



## Техническая информация

Современные мобильные машины представляют собой дорогостоящие высокотехнологичные изделия, производство и обслуживание которых требует значительной технической культуры. Эффективность, а зачастую даже область применения мобильной техники, в большой мере определяется качеством вспомогательных систем, которые должны обеспечить, при интенсивной эксплуатации, функционирование силовых агрегатов в оптимальных режимах.

Наиболее значимыми вспомогательными системами такого рода являются системы фильтрации, поскольку как минимум 75% неисправностей и 50% простоев мобильных машин обусловлены наличием загрязняющих частиц в топливе, масле, гидрожидкости и воздухе.

Обеспечение качественной защиты агрегатов требует осуществления полного комплекса организационных мероприятий на всех стадиях жизненного цикла, и особенно в процессе эксплуатации мобильной техники. Неаккуратность в проведении хотя бы одной регламентной операции приводит к неустраняемым ошибкам, поскольку неэффективная работа фильтров во многих случаях остается незамеченной персоналом, и все погрешности выявляются лишь на заключительном этапе. В результате вместо ожидаемого надежного функционирования машины могут иметь место неприятности, цена которых значительно превышает стоимость системы фильтрации.

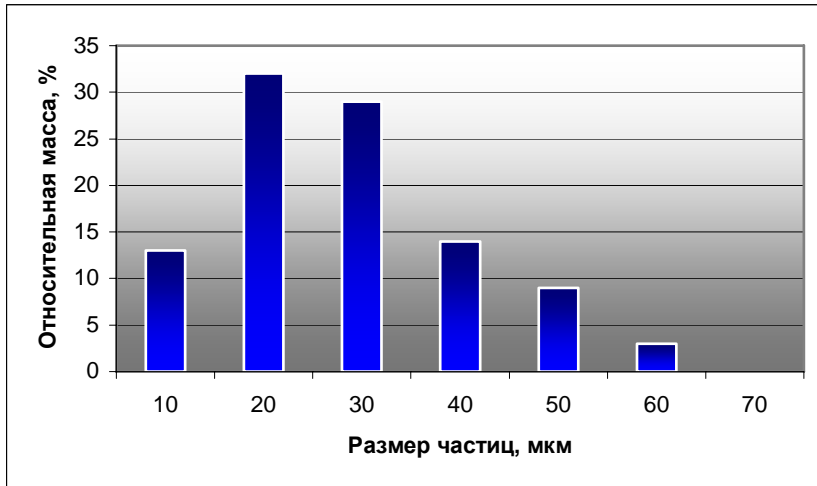
### Раздел 1. Загрязнения рабочих жидкостей. Показатели чистоты жидкости

Системы, полностью гарантированной от поступления загрязнений в рабочую жидкость, принципиально не существует. Несмотря на применяемые конструктивные меры, на всех стадиях жизненного цикла, от изготовления деталей машины на заводе до ее эксплуатации, имеет место поступление загрязнений в рабочую жидкость, в том числе при заправках, ремонтах, в процессе износа деталей в ходе эксплуатации, при подсосах через уплотнения гидроцилиндров и т.д.

Загрязнения в рабочих жидкостях и воздухе характеризуются *гранулометрическим составом*, который определяется путем подсчета количества частиц различных размеров в пробе жидкости стандартного объема (обычно, 100 мл). График распределения частиц по размерам называется *гранулометрической кривой*, которая с целью линеаризации обычно представляется в логарифмических координатах.

К наиболее распространенным классификационным системам следует отнести ГОСТ Р 17216-2001 (табл. 1.1.а) и ISO 4406 (табл. 1.1.б-в). Таблица 1.2 позволяет сравнить упомянутые, а также иные распространенные в мировой практике стандарты между собой.

Помимо гранулометрического состава, важным показателем загрязненности жидкости, регламентированным ГОСТ Р 17216-2001 является относительная масса механических примесей, т.е. *гравиметрический уровень*. Этот показатель применяется как комплексная характеристика загрязнения для целей сравнения и экспресс-анализа при эксплуатации или испытаниях однотипного оборудования.



В ряде случаев существенным является распределение массы механических примесей по размерным группам частиц (Рис.1.1).

Рис. 1.1 Относительный объем механических примесей в рабочей жидкости гидросистем карьерных и строительных машин

Важное значение для оценки вероятности задержания загрязнений фильтрами имеет форма частиц. Обычно, частицы размером до 7 мм имеют форму, близкую к сферической. Для частиц размером 7-35 мм характерна форма тел дробления с соотношением размеров 0,5:0,75:1. Частицы размером более 35 мм имеют зачастую совершенно неправильную форму, в том числе игольчатую (рис.1.2).



