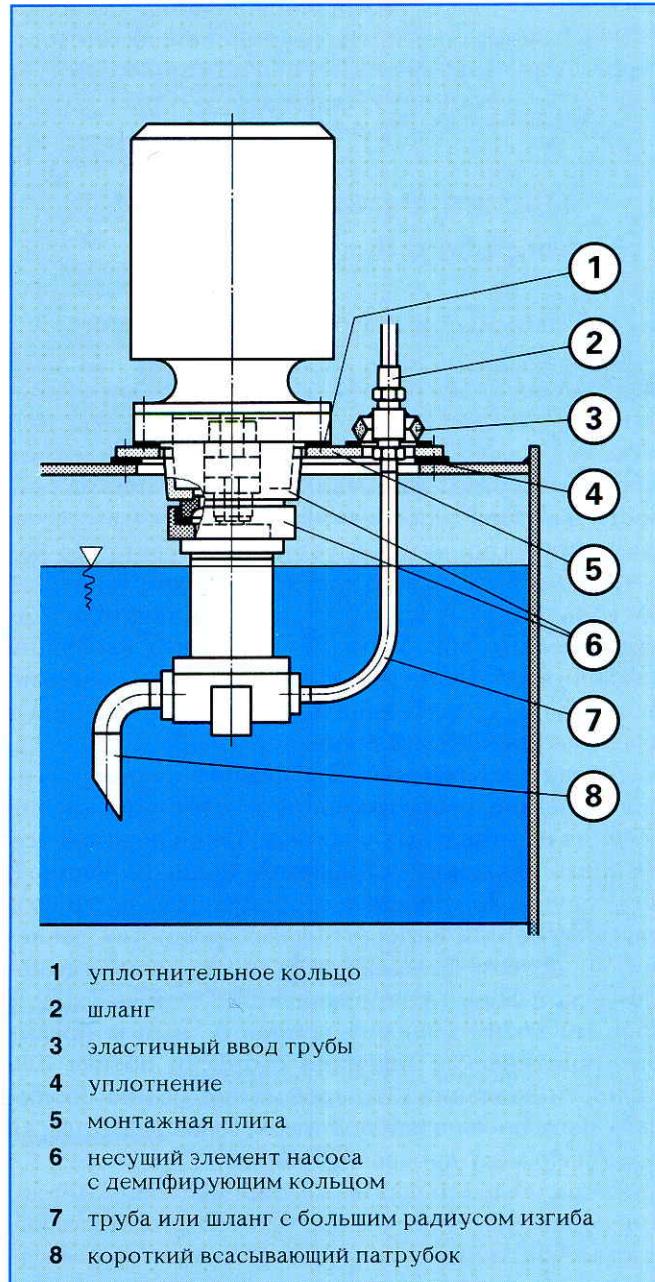


Рис. 142: Насосный агрегат типа "V1" -
малошумное исполнение

4.6 Электромоторы

При погружном расположении насоса непосредственно излучаемый воздушный шум электромотора по-прежнему может распространяться беспрепятственно. При этом следует учитывать, что по шумности эти моторы практически не уступают насосам, которые они приводят в действие - правда, с тем преимуществом, что их широкополосный частотный диапазон слабее ощущается человеческим ухом. С точки зрения снижения шумности это означает, что нельзя забывать и об электромоторах. В продаже имеются отдельные экземпляры с оптимизированными показателями шума подшипников и вентиляторов. Если этого окажется недостаточно, следует подумать о частичном заключении мотора в кожух.

5. Эмиссия шумов клапанами и борьба с нейю

5.1 Поточные и напорные клапаны

Неустановившиеся поток в местах дросселирования генерируют высокочастотные шумы в клапанах. При этом возникают переменные силы, обусловленные вихревыми срывами и локальными колебаниями скорости и напора турбулентного потока.

Еще одной из причин следует назвать кавитацию. Кавитация возникает в потоке при падении давления. Поскольку в турбулентном, завихренном потоке, обладающем высокой скоростью, возникают колебания давления со значительными его понижениями, явления такого рода явно инициируют друг друга и оказывают взаимное влияние.

В стандартных клапанах, как правило, создаются гидравлические сопротивления за счет уменьшения сечения на отдельных участках. Таким образом, вся разность давлений устраняется в одном месте. В этом случае критические скорости чаще всего возникают уже при незначительных разностях давления. При этом было обнаружено влияние геометрической формы сопротивления.

Если мы хотим понизить шумность, нельзя превышать критические значения скорости потока или разности давлений. Это требование можно соблюдать, параллельно или последовательно располагая несколько мест дросселирования.

При параллельном использовании мест сопротивлений поперечное сечение протока разделяют на множество участков - см. рис. 143. Общая площадь и, соответственно, скорость потока остаются примерно неизменными. Однако критическое число Рейнольдса, т.е. переход в турбулентный кавитирующий поток, при наличии нескольких мест сопротивления достигается лишь при намного больших разностях давления. И в результате при повышенных разностях давлений или объемных потоках тоже возникают

неустановившиеся потоки. На рис. 143 показано, как смещается критическая в акустическом отношении разность давлений, если в одном дроссельном цилиндре увеличивается число мест сопротивления при неизменной площади поперечного сечения. Эффективного сокращения шумности можно добиться также путем поэтапного уменьшения общей разности давлений с помощью ряда последовательных мест сопротивления. Была опробована комбинация, состоящая из трех ступеней давления (дифференциальный манометр клапана регулирования потока) - см. рис. 144. Шумность при этой комбинации уменьшается по мере уменьшения давления на входе и разности давлений (скорость потока) на последней ступени давления. На рис. 144 схематически показаны клапан постоянной разности давлений в таком клапане регулирования потока, особенности схемы и достигнутое снижение шумности.

Такие конструкции трудоемки, технологически сложны и поэтому дороги. Поэтому пока их используют лишь в специальных системах для специфических областей применения.

5.2 Ходовые клапаны (процессы переключения)

В ходе управления или регулирования с помощью клапанов токи жидкости внезапно тормозятся или ускоряются. Возникают колебания давления, распространяющиеся по системе в виде жидкостного шума. Кроме того, если подвижные элементы клапанов ускоряются или тормозятся, это приводит к колебаниям их корпусов.

Когда на стационарный шум гидросистемы накладываются импульсные шумы, она ведет себя совершенно специфически. При частых переключениях импульсные шумы могут определять всю шумность системы.

Гидравлических ударов при переключении можно избегать, увеличивая время регулирования клапанов. Этим же путем можно существенно замедлять скорости снижения или повышения давления в камерах клапанов, трубопроводах или гидроцилиндрах. В этом случае резкие нагрузки или разгрузки преобразуются в более медленно протекающий процесс.

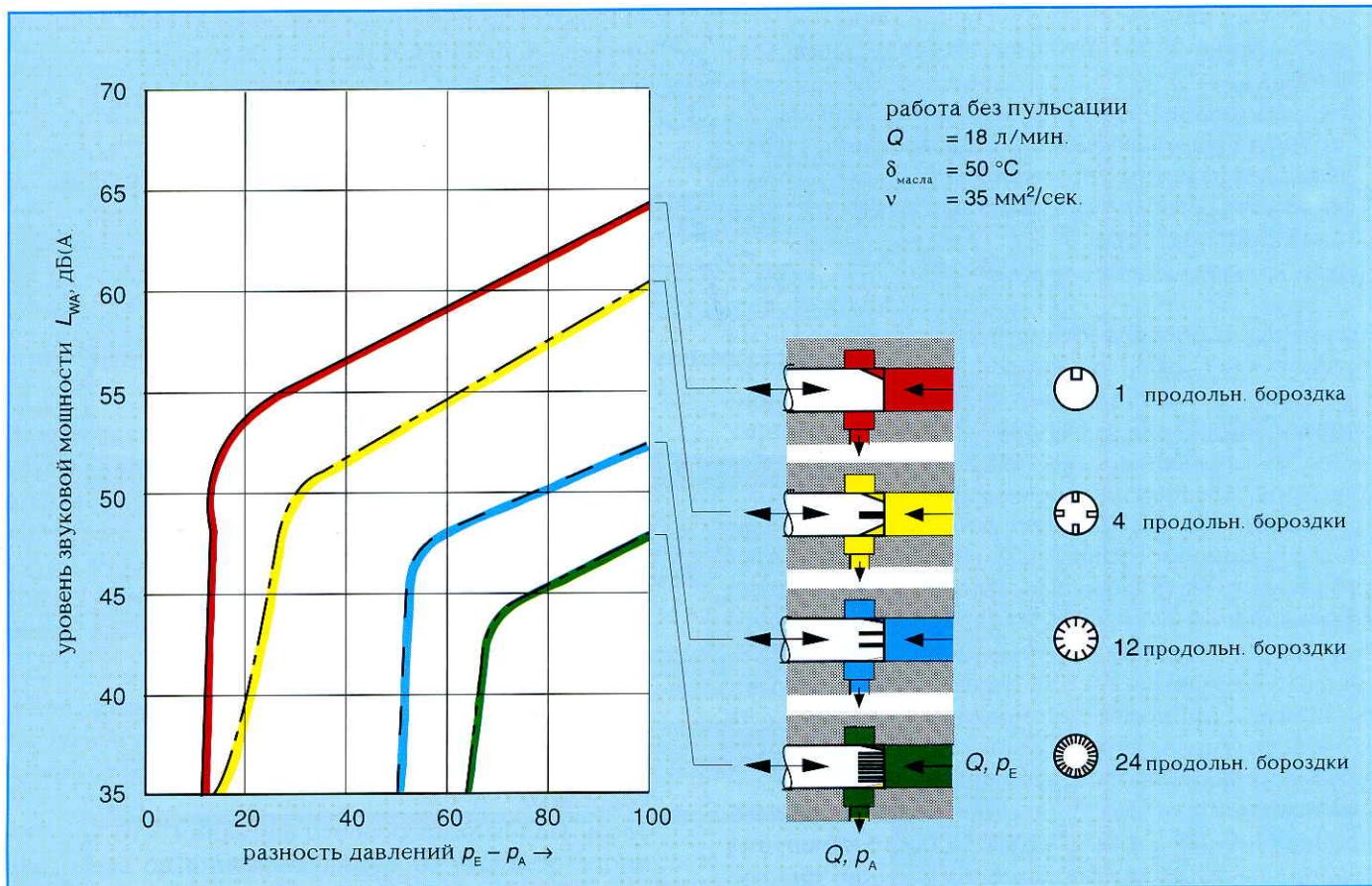


Рис. 143: Снижение шумности клапанов путем использования параллельных мест сопротивления (по Г. Шмиду)