Рис.1.2. Микрофотография характерного осадка на фильтре гидравлической системы

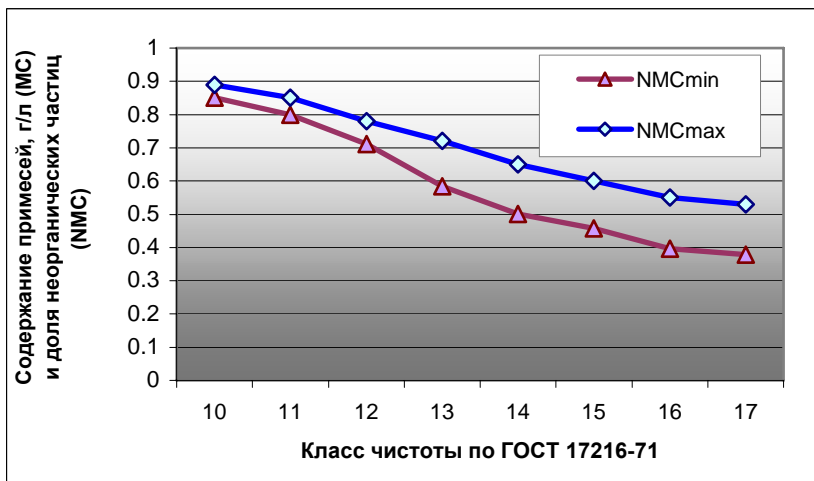


Рис. 1.3. Доля неорганических веществ в общей массе загрязнений

Одним из наиболее существенных параметров частиц, влияющих на износ привода, является их абразивность, определяемая физико-химическим составом загрязнений (табл.1.3), который, в свою очередь зависит от условий эксплуатации. Доля абразивных неорганических веществ в общей массе загрязнений (так называемая зольность), обычно составляет около 50%, увеличиваясь по мере улучшения чистоты жидкости (рис. 1.3).

## Раздел 2. Механизм влияния загрязненности на надежность гидросистем

Основными характеристиками надежности, зависящими от уровня промышленной чистоты, являются долговечность и наработка на отказ, причем первый относится только к агрегатам, а второй – также к системам и машинам (табл.2.1). Опосредованно загрязненность жидкостей влияет также на комплексные показатели надежности, например, коэффициент технической готовности, и производительность техники.

Таблица 2.1. Связь параметров загрязненности жидкостей и показателей надежности техники.

Показатель надежности	Механизм деструкции	Влияющий параметр загрязненности
Ресурс	Адгезионный износ	Концентрация механических примесей и воды
	Коррозия	Концентрация воды
	Кавитационный износ	Концентрация воздуха
	Эрозионный износ	Концентрация механических примесей
	Абразивный износ	
Нарботка на отказ	Засорение	Концентрация механических примесей и воды
	Заедание	

Механизм влияния загрязнений различной физической природы на надежность агрегатов различен (иллюстрируется рис. 2.1-2.4. на примере гидравлических систем).

Опыт эксплуатации техники показывает, что на долю отказов, вызванных загрязненностью рабочей жидкости, приходится до 90% от общего количества неисправностей (рис. 2.5)

С улучшением чистоты жидкостей меняется сама структура отказов мобильных машин. Существенно снижается доля неисправностей двигателей, насосов, гидроцилиндров и других дорогостоящих узлов привода, вызывающих наибольшие потери времени на ремонт и, соответственно, простои техники (рис. 2.6). Таким образом, улучшаются комплексные параметры надежности, например, коэффициент технической готовности (рис.2.7).

Улучшение чистоты рабочих сред особенно благотворно сказывается на ресурсе приводов (рис. 2.8.а, б). Для правильного понимания возможностей увеличения ресурса необходимо иметь в виду, что эксплуатационные нагрузки на привод, как правило, существенно ниже номинальных. Поэтому при разумной эксплуатации ресурс агрегатов должен быть существенно выше номинального, регламентируемого заводом-изготовителем на основании стендовых испытаний при номинальной нагрузке. Так, например, если завод-изготовитель гарантирует ресурс насоса 5000 часов при давлении 25 Мпа, то реальной гистограмме нагружения (Рис.2.9.) соответствует ресурс 32000 часов.

При обобщении данные подконтрольной эксплуатации подразделяются на три режима:

- *Рядовой*, характеризуемый загрязненностью жидкости на уровне 14-16 класса чистоты по ГОСТ 17216-71, причем содержание крупных частиц (размером свыше 50 мкм), превышает 10000 шт/л. Этот уровень характерен для большинства строительно-дорожных и горно-транспортных машин, при эксплуатации которых не проводятся специальные мероприятия.