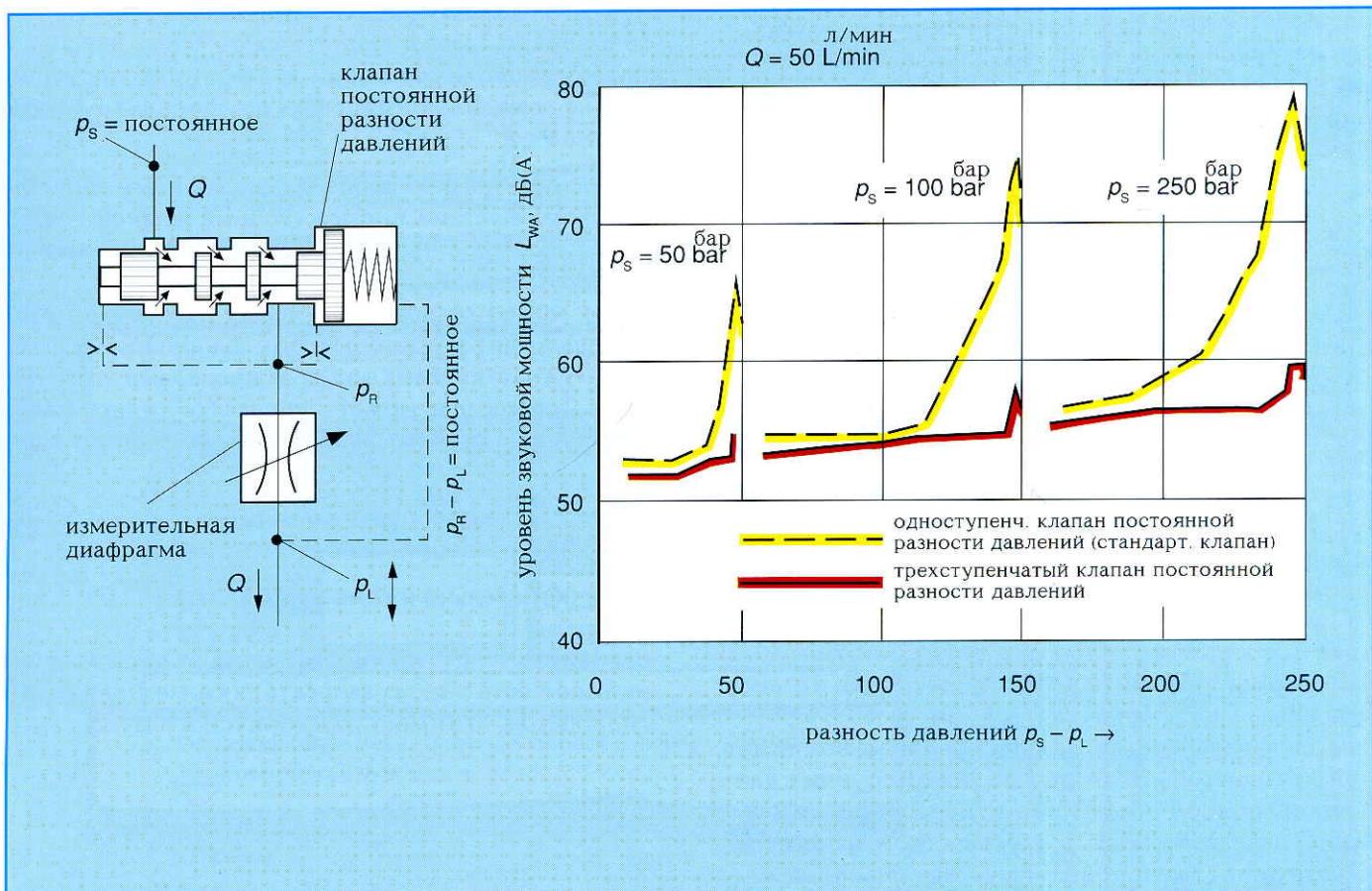


Рис. 144: Снижение шумности клапанов путем использования последовательных мест сопротивления (по О. Айху)

Известны различные конструктивные меры:

- применение золотников вместо седельных клапанов,
- регулируемые коммутационные дроссели как дополнительные элементы при пользовании клапанов с предельным управлением,
- дроссели, встроенные в клапаны для амортизации движений поршня,
- специально управляемые магниты.

Весьма эффективная возможность регулировать время установки открывается при применении пропорционального регулирования. В этом случае, например, ходовые клапаны выполняются в виде распределительных клапанов, но также в виде дросселей с линейной или прогрессивной характеристикой открывания. Ходовые, нагнетательные и поточные клапаны с пропорциональными магнитами можно плавно регулировать с помощью электрических сигналов малой мощности. Управление электрическими сигналами малой мощности управление электрическими сигналами позволяет по своему усмотрению регулировать процессы установки по времени. Для этой цели управляющим усилителям можно задавать быстроизменяющиеся линейные функции, которые позволяют осуществлять чрезвычайно "мягкие" процессы пуска и торможения, а также изменения давления или скорости. Дополнительное преимущество заключается в том, что путем несложных регулировок управляющих усилителей эти процессы можно оптимизировать уже заранее.

Все перечисленные меры продлевают периоды цикла процессов. При этом нужно добиваться компромисса между быстрым циклом и низким уровнем эмиссии шумов.

6. Снижение шумности системы

6.1 Снижение распространения корпусного шума

В системах привода и управления отдельные элементы часто объединяют в функциональные группы и располагают на гидробаке. Для связи между ними и с рабочим агрегатом служат трубопроводы и шланги.

В этом случае моторно-насосная группа, состоящая из электромотора, насоса и кронштейна, привинчивается к крышке гидробака. Вибрации этого узла передаются большим поверхностям крышки и стенок гидробака в виде корпусного шума.

Еще одна цепь передачи корпусного шума возникает при жесткой связи моторно-насосной группы с клапанной группой посредством трубопроводов. Особенно неблагоприятна в акустическом отношении конструкция, в которой клапаны закреплены на монтажной стенке из стального листа. Для снижения

шумности следует размыкать следующие цепи передачи корпусного шума:

- насос — кронштейн — электромотор
- приводная группа — гидробак
- приводная группа — клапанная группа.

6.1.1 Цепи передачи корпусного шума

"насос - электромотор - кронштейн" и "приводной блок - гидробак"

На *рис. 145* показаны различные возможности связи между электромотором и насосом.

В варианте на *рис. 145A* силовой поток крутящего момента между насосом и мотором ограничивается пространством над общей рамой. Колебания насоса и мотора через раму и ее жесткое соединение передаются гидробаку в виде корпусного шума.

Из-за большой площади излучения и жесткости источника возбуждения гидробак становится доминирующим источником шума.

На *рис. 145B* показан способ разрыва жесткого соединения. Резиновые опорные элементы под рамой существенно снижают возбуждение корпусного шума в гидробаке.

Здесь заслуживает особого внимания, что упругая опора обладает свободой движения по всем трем осям. Если же, скажем, эту раму стягивают с крышкой бака винтами, пропущенными сквозь резиновые элементы, предусмотренная эффективность разрыва соединения будет в значительной мере утрачена. Далее, необходимо следить за тем, чтобы корпусный шум не доходил до гидробака другими путями - см. раздел 6.1.2.

На *рис. 145C* показан вариант с измененным силовым потоком. Жесткий промежуточный фланец соединяет насос с электромотором, который крепится на раме угольником.

Поток моментов вращения между насосом и мотором проходит здесь только по ограниченному и жесткому участку. Рама лежит за пределами этого потока. Теперь она может передавать только колебания, исходящие от всей приводной группы в целом.

В конструктивных мерах по снижению шумности необходимо следовать основному правилу:

Силы обязательно нужно направлять!

Вариант *рис. 145C* удачнее варианта на *рис. 145A*. Тем не менее, есть смысл разорвать связь между рамой и гидробаком, этот мост для корпусного шума.