- *Нормативный*, характеризуемый загрязненностью жидкости на уровне 12-13 класса чистоты по ГОСТ 17216-71, причем содержание крупных частиц (размером свыше 50 мкм), составляет 1000-5000 шт/л. Этот уровень соответствует нормативным требованиям большинства заводов-изготовителей машин и агрегатов.
- *Оптимальный*, характеризуемый загрязненностью жидкости на уровне 9-11 класса чистоты по ГОСТ 17216-71, причем крупные частицы (размером свыше 50 мкм) практически отсутствуют. Это уровень обеспечивает минимальный эксплуатационный износ агрегатов и отработку ими полного ресурса, органичиваемого только усталостной прочностью.

В *рядовом* режиме эксплуатации абсолютное большинство агрегатов привода недорабатывает свой ресурс и выходит из строя в результате абразивного износа или заедания деталей.

В *нормативном* режиме эксплуатации доля отказов из-за заедания деталей снижается, но абразивное изнашивание превалирует над усталостным разрушением. Значительно возрастает наработка на отказ, а ресурс гидроагрегатов приближается к нормативному, но по-прежнему имеет место существенная недоработка.

В *оптимальном* режиме эксплуатации усталостное разрушение или старение являются основными причинами неисправностей. Нарботка привода на отказ и ресурсы агрегатов значительно возрастают и многократно превосходят нормативные значения.

Типичные показатели надежности дизель-гидравлических приводов при эксплуатации в вышеперечисленных режимах указаны в табл. 2.2. Значения этих показателей получены в результате обобщения фактических данных об эксплуатации более 100 различных образцов горно-транспортной и строительно-дорожной техники, работающей в различных регионах мира.

**Таблица 2.2. Обобщенные показатели надежности дизель-гидравлических приводов в различных режимах эксплуатации**

Показатель надежности	Режим эксплуатации	Величина
Ресурс насосов, гидромоторов и гидроцилиндров	Рядовой	1500-3000 моточасов
	Нормативный	4000-5000 моточасов
	Оптимальный	15000-30000 моточасов
Ресурс дизеля	Рядовой	5000-8000 моточасов
	Нормативный	9000-12000 моточасов
	Оптимальный	12000-15000 моточасов
Нарботка привода на отказ	Рядовой	120 - 180 моточасов
	Нормативный	300 – 550 моточасов
	Оптимальный	900 - 1500 моточасов
Коэффициент готовности (только привод)	Рядовой	Менее 80%
	Нормативный	89% - 94%
	Оптимальный	96% - 98,7%
Время простоев машины из-за отказов привода	Рядовой	0,040 – 0,075 ч/моточас
	Нормативный	0,015 – 0,022 ч/моточас
	Оптимальный	0,007 – 0,012 ч/моточас

Обобщение данных экспериментальных исследований надежности машин, а также испытаний на чувствительность к загрязнению, с учетом типовой гистограммы нагружения

дает экспоненциальную зависимость между показателями загрязненности жидкости и надежности (рис. 2.10)

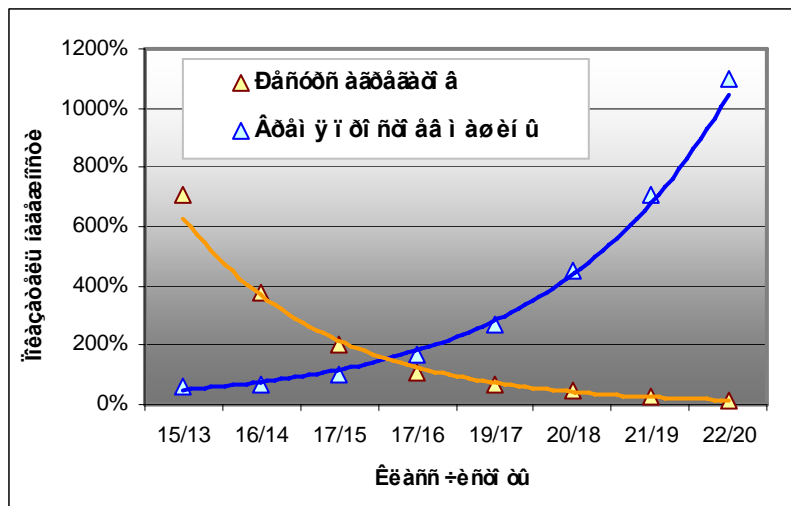


Рис.2.10. Зависимость показателей надежности от чистоты рабочей жидкости.

### Раздел 3. Требования, предъявляемые к уровню чистоты жидкости

Как правило, изготовители формулируют требования к чистоте рабочей жидкости из условия реализации номинального ресурса при номинальных параметрах нагружения.

Это значит, что изготовитель пытается ограничить загрязненность жидкости так, чтобы агрегат в течение заданного времени не вышел из строя по фактору абразивного износа, то есть его отказ был бы вызван усталостным разрушением, потерей прочности (эластичности, стабильности), или другой подобной причиной.

Номинальные требования к чистоте жидкости приведены в табл. 3.1.

Обеспечение надлежащей промышленной чистоты позволяет:

- многократно повысить ресурс основных агрегатов привода;
- поднять производительность техники за счет увеличения КПД привода;
- существенно увеличить коэффициент готовности машин;
- уменьшить расход топлива на 7-10% и гидрожидкости на 15-25%;
- сократить расходы на обслуживание и ремонт.

Дальнейшее повышение чистоты жидкостей до уровней, превосходящих требования заводов изготовителей позволяет добиться еще большей экономии ресурсов за счет:

- повышения долговечности агрегатов, приводов и систем;
- снижения времени простоев мобильных машин и уменьшения расходования материалов из-за отказов агрегатов;
- повышения энергетической эффективности привода за счет предотвращения чрезмерного снижения энергетических характеристик агрегатов по сравнению с номинальными.

С улучшением чистоты жидкости затраты на запчасти и расходные материалы при эксплуатации мобильной машины уменьшаются, а затраты на систему фильтрации

возрастают. Таким образом, важно определить и поддерживать оптимальный уровень чистоты, который необязательно будет совпадать с номинально установленным. Для определения оптимума определим величину комплексного критерия эксплуатационных затрат в виде:

$$K_{ZE} = (U_Z * (1+k_s)^{T_{mm}} + \sum(E_Z(1+k_s)^{-i} |_{i=1...T_{mm}}) / (B_{MM} * T_{mm})$$

Здесь  $U_Z$ ,  $T_{mm}$ ,  $E_Z$ ,  $B_{MM}$  – стоимость, \$; срок службы, лет; годовые затраты на эксплуатацию, \$/год; фактическая годовая производительность мобильной машины т/год,  $k_s$  – ставка кредитования,  $i$  – номер года.

Величины  $E_Z$  и  $B_{MM}$  связаны с параметрами загрязненности рабочей жидкости следующими соотношениями:

$$B_{MM} = B_{TMM} * (\eta_{av} / \eta_0) * K_{rdn}$$

$$E_Z = E_{Zfuel} + E_{Zsp} + E_{Zstf}$$

Здесь  $\eta_{av}$ ,  $\eta_0$ , – средний за срок службы и номинальный КПД привода,  $K_{rdn}$  – коэффициент технической готовности мобильной машины,  $E_{Zsp}$ ,  $E_{Zfuel}$ ,  $E_{Zstf}$  – соответственно затраты на энергию, запасные части и обслуживающий персонал, включая стоимость дополнительных систем фильтрации, \$/год.

Таким образом, для любого конкретного случая, с использованием данных об эксплуатационных затратах и надежности агрегатов может быть вычислен *оптимальный уровень* промышленной чистоты (иллюстрируется рисунком 3.1). Естественно, для каждого предприятия оптимальные уровни промышленной чистоты будут различны, в зависимости от специфики применяемой техники, транспортной ситуации и т.п.

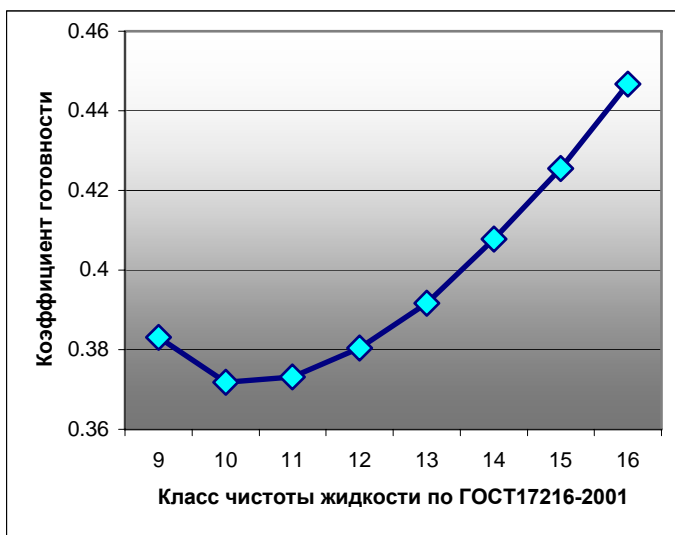


Рис. 3.1. Комплексный критерий эксплуатационных затрат как функция промышленной чистоты (по обобщенным данным эксплуатации экскаваторов с вместимостью ковша более 10 м<sup>3</sup> на разрезах СНГ).