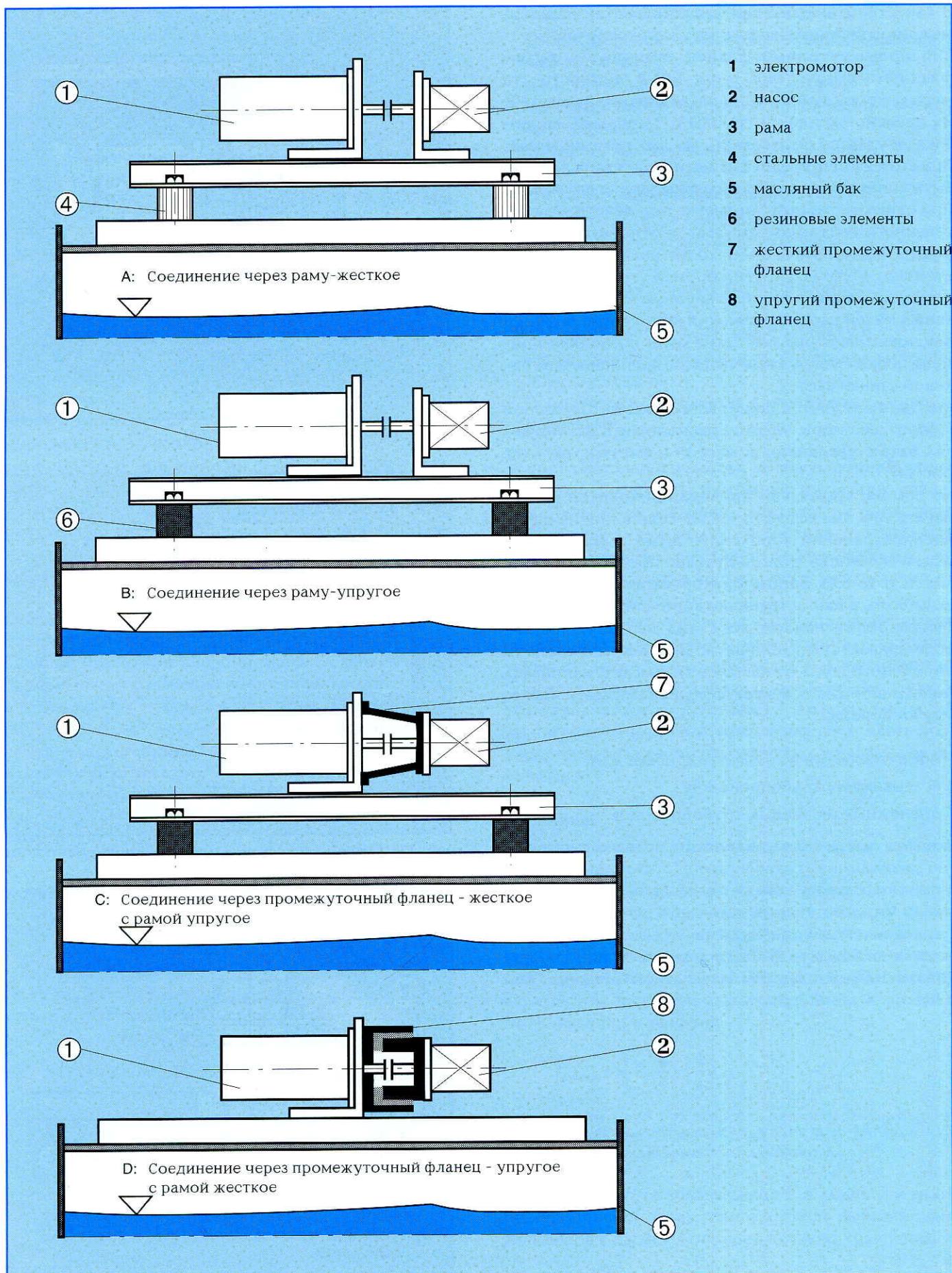


Рис. 145: Разрыв пути корпусного шума в направлении "насос - электромотор - крепежный уголок - гидробак":

В качестве альтернативы существуют так называемые амортизирующие фланцы. В этом случае жесткий промежуточный фланец заменяют упругим фланцем - см. рис. 145D и рис. 146. В частности, эта мера рекомендуется, если разъединение кронштейна насосно-моторной группы и, например, гидробака не удается осуществить так, как показано выше. При этом изолирующий фланец и муфта вала должны быть кинематически согласованы друг с другом. При слишком "мягкой" подвеске под действием собственного веса насос смещается относительно оси муфты, в результате происходит натяг и генерируется шум. Муфта с упругим промежуточным элементом представляет собой очередную меру по размыканию путей распространения корпусного шума. Как показывает рис. 146, такие меры позволяют применять даже погружные насосы с креплением на боковой стенке бака.

Выгодным является такое расположение приводной группы, ее опоры удается расположить на элементах бака с увеличенной массой и жесткостью - см. рис. 147.

Но обычно кронштейн привода приходится располагать там, где еще есть место. Если влияние цепей распространения корпусного шума доминирует в общей шумности, дополнительные предусмотренные массы в точках опоры (блокирующие массы) могут ослаблять распространение корпусного шума. Однако эффективность всех этих мер резко падает, если существуют другие возможности передачи корпусного шума от насоса к гидробаку, например, через напорные, всасывающие, дренажные и сливные трубопроводы.

Любые отверстия в крышке гидробака для
- всасывающих трубопроводов,
- дренажных и сливных трубопроводов
должны иметь, по-возможности, большие размеры.

Уплотнительные манжеты должны всегда быть очень мягкими. Нельзя допускать, чтобы трубы передавали свои колебания на крышку бака. Необходимо соблюдать достаточное расстояние между отверстиями и стенками бака (>10 см) - см. рис. 142 и 148.

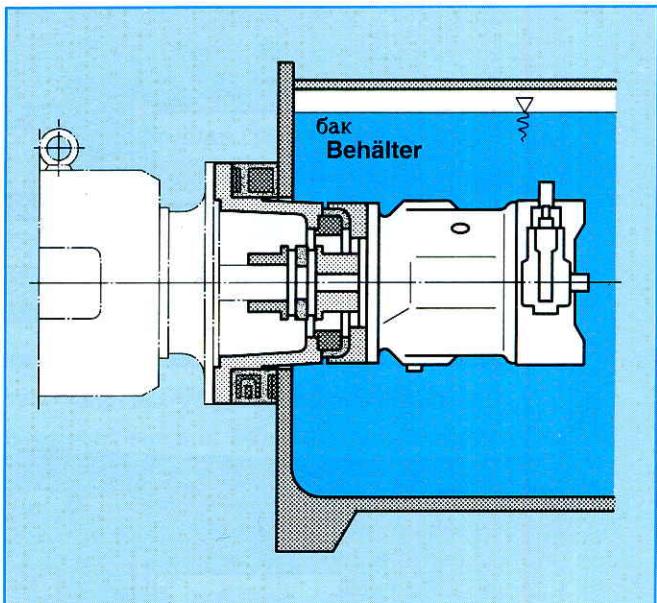


Рис. 146: Амортизирующий фланец

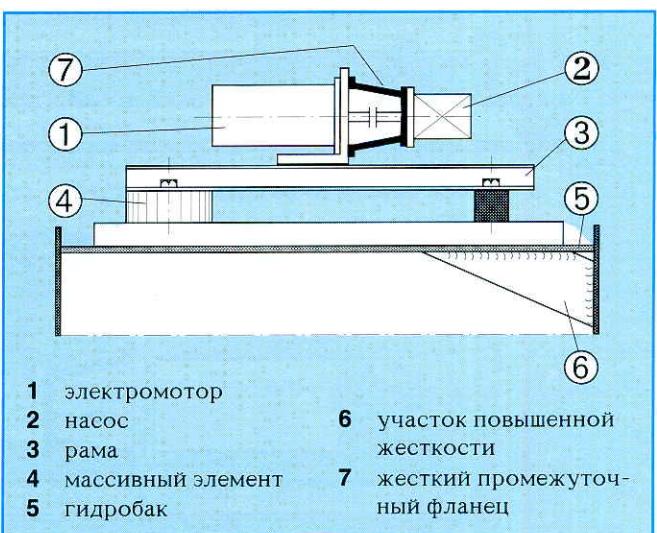


Рис. 147: Соединение с участками повышенной жесткости и дополнительными массами

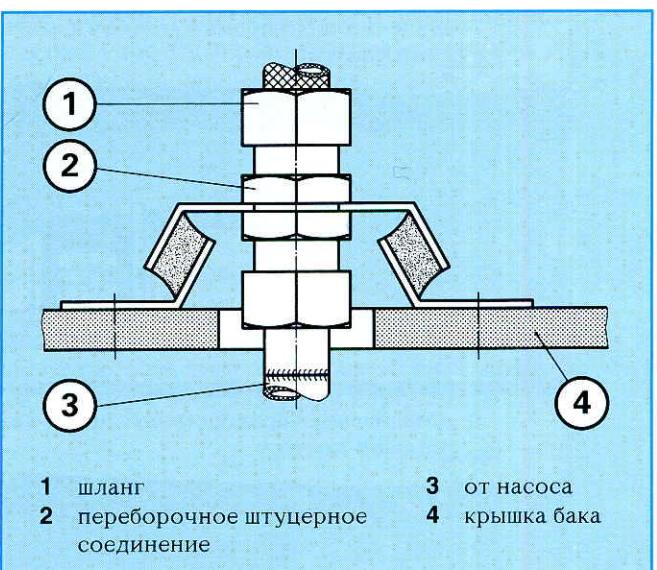


Рис. 148: Эластичный ввод трубы в крышку бака

6.1.2 Цепи передачи корпусного шума "приводной блок - клапанная группа"

Соединения между насосами и клапанами или потребителем заслуживают особого внимания как цепи передачи корпусного шума. В частности, присоединение к монтажным стенкам (когда клапаны располагаются на стенке из листовой стали) создает прямой путь для распространения корпусного шума. При непосредственном механическом соединении возникает к тому же эффект натяга, ограничивающий необходимую свободу движения приводного блока (см. раздел 6.1.1). Шланги оказываются полезными прежде всего в нижнем и среднем диапазоне давлений. Их следует прокладывать таким образом, чтобы упругая опора приводного блока обладала свободной движения по всем осям. Необходимо следить за тем, чтобы скорость потока в шланговой арматуре не превышала 4 м/сек.