#### Раздел 4. Фактическая загрязненность жидкости в приводах мобильных машин

Многолетние исследования доказали, что реальная загрязненность жидкости в приводах горно-транспортной и строительно-дорожной техники превышает номинальную в 2-4 раза, то есть на 2 класса чистоты по ГОСТ, и оптимальную в 4-8 раз, то есть на 3 класса чистоты.

Причина такого положения состоит в том, что штатные фильтры, устанавливаемые заводом-изготовителем в системы привода, не в состоянии справиться с реальной нагрузкой, сверхнормативно высокой вследствие:

- сильной загрязненности заправляемой жидкости;
- неудовлетворительной технологической очистки внутренних поверхностей систем и агрегатов привода;
- неудовлетворительным качеством применяемых воздушных фильтров (сапунов);
- высокой запыленностью воздуха в зонах работы мобильной машины.

На рис.4.1 показана зависимость загрязненности гидрожидкости от времени работы экскаватора после замены штатных фильтров. Из рисунка видно, что уже в первые 100 часов работы влияние фильтра практически перестает сказываться, и концентрация механических примесей достигает сверхнормативной величины. Специальный эксперимент с установкой фильтроэлементов повышенной эффективности (с гарантированной тонкостью фильтрации 10 и 25 мкм) в штатные линейные фильтры, позволил увеличить время их эффективной работы, но тем не менее не привел к желаемому результату (рис.4. 2).

Результаты эксплуатационных испытаний одиннадцати строительных экскаваторов идентичной конструкции, используемых в одном регионе в сходных условиях (рис.4.3.), показали, что фактическая концентрация механических примесей в жидкости в гидросистемах экскаваторов находится в пределах от 0,007% до 0,064% , тогда как нормативному 13 классу чистоты соответствует величина 0,005%. Естественно, основные гидроагрегаты на подобных экскаваторах вырабатывают лишь 30 - 70% номинального ресурса.

Ситуация усугубляется тем, что, так называемое «свежее масло» в большинстве реальных случаев является недопустимо грязным и содержит в 4-64 раза больше загрязнений, чем это допустимо с точки зрения эффективной эксплуатации современной техники. Практически это означает, что, например, из каждой бочки гидрожидкости перед заправкой ее в систему необходимо удалить от 18 до 75 грамм загрязнений.

Технические условия заводов изготовителей предусматривают следующую загрязненность жидкости в состоянии поставки:

- Согласно стандартам России на уровне 0,005-0,007% по массе, что соответствует  $2-4 \cdot 10^7$  частиц размером более 5 мкм на литр заправляемой жидкости, то есть 13-14 классу чистоты по ГОСТ17216-71 или 17/16-19/17 по ISO4406;
- Согласно стандартам США и Европы на уровне  $0,5 \cdot 10^6$  частиц размером более 5 мкм на литр заправляемой жидкости, то есть соответственно классу 16/11 по ISO4406. Однако, по данным фирмы Internormen, обычно чистота свежего масла находится на уровне класса 17/14, что соответствует  $1,3 \cdot 10^6$  частиц на литр.

На стадиях транспортировки и заправки загрязненность возрастает (зачастую до 0,025% содержания мехпримесей, то есть 16-го класса чистоты по ГОСТ), а химический состав остается без изменений.

Вообще, для большинства мобильных машин, и, прежде всего, строительно-дорожной и горной техники характерна высокая интенсивность загрязнения рабочих сред, что связано с сильной запыленностью окружающего воздуха и сложностью создания «чистых» условий обслуживания. Например, для карьерной техники можно полагать, что каждый литр заправляемого топлива или масла приносит более миллиона частиц, один кубометр воздуха в рабочей зоне машины содержит до 480 мг загрязнений, а в рабочую жидкость гидропривода поступает до  $1,75 \cdot 10^6$  частиц/л за моточас эксплуатации. При этом свыше 80% загрязнений по массе составляют частицы размером от 10 до 50 мкм с микротвердостью более  $400 \text{ кг/мм}^2$ , весьма опасные с точки зрения износа деталей. В таблице 4.1 и 4.2 приведены значения

интенсивности поступления загрязнений (ИПЗ) для различных видов техники в режиме эксплуатации.