Шланги высокого давления из-за многослойного армирования и нагрузки становятся довольно жесткими. Поэтому при высоких давлениях эффект снижения корпусного шума ослабевает. Здесь необходимо варировать прокладку шлангов, чтобы обеспечить необходимую свободу относительного перемещения приводного блока и клапанной группы. У жестких линий (трубы, шланги высокого давления) для ослабления корпусного шума также можно думать о так называемых блокирующих массах.

Блокирующие массы - это элементы большого веса, которые благодаря инерции массы ослабляют распространение колебаний в местах их ввода.

В отдельных случаях может оказаться полезным присоединение трубы или шланга, идущего от насоса, к блоку с большой массой. Этот блок лишь пропускает линию сквозь себя и работает только инерцией своей массы. Те же функции идеально выполняют все конструкции со сборными плитами (блоками) и сопряжения клапанов по высоте.

6.2 Излучение шумов трубами и шлангами, предотвращение резонанса в трубопроводах

Если трубопроводы производят явственно слышимый и поддающийся измерению шум, необходимо исследовать следующие механизмы возбуждения:

- А Кавитационные шумы, завихрения вследствие высоких скоростей тока
- Б Передача корпусного шума в первую очередь по трубам
- В Высокочастотные и высокоамплитудные пульсации давления, в первую очередь при резонансе в трубопроводах.

Меры по устранению фактора по пункту А

- Скорости потока в напорных линиях установить не выше 4 м/сек., в сливных линиях - не выше 2 м/сек.
- Избегать поворотов потока и изменений сечения трубопроводов.
- Выбирать максимальные радиусы изгиба.

Меры по устранению фактора по пункту Б

- Заменить трубы шлангами.
- Использовать блокирующие массы - см. раздел 6.1.2.
- Изменить компоновку трубопроводов.

Меры по устранению фактора по пункту В

- Варьирование длины линии. Сочетание материалов (трубы-шланги).
- Использовать устройства для снижения жидкостного шума.

За счет тщательного выбора длины напорной линии можно предотвратить резонанс и пульсацию давления. Пульсация давления действует на приводной узел как внешняя пульсирующая сила, оказывающая отрицательное воздействие и возбуждающая колебания всего узла (при жесткой связи между электродвигателем и насосом).

Из-за сложности расчетов (трубопроводы имеют разные запорные элементы, ответвления и т.д.) практикам остается только прибегать к экспериментам. Проверка различной длины линии рекомендуется в тех случаях, когда имеет место заметная вибрация линий или отчетливый воздушный шум, частотная характеристика которого содержит звуковые составляющие.

Внимание!

Если с целью ликвидации корпусного шума трубы заменяют шлангами, следует обращать внимание на резонанс линии. Вследствие малой жесткости шлангов резонансные частоты смещаются в сторону более низких значений. Именно в этих случаях имеет смысл экспериментировать со шлангами разной длины. Резонанс столба жидкости между насосом и ближайшим местом дросселирования (например, клапаном) появляется при условии

$$l_{\text{линия}} = \frac{1}{4} \lambda, \frac{3}{4} \lambda, \frac{5}{4} \lambda \dots$$

Длина волны $\lambda = c/f$ при скорости распространения звука $c \approx 1300$ м/сек. для стальных труб и $c \approx 400 - 700$ м/сек. для шлангов (в зависимости от жесткости).

Основная частота возбуждения f_0 в зависимости от числа оборотов двигателя n и числа вытесняющих элементов в насосе k определяется по уравнению

$$f_0 = \frac{n \cdot k}{60}, \text{ Гц.}$$

6.3 Снижение распространения жидкостного шума с помощью звукоглушителей

Как уже многократно подчеркивалось, шум гидростатического привода определяют в основном три механизма:

- воздушный шум, непосредственно излучаемый насосом, электродвигателем и линиями,
- корпусной шум, генерируемый насосом и электродвигателем и передаваемый через участки цепи,
- пульсации давления периодически передаваемые насосом на систему, т.е. жидкостный шум.

Какой из трех механизмов вызывает шум, зависит от конструкции, мощности и многих других параметров гидросистемы.

Импульсы давления действуют на узел двигатель-насос как внешняя сила и создают вибрацию, которая передается системе в форме корпусного шума. Пульсация давления достигает всех элементов установки и может везде возбуждать корпусный и воздушный шум.

Следовательно, одним из средств снижения шумности гидроагрегатов является разрыв цепи передачи корпусного шума. Однако иногда также важно ослабление жидкостного шума.

В разделе 4.3 уже рассматривались возможности воздействия на пульсацию потока или давления путем выбора модели или изменения устройства объемных насосов.

В наиболее распространенных моделях всегда создается пульсирующий поток, а следовательно, пульсирующее давление. С целью ослабления или замедления распространения жидкостного шума можно применять глушители жидкостного шума. К таким элементам предъявляются следующие требования:

- снижение пульсации давления в максимально широком частотном диапазоне при низких потерях давления,
- простота конструкции, отсутствие ухода и технического обслуживания, ликвидация воздушных пузырей, сохранение чистоты рабочей жидкости.

Для оценки эффективности глушителей используют различные понятия или параметры.

Степень вносимого звукопоглощения - это снижение уровня звукового давления, которое определяется в процессе сравнительного измерения с глушителем и без него. Эту величину можно определить только дополнительно.

Степень прямого звукопоглощения представляет собой отношение начальной звуковой энергии к пропускаемой. При этом аналогично воздушному шуму используют способ записи уровня.

$$D_d = 10 \lg \frac{\Delta p_{e\text{eff}}^2}{\Delta p_{a\text{eff}}^2}, \text{дБ}$$

где

е = на входе,

а = на выходе.

Этот параметр зависит от частоты, входит в техническую характеристику грушителя, не зависит от всей системы и показывает, при какой частоте глушитель снижает пульсацию давления.

Однако он не дает возможности рассчитывать фактическое достигаемое снижение уровня воздушного шума установки.

6.3.1 Глушители поглощающего типа

"Поглощение" - это "уничтожение" звуковой энергии путем ее преобразования в тепловую. Эта цель может быть достигнута за счет трения между передающей средой и поглощающим слоем (например, при использовании слоя минерального волокна в глушителях воздушного шума) и/или в результате сжатия и расширения определенного объема газа.

6.3.2 Глушители отражающего типа

Поскольку в жидкостях очень трудно обеспечить шумоглушение с помощью поглощения, используют глушители отражающего типа с интерференционным действием. Реже встречаются глушители комбинированного типа, то есть отражающие но с повышенной поглощающей способностью.

В глушителях интерференционного или отражающего типа "помеха" в виде первичной звуковой волны устраняется за счет наложения на вторую волну той же амплитуды и частоты. Вторая волна возникает в результате отражения первичной волны от участков сопротивления (места изменения сечения, ответвления и т.д.) и имеет сдвиг по фазе на 180°.

Примеры глушителей отражающего и комбинированного типов и соответствующие характеристики затухания показаны на рис. 149.

Преимущество глушителей отражающего типа перед глушителями поглощающего и комбинированного типов состоит в том, что в них не используются материалы, которые со временем могут подвергаться загрязнению и/или разрушению.

Размеры глушителей зависят от различных параметров, в частности, от монтажного положения (длина линии перед и позади глушителя), способа герметизации подсоединенного участка дросселирования и др. Следует учитывать частоту собственных колебаний глушителя вместе со столбом жидкости. В первом приближении действует правило: объем глушителя должен быть больше 1500 см³. В этом случае будет обеспечен достаточный интервал между частотой собственных колебаний глушителя и нормальной основной частотой пульсации насоса.

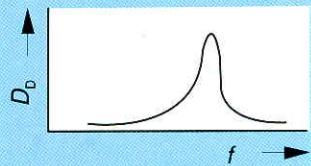
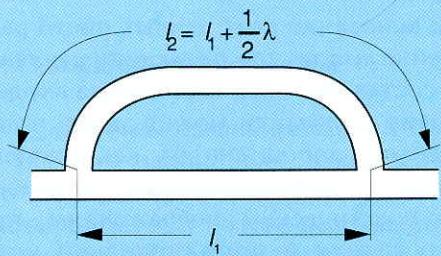
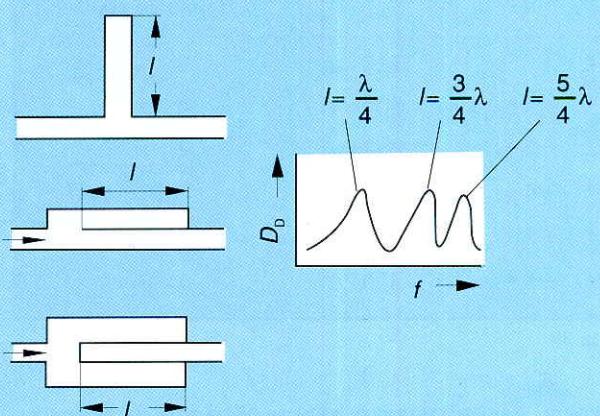
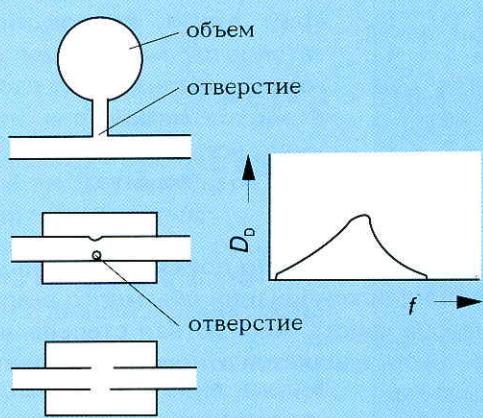
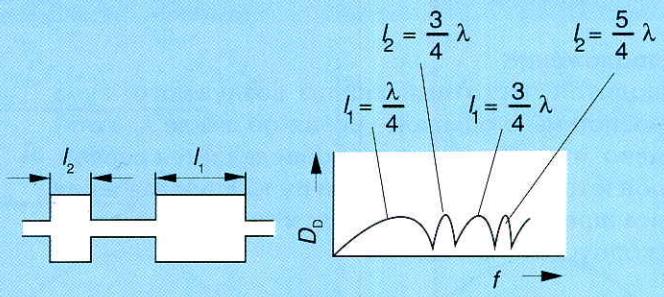
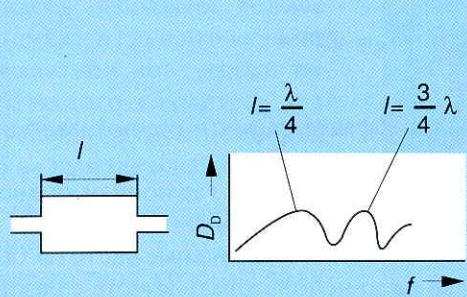


Рис. 149: Глушители

Ниже приводится пример расчета параметров объемного резонатора.

Предположение

Проводится частотный анализ воздушного шума гидросистемы с оценкой уровня по шкале А. Установлено, что воздушный шум определяется первой, второй и третьей гармониками пульсации давления насоса (предварительно приняты меры по ликвидации корпусного шума).

Частоты возбуждения:

$$f_0 = \frac{k \cdot n}{60}, \text{ Гц.}$$

Поршневой насос с $k = 9$ поршнями,
 $n = 1450 \text{ мин}^{-1}$

Длина волны $\lambda = c/f$, где $c = 1300 \text{ м/сек.}$ (стальная труба)

		Длина волны λ
f_0	218 Гц	6 м
$f_1 = 2 \cdot f_0$	= 435 Гц	3 м
$f_2 = 3 \cdot f_0$	= 652 Гц	2 м
$f_3 = 4 \cdot f_0$	= 870 Гц	1,5 м
$f_4 = 5 \cdot f_0$	= 1088 Гц	1,2 м
$f_5 = 6 \cdot f_0$	= 1305 Гц	1 м

Таблица 39

Глушитель рассчитывают таким образом, чтобы охватить диапазон - от f_1 до f_3 .

Степень прямого поглощения для простого объемного резонатора (камера расширения):

$$D_d = 10 \lg \left[1 + \frac{1}{4} (q - \frac{1}{q})^2 \sin^2 \left(\frac{2\pi}{\lambda} \cdot l \right) \right], \text{ дБ}$$

$$\text{где } q = \frac{A_2}{A_1} = \frac{\text{сечение глушителя}}{\text{сечение трубы}} = \frac{D^2}{d^2}$$

l = длина глушителя

Оптимальный эффект для $\sin \left(\frac{2\pi}{\lambda} \cdot l \right) = 1$ т.е. при $l = \frac{1}{4}\lambda, \frac{3}{4}\lambda, \dots$

Отсутств. эффекта $\sin \left(\frac{2\pi}{\lambda} \cdot l \right) = 0$ т.е. при $l = \frac{1}{2}\lambda, \frac{3}{2}\lambda, \dots$

На конкретном примере следует обеспечить надежное затухание первой гармоники пульсации насоса при $f_1 = 425 \text{ Гц}$ и $\lambda_1 = 3 \text{ м.}$

Оптимальный эффект от использования глушителя при

$$l_{\text{да}} = \frac{1}{4} \lambda_1 = 0,75 \text{ м}$$

Ослабление эффекта схематично показано на рис. 150.

Видно, что определенные гармоники пульсации не охвачены, или их затухание недостаточно. Чтобы охватить дополнительные частоты, объемный резонатор надо использовать вместе с резонатором свиста (см. рис. 150B) или соединить в линию объемные резонаторы (рис. 149B).

Резонатор свиста

$$D_d = 10 \lg \left[1 + \frac{1}{4} (q - 1)^2 \tan^2 \left(\frac{2\pi}{\lambda} \cdot l \right) \right]$$

Оптимальный эффект при $\tan \left(\frac{2\pi}{\lambda} \cdot l \right) \rightarrow \infty$

$$\text{т.е. при } l = \frac{1}{4} \lambda_x$$

Для $f_3 = 840 \text{ Гц}$ с $\lambda_3 = 1,5 \text{ м}$

$$l_{\text{Pfeife}} = \frac{1}{4} \lambda_3 = 0,375 = \frac{1}{2} l_{\text{Dämpfer}}$$

На рис. 150B схематично показана степень звукопоглощения для комбинации объемного резонатора и резонатора свиста. Абсолютная степень звукопоглощения определяется отношением сечений трубы и глушителя.

Цель: степень звукопоглощения $D_d \approx 20$

Предложение

$$q = 25 \text{ с } D_{\text{да}} = \sqrt{q} \cdot d_{\text{Rohr}} = 5 \cdot d_{\text{Rohr}} \text{ (внутренний диаметр)}$$

Получаем $D_d \approx 22$.

На основании этих данных чисто расчетное уменьшение амплитуды пульсации давления для частоты f_1 составляет 1/12 значения на входе.

Такие глушители можно легко изготовить из элементов гидроцилиндра. Как показано на рис. 150B, глушители обычно оснащаются резонатором свиста. По практическим соображениям - прочность трубы глушителя и дополнительно устанавливаемый объем в системе циркуляции - не следует превышать значение $q = 25$.

Формула для расчета степени прямого звукопоглощения D_d показывает, что незначительные изменения длины и диаметра глушителя оказывают существенное влияние на результат. Поэтому требуется строго вычисленную длину и диаметр.

Важно также, чтобы в жидкости содержалось небольшое количество воздуха и в глушителе не мог образовываться воздушный пузырь. Кроме того, глушитель должен устанавливаться непосредственно на выходе насоса.

На рис. 151 представлены значения, относящиеся к глушителям отражающего типа, которые получены в результате точных измерений. Дополнительно приводятся данные для глушителя комбинированного типа, с помощью которого посредством газовой подушки достигается определенное дополнительное звукопоглощение.

Интересным решением, которое можно быстро использовать в отдельных случаях, является интерференционная линия. Речь идет о специальном устройстве байпасного типа в системе трубопроводов, с помощью которого можно глушить звук одной определенной частоты спектра возбуждения - см. рис. 149E.

Единственное условие: разность хода волн между байпасным устройством и линией должна составлять $\lambda/2$.

Такое же простое решение, дающее аналогичный эффект, представляет собой резонатор свиста - см. рис. 149D. Труба того же диаметра устанавливается как "глухое" ответвление. Длина составляет $\lambda/4$ затухающей волны. И в этом случае важную роль играет проблема удаления воздуха.