**Таблица 4.1. ИПЗ в жидкостные энергосистемы**

Техника	$\zeta_i^{norm}$ , мг/л/час	$\zeta_i^{norm}$ , шт/л/час
Строительные и дорожные машины	3	$10^6$
Карьерное оборудование	5	$1,75 * 10^6$
Горно-шахтное оборудование	12	$5 * 10^6$
Металлорежущие станки	2	$5 * 10^5$
Автотранспорт	1,5	$3 * 10^5$
Сельскохозяйственная техника	4	$1,5 * 10^6$

**Таблица 4.2. ИПЗ в гидросистемы карьерного оборудования**

ИПЗ	Количество частиц, %, по размерам, мкм							Общее количество частиц	
	5-10	10-15	15-20	20-25	25-30	30-40	> 40	Мат.ожидание, шт/л/час	Коэф.вариации, %
Гидробак	52	35	7	3	2	0,8	0,2	$1,1 * 10^6$	28
Замкнутый контур	14	15	17	24	18	7	5	$0,34 * 10^6$	48
Гидросистема	41	30	9	7	7	5	1	$1,35 * 10^6$	31

Рекомендации стандартизованы применительно к уровню загрязненности, соответствующему 12 классу чистоты по ГОСТ17216-71 или классу 17/15 по ISO 4406. С изменением класса чистоты ИПЗ также будет меняться, и не только вследствие изменения интенсивности износа, но и потому, что реализация определенного уровня чистоты жидкости свидетельствует о наличии соответствующих технологических мероприятий по контролю процессов заправки, обслуживания, сборки и т.д. На Рис. 4.4. представлена номограмма пересчета.



**Рис.4.4. ИПЗ в зависимости от класса чистоты жидкости по ГОСТ 17216-71**

Очевидный вывод из вышеизложенного состоит в том, что обычные, штатные средства фильтрации, устанавливаемые на большинство мобильных машин в состоянии поставки, зачастую не могут обеспечить надежную работу техники в реальных условиях, существенно более неоднородных и жестких, чем нормативные. Поэтому потребитель, желающий использовать свой парк машин с высокой надежностью и эффективностью, вынужден применять специальные дополнительные мероприятия и технические средства для обеспечения чистоты рабочих жидкостей.

Единственная возможность обеспечения чистоты рабочей жидкости - снижение нагрузки на штатные фильтры за счет дополнительных технологических мероприятий, обеспечивающих:

- тщательную фильтрацию заправляемой жидкости;
- периодическую очистку гидрожидкости в системе с помощью дополнительного фильтра;

Наиболее эффективным из таких мероприятий является использование внелинейных фильтрационных установок.

## Раздел 5. Внелинейная фильтрация

Внелинейная система фильтрации (рис.5.1) представляет собой насосный агрегат (Н2) с независимым приводом от мини-ДВС или электродвигателя, смонтированный на раме или тележке вместе с фильтром, соединительными шлангами, необходимой арматурой и снабженный высокоэффективным фильтром (Ф3) и позволяет сформировать совершенно независимый круг циркуляции, способный обеспечить очистку жидкости даже тогда, когда основная система не работает. Соответственно обслуживание внелинейного фильтра может также производиться в произвольном графике, вне зависимости от загрузки мобильной машины.

Использование внелинейных установок очень эффективно в тех случаях, когда штатные фильтры не справляются с фактической нагрузкой и не могут обеспечить реализацию необходимой гранулометрической кривой. Монтаж внелинейных фильтровальных установок позволяет добиться результата с минимальными затратами (рис. 5.2).

Внелинейные установки в передвижном исполнении могут использоваться не только в составе систем фильтрации, но и независимо, для предпусковой и послеремонтной подготовки, а также заправки жидкости.

Поскольку загрязнения в рабочих жидкостях имеют разнообразную физическую природу, использование фильтров, обеспечивающих эффективное удаление частиц определенной крупности вне зависимости от их удельного веса существенно более эффективно, чем применение центробежных очистителей.

Основу большинства современных внелинейных фильтровальных установок составляют линейные фильтропатроны, в которых стакан является самостоятельным корпусом фильтроэлемента и заменяется одновременно с ним (рис. 5.3, 5.4). В крышке фильтропатронов размещается байпасный клапан и индикатор загрязненности. Преимуществом фильтропатронов является удобство замены фильтроэлемента, которая