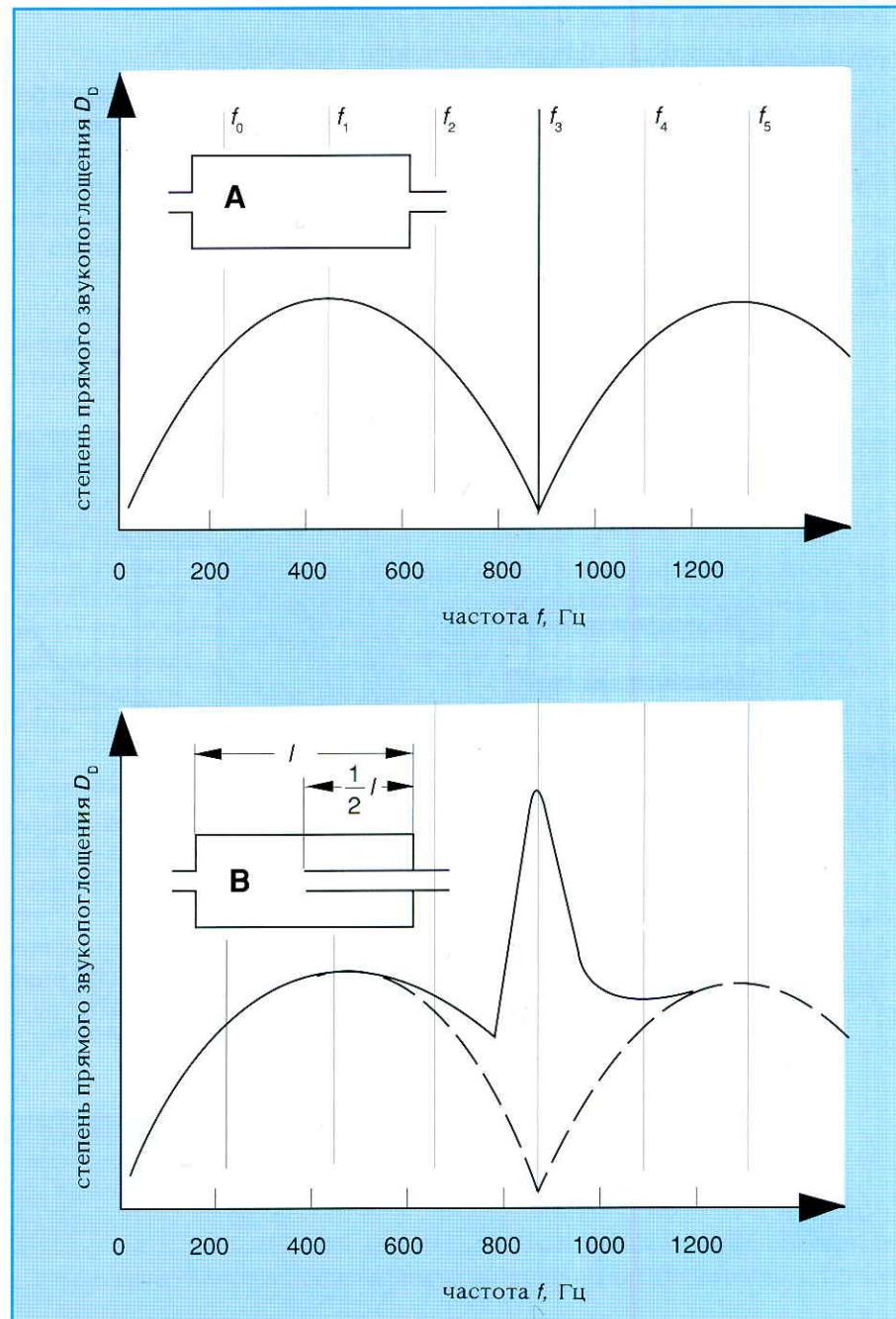


Рис. 150: Степень прямого звукопоглощения, обеспечиваемого резонаторами, в зависимости от частоты
(в схематичном виде согласно примеру расчетов)

6.3.3 Глушители комбинированного типа

Баллонные аккумуляторы модифицированной конструкции известны под названиями "импульсные звукоглушители", "гидроглушители", "импульсные поглотители", "стабилизаторы потока всасывания". Они относятся к категории "разветвленных" резонаторов со специфической характеристикой глушителя - см. рис. 149.

Благодаря упругости объема газа дополнительно обеспечивается поглощающее действие.

Кроме того, за счет упругости газовой подушки создается большой дополнительный "объем".

Заключение

Глушители жидкостного шума

Глушители жидкостного шума являются надежным средством снижения пульсации давления, то есть сил, вызывающих возбуждение звука. Они используются в тех случаях, когда меры по отводу корпусного шума не обеспечивают нежного эффекта. Кроме того, их следует обязательно применять в крупных гидросистемах с разветвленными трубопроводами большой длины.

Благодаря более низкой механической нагрузке наряду со снижением шума достигается увеличение срока службы и повышение надежности систем.

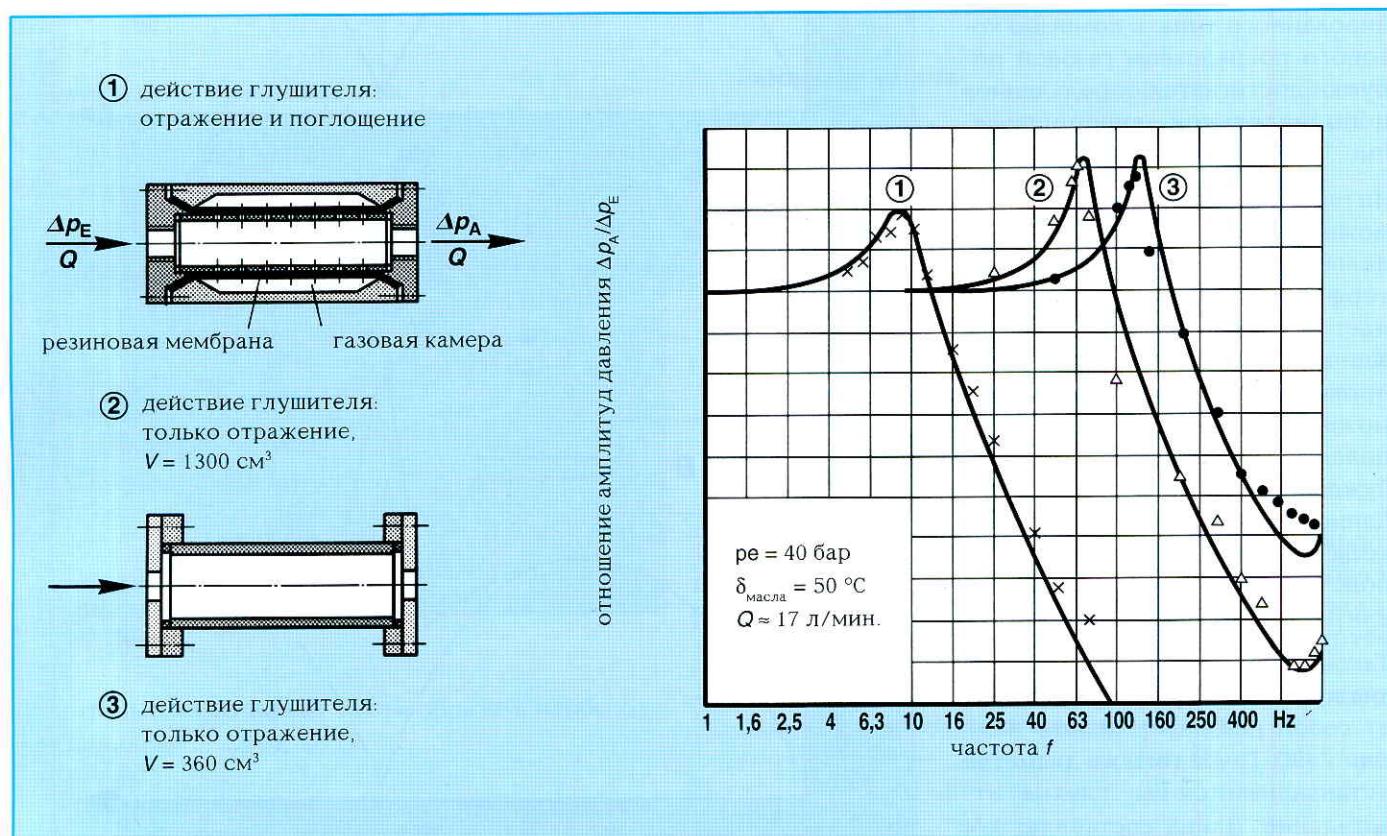


Рис. 151: Амплитудная характеристика глушителей жидкостного шума (по В. Герцогу)

6.4 Снижение излучения

В предыдущих разделах были рассмотрены причины акустической эмиссии и целенаправленные меры по предотвращению или снижению шума и его распространения в системе. Последовательность рассуждения - насосы, корпусный шум, жидкостный шум - соответствует принимаемым мерам по степени их важности.

Меры по ослаблению излучения способствуют снижению шума только тогда, когда не удается надежно исключить корпусный шум и/или эффективно уменьшить пульсацию давления.

Излучение имеет место главным образом в тех местах, где действие сил возбуждения (даже небольших) распространяется на большие поверхности.

В гидросистемах ими часто являются крупногабаритные баки и так называемые "монтажные стенки". Эти "пассивные" излучатели требуют особого внимания.

В первом приближении излучение воздушного шума прямо пропорционально размерам поверхности, подвергающейся возбуждению, и обратно пропорционально массе излучающего объекта.

Следовательно, задача заключается в уменьшении излучающей поверхности при одновременном увеличении ее массы. Применительно к бакам это достигается только путем использования толстого листа (при необходимости с оребрением).

Что касается монтажных стенок, то здесь имеется ряд возможностей. Эти листовые панели для крепления клапанов можно изменять или заменять следующим образом:

- Применение перфорированных листов. Между передней и задней сторонами такого листа создается своеобразное "короткое замыкание", которое компенсирует локальные колебания давления воздуха до высоких частот. Благодаря этому существенно снижается излучение воздушного шума.

- Применение рамочных конструкций с использованием отдельных листов панелей для крепления элементов управления. Рамы должны иметь достаточно большую массу.

- Применение блочной компоновки. Предлагают так называемые "монтажные" и "соединительные" блоки. Оба решения почти идеально отвечают требованиям сокращения площади поверхности и увеличения массы.

На рис. 152 показана эффективность снижения уровня шума при работе гидроагрегата небольшой мощности (3 кВт), достигаемая описанными выше способами. Исходное состояние - крепление на монтажной стенке.

В результате замены монтажной стенки блоком уровень шума удалось снизить примерно на 6 дБ(А). Применение шестеренчатого насоса с внутренним зацеплением позволяет заметно уменьшить амплитуды пульсации давления (снизить силы возбуждения). Дальнейшее снижение уровня шума было достигнуто за счет виброизолированного крепления узла двигатель-насос в масляной ванне. Несмотря на том, что такое снижение уровня шума порядка 22 дБ(А) получено применительно к данному конкретному объекту исследования, оно показывает, какие существуют возможности снижения шумности гидросистем.

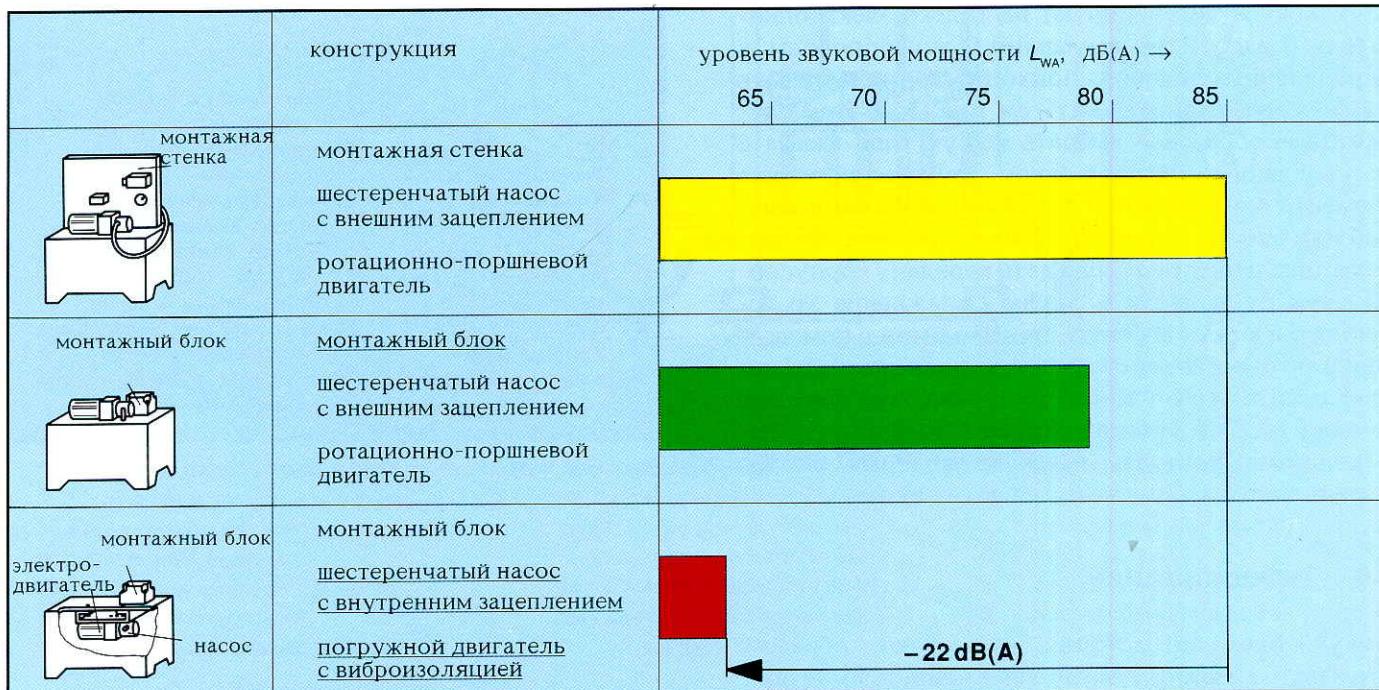


Рис. 152: Результат мер по снижению шумности гидроагрегата небольшой мощности (3 кВт)

6.5 Установка в кожух

Если, несмотря на все принятые меры, излучение звука не удается снизить до требуемого низкого уровня, приходится использовать установку в кожух.

Это очень эффективная, но сложная и дорогая мера. Проблема усугубляется еще и тем, что в результате затрудняется техническое обслуживание оборудования и требуются дополнительные работы по отводу тепла, например, установка дополнительных воздушно-масляных или водо-масляных теплообменников. Кожух помогает снизить воздушный шум при работе заключенного в него агрегата, но не предотвращает распространение жидкостного шума. Борьба с последним рассмотрена в разделе 6.3.

Следовательно, вначале надо определить источник наиболее сильного воздушного шума. Часто бывает достаточно заключить в кожух один из узлов, например, привод. Это можно легко сделать, если (как например, в больших системах) узел двигатель-насос устанавливается отдельно от бака - см. рис. 154. Устройство звукоизолирующих кожухов, в принципе, всегда одинаково. К несущей конструкции из металлических профилей крепятся съемные элементы. Эти элементы состоят из наружной стенки несущего типа, поглощающего материала (например, минеральной ваты) и внутренней облицовки, выполняющей защитные и опорные функции - см. рис. 153. Без поглощения кожух выполняет только функции звукоизоляции, и то часто в недостаточной степени, поскольку внутри кожуха уровень повышается. Поглощающий материал, преобразующий звуковую энергию в тепловую, обеспечивает эффективное снижение звуковой энергии в пространстве внутри кожуха.

Поскольку шум генерируют не только электродвигатели и насосы, но и клапаны и трубопроводы, в определенных условиях приходится устанавливать в кожух весь гидроагрегат - см. рис. 155. В этом случае целесообразнее выбрать кожух типа шкафа с установленным наверху баком. Звукоизолирующие элементы при этом могут быть выполнены в виде дверей или съемных панелей. Однако при всех обстоятельствах надо предупреждать передачу корпусного шума от агрегата к шкафу. Охлаждение заключенного в кожух агрегата производится с помощью вентиляторов, которые подают холодный воздух через глушители воздушного шума (звуковые ловушки) и через них же отводят отработавший воздух. Необходимость установки в кожух клапанных панелей определяется в каждом отдельном случае.

6.6 Экранирование

Кожухи окружает источник звука таким образом, что излучаемый воздушный шум полностью или почти не проникает наружу. Задача экрана состоит в

том, чтобы заставить воздушный шум от источника достигать определенного места непрямым путем. Речь идет о системах, состоящих из звукоизолирующих или звукопоглощающих боковых стенок и защитного занавеса. Занавесы наиболее часто используются как средство дополнительной звукоизоляции. Это, как правило, тяжелые, содержащие свинец резиновые или синтетические гибкие маты, подвешенные на направляющих, которые можно передвигать. При правильном исполнении уровень шума можно снизить на 10 дБ(А).

Поскольку в данном случае отсутствует поглощение и обычно не удается избежать воздушных зазоров, обычно не удается достичь степени снижения шума, которая обеспечивается кожухом. Однако преимуществом экранирования являются значительно лучшие условия управления и технического обслуживания, т.е. хороший доступ к узлам и агрегатам.

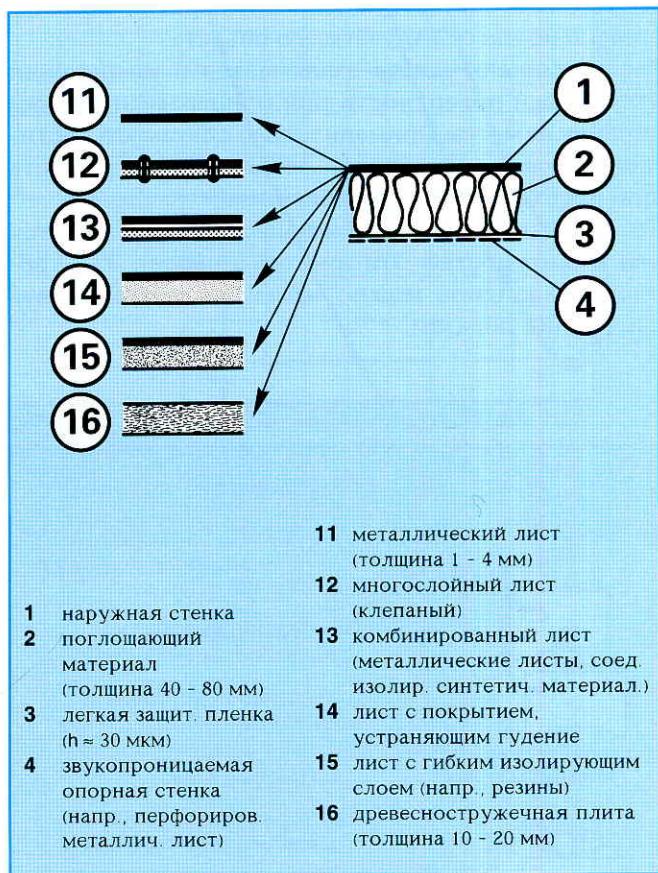
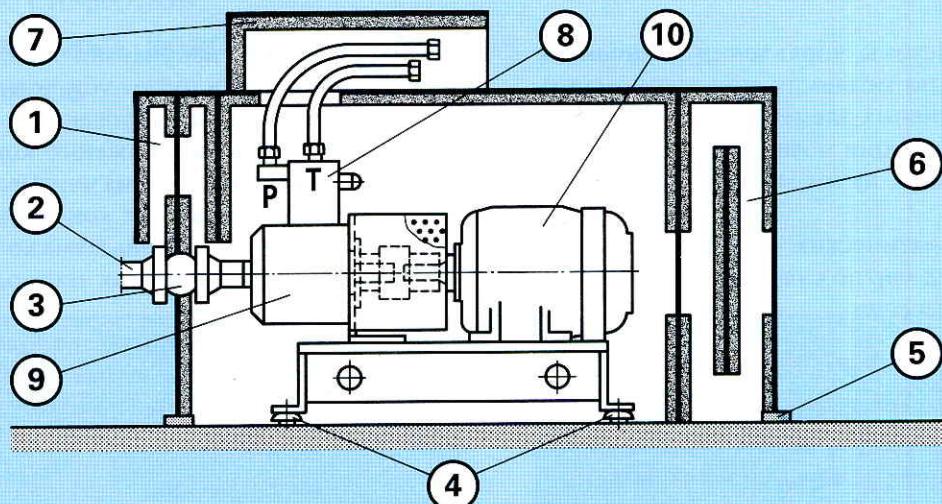