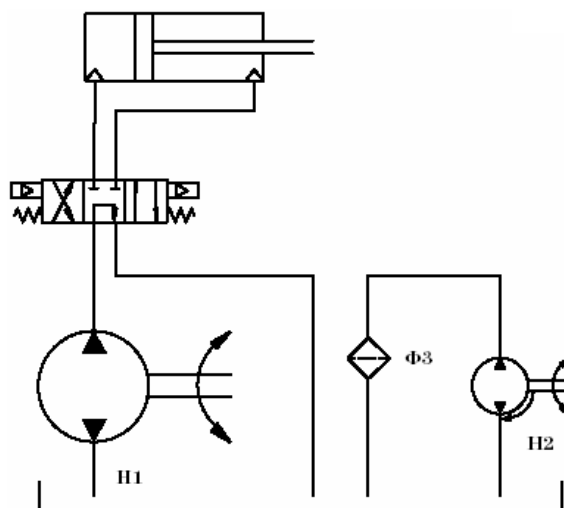


Рис.5.1. Схема внелинейной фильтрации в простейшей одноконтурной системе

может быть произведена с минимальным загрязнением окружающей среды рабочей жидкостью. В системах мобильных машин промышленности фильтропатроны составляют более 70% применяемых жидкостных фильтров. Основной составляющей фильтропатрона является фильтроэлемент со звездообразной шторой (рис. 5.5, 5.6.). Фильтрующая штора у элементов этого типа обычно выполняется звездообразной гофрированной, склеивается по образующей цилиндра, а по торцам приклеивается к крышкам. Прочность фильтроэлемента в радиальном направлении обеспечивается обечайками. Тонкость фильтрации, обеспечиваемая фильтроэлементом, зависит от типа применяемого фильтроматериала, формируемого из переплетенных целлюлозных, стеклянных, металлических или полимерных волокон (рис. 5.7, 5.8). Загрязнения задерживаются как на поверхности, так и в глубине фильтроматериала (рис. 5.9). Основными техническими характеристиками фильтропатронов являются (рис. 5.10):

- гидравлическая (зависимость перепада давления от потока жидкости)
- ресурсная (зависимость перепада давления от массы задержанных загрязнений)
- фильтрационная (процент частиц определенного размера, задерживаемых за один проход жидкости через фильтропатрон)

Внелинейные фильтровальные установки применяются для периодической, обычно каждые 50-100 моточасов, фильтрации жидкости в баках гидравлических систем. Производительность внелинейных фильтровальных установок составляет 10-50 л/мин, при тонкости фильтрации от 3 до 10 мкм. Рекомендуемое время очистки соответствует двадцатикратному пропусканию всего объема жидкости, имеющейся в гидросистеме, через фильтр внелинейной установки, и обычно составляет 4-8 часов. Эффективность внелинейной фильтрации существенно зависит от конструктивных особенностей гидросистемы. Несомненным достоинством этой технологии для горных предприятий является возможность применения одной внелинейной установки для обслуживания нескольких машин, а также для заправки рабочих жидкостей, наряду со специальным оборудованием.

Внелинейные фильтровальные установки могут использоваться и для регенерации масел. Устранение отказов в полевых условиях приводит к проникновению в гидросистему большого количества частиц и, соответственно, к нерегламентированной нагрузке на фильтры, что, в свою очередь, ведет к лавинообразному росту концентрации загрязнений и, как следствие, к отказам гидроаппаратуры. В подобных случаях применение внелинейной фильтрационной установки как основы технологического регламента послеремонтной очистки жидкости весьма выгодно.

При периодической очистке жидкости в гидросистеме для продления реального ресурса штатных (линейных) фильтров установка подключается к системе привода периодически, на несколько часов, и, прогоняя жидкость через высокоэффективный фильтр, доводит уровень ее чистоты до требуемого состояния (см. рис.5.11). Естественно, впоследствии, при работе, загрязненность будет увеличиваться, что и определит время следующей очистки.

Для обеспечения чистоты жидкости в гидросистеме, например, экскаватора с емкостью ковша до 1 м<sup>3</sup>, достаточно использовать установку 1 раз в неделю.

Важнейшим преимуществом установки является возможность очистки гидропривода без потери рабочего времени, в ходе использования гидрофицированной машины на объекте. Это качество ценно не только с точки зрения минимизации потерь рабочего времени, но и для полноценного удаления частиц из гидросистемы. Дело в том, что после остановки привода большинство загрязняющих частиц «прилипает» к стенкам трубопроводов и поверхностям агрегатов, причем время осаждения исчисляется минутами. Поэтому фильтрационная установка, очищающая бак при выключенном дизеле или даже при работе на холостом ходу, не «видит» многих загрязнений. Полноценная очистка может быть обеспечена только в

реальном рабочем цикле, характеризуемом определенной дозой потока и вибрациями, и в этом смысле портативная фильтрационная установка является уникальной.