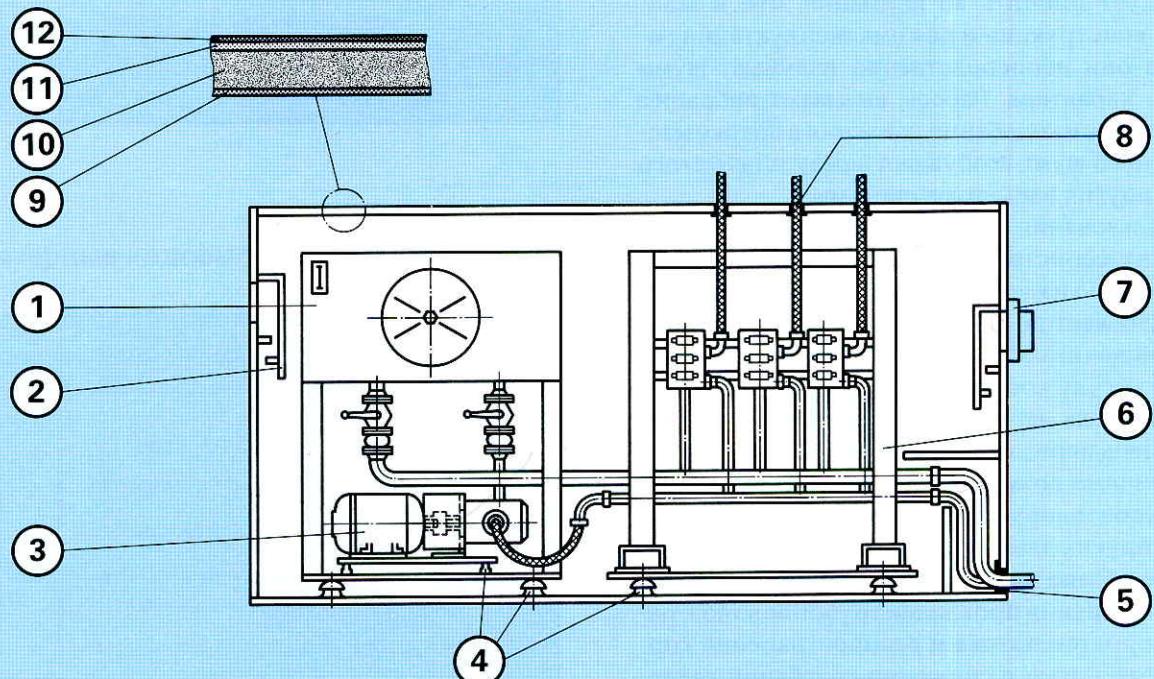
Рис. 153: Устройство однослойной стенки кожуха



- 1 глушитель воздушного шума с воздухообменом
2 линия всасывания
3 резиновый компенсатор
4 упругие опорные элементы
5 герметизация относительно фундамента
6 глушитель воздушного шума с воздухообменом

- 7 глушитель воздушного шума (устанавливается в кожухе в любом положении) на участке вывода шлангов
8 напорный клапан
9 насос
10 двигатель

Рис. 154: Схематичное устройство звукоизолирующих кожухов для узла двигатель-насос



- 1 бак
2 глушитель воздушного шума с воздухообменом
3 насосный агрегат
4 упругие опорные элементы
5 звукоизолирующий и звукопоглощающий ввод

- 6 клапанная панель
7 вентилятор с глушителем воздушн. шума и воздухообменом
8 шланг, соединяющий плиту с выходом из шкафа (лучше через глушитель воздушного шума)

- 9 зашитый слой (например, перфорированный металлический лист)
10 поглотитель
11 свинцово-резиновый изолятор
12 несущая конструкция

Рис. 155: Агрегат, установленный в кожухе в форме шкафа

7. Заключение

Гидроприводы и системы управления отличаются высокой нагрузкой по мощности при очень малых размерах конструктивных элементов.

При большой концентрации мощности в малом пространстве, как правило, имеет место значительный уровень шума.

В результате систематических исследований удалось разработать ряд мер по существенному снижению акустической эмиссии.

Трудности заключаются в том, что в гидроприводах воздушный шум вызывается тремя механизмами:

- непосредственным излучением воздушного шума элементами (например, насосами и клапанами),
- передачей корпусного шума через места соединения элементов,
- передачей жидкостного шума по всей системе трубопроводов.

Эти механизмы взаимосвязаны и оказывают различное влияние друг на друга. Редко удается установить заранее, какой механизм оказывает определяющее влияние на излучаемый воздушный шум.

Как правило, основным элементом, возбуждающим воздушный, корпусный и жидкостный шум, является насос. Следует принять во внимание, что в зависимости от конструкции и режима эксплуатации гидронасосов они непосредственно излучают шумы различного характера. Насосы вызывают вибрацию (корпусный шум) и колебания давления в потоке масла (жидкостный шум), возбуждая в результате этого колебания других элементов системы.

Путем использования оптимальных с точки зрения акустических свойств конструкций насосов часто можно настолько изменить спектр возбуждения, что шум резко снижается. Рекомендуются такие насосы, которые обеспечивают равномерную подачу и имеют низкую амплитуду корпусного шума.

При монтаже узла насос-электродвигатель следует разрывать цепь передачи корпусного шума. Рассмотрены различные возможности, например, использование звукоизолирующих фланцев, резинометаллических упругих элементов и т.д.

Необходимо обращать особое внимание на напорную линию с точки зрения прокладки трубопроводов, резонанса, скоростей потока и распространения корпусного шума. С целью снижения колебаний давления в потоке масла целесообразно применять глушители жидкостного шума.

При разработке конструкции гидроагрегатов надо стремиться к ослаблению звукового излучения. Сборные панели (блоки) и вертикальное соединение отвечают следующему требованию: малая площадь поверхности излучения при значительной массе.

Распространение излучаемого воздушного шума можно задерживать путем установки узлов и агрегатов в кожух или экранирования.

Если все эти меры по снижению корпусного, жидкостного и воздушного шума учитывать еще при проектировании и разработке конструкции, то можно создавать системы, уровень шума которых будет ниже значений, установленных законодательными органами.

Следует, однако, принимать во внимание, что это связано и повышением затрат на проектирование, разработку конструкции, изготовление элементов, сборку и испытания.

8. СПИСОК СИМВОЛОВ, безразмерных кодовых чисел и индексов

Символы

Символ	Единица измерения	Наименование
<i>c</i>	м/сек. м/s	Скорость звука
<i>d</i>	см ²	Диаметр (трубы)
<i>D</i>	см ²	Диаметр (глушителя)
<i>f</i>	1/сек. 1/s	Частота
<i>F</i>	Н	Сила
<i>l</i>	м	Длина
<i>n</i>	1/мин. 1/min	Число оборотов
<i>p</i>	бар bar	Давление
<i>P</i>	Вт W	Мощность
<i>S</i>	м ² m ²	Площадь (огибающ.поверх.)
<i>λ</i>	м m	Длина волны
<i>v</i>	м/сек. m/s	Колебательная скорость

Индексы

Символ	Наименование
eff	Действующее значение
р	Звуковое давление
W	Мощность
ac	Акустический
0	Нормальное значение (основное знач.)
e	Вход
a	Выход

Безразмерные кодовые числа

Символ	Наименование
<i>L_w</i>	Уровень звуковой мощности
<i>L_p</i>	Уровень звукового давления
<i>L_s</i>	Размер измерительной поверхности
<i>L̄_s</i>	Уровень звукового давления на измерит поверхности (усредненное значение)
<i>D_d</i>	Степень прямого звукопоглощения
<i>k</i>	Количество
<i>q</i>	Отношение площадей

9. Литература

- [1] И. Ребель, Г. Шмид
"Акустическая эмиссия гидроэлементов и гидросистем и меры по снижению шума"
Отчет о научно-исследовательской работе № 180
Федерального ведомства по охране труда и изучению несчастных случаев,
Дортмунд, 189 стр.,
большое число ссылок на источники
ISBN 3-88314-009-0
- [2] Рекомендация 3720, лист 5,
Общества немецких инженеров
"Разработка бесшумных конструкций Гидроэлементы и системы"
Издательство "Бойт-ферлаг",
Берлин, 24 стр.,
большое число ссылок на источники

Для заметок

Для заметок