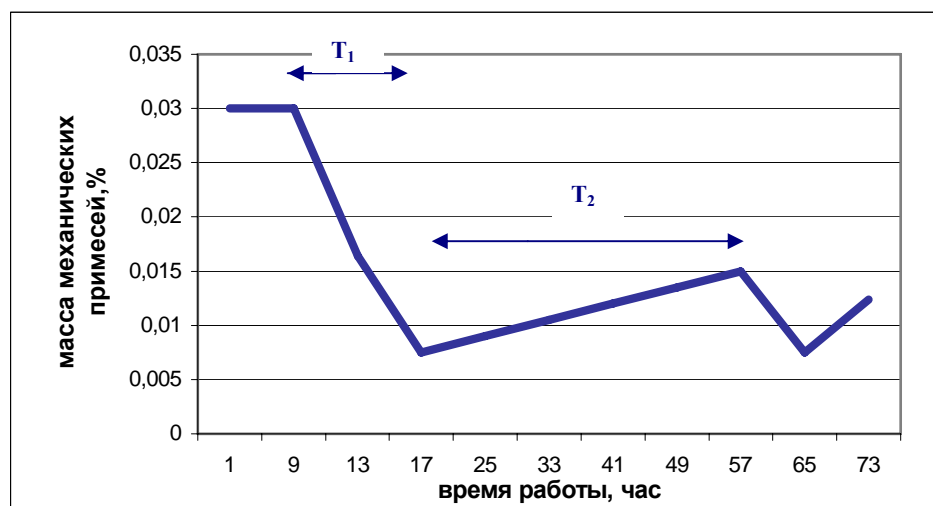


Рис.5.11. Зависимость концентрации загрязнений от времени работы при применении дополнительных фильтровальных установок (T<sub>1</sub> – время очистки, T<sub>2</sub> – время работы)

Внелинейные передвижные и портативные фильтровальные установки получили широчайшее применение в мировой практике. Трудно найти предприятие, эксплуатирующее оборудование, с гидравлическими приводами или ДВС, на котором бы подобные установки тех или иных конструкций не использовались бы для заправки и обслуживания техники. Они производятся практически всеми крупными изготовителями фильтрационного оборудования (HYDAC, Internormen, Normann, Filtroil и т.д.)

## Раздел 6. Экономическая эффективность применения портативных фильтрационных установок

Эффективность обеспечения качества рабочих жидкостей в приводах гидрофицированной техники с помощью применения фильтрационных установок многократно проверена на практике. Важными результатами также являются:

- Резкое уменьшение числа крупных частиц в жидкости, что приводит к практическому исчезновению внезапных отказов клапанно-распределительной аппаратуры и значительному снижению интенсивности отказов гидролиний (рукавов, трубопроводов и пр.)
- Значительное повышение ресурса рабочей жидкости в связи с замедлением процессов окисления, для которых загрязнения являются катализатором.
- Повышение ресурса штатных фильтров привода за счет значительного снижения нагрузки на них.

**Примеры результатов проведения спецмероприятий  
по очистке жидкости в системах мобильных машин**

*Пример №1. Мощные гидравлические экскаваторы,  
работающие на добыче угля открытым способом.*

Количество испытуемых экскаваторов		11
Среднее время подконтрольной эксплуатации	<i>До применения спецмероприятий</i>	1780 моточасов
	<i>После применения спецмероприятий</i>	10226 моточасов
Чистота жидкости	<i>До применения спецмероприятий</i>	15 класс
	<i>После применения спецмероприятий</i>	10 класс
Максимальная крупность частиц загрязнений в жидкости	<i>До применения спецмероприятий</i>	200 мкм
	<i>После применения спецмероприятий</i>	40 мкм
Эффективный ресурс линейных фильтров	<i>До применения спецмероприятий</i>	230 моточасов
	<i>После применения спецмероприятий</i>	1750 моточасов
Долговечность рабочей жидкости (по фактору химсостава)	<i>До применения спецмероприятий</i>	2000 моточасов
	<i>После применения спецмероприятий</i>	5000 моточасов

*Пример №2                      Строительные экскаваторы с емкостью ковша 0,5 – 6 м<sup>3</sup>*

Количество испытуемых экскаваторов		17
Среднее время подконтрольной эксплуатации	<i>До применения спецмероприятий</i>	6000 моточасов
	<i>После применения спецмероприятий</i>	7500 моточасов
Чистота жидкости	<i>До применения спецмероприятий</i>	17 класс
	<i>После применения спецмероприятий</i>	11 класс
Максимальная крупность частиц загрязнений в жидкости	<i>До применения спецмероприятий</i>	200 мкм и более
	<i>После применения спецмероприятий</i>	40 мкм
Эффективный ресурс линейных фильтров	<i>До применения спецмероприятий</i>	120 моточасов
	<i>После применения спецмероприятий</i>	1500 моточасов
Долговечность рабочей жидкости (по фактору химсостава)	<i>До применения спецмероприятий</i>	2000 моточасов
	<i>После применения спецмероприятий</i>	5000 моточасов

## Раздел 7. Контроль загрязненности рабочей жидкости

Основными задачами контроля состояния загрязненности являются:

- при заправке жидкости - определение соответствия заправляемой жидкости требуемому стандарту
- при очистке жидкости- определение уровня загрязненности жидкости в процессе эксплуатации.

Фактическое состояние рабочей жидкости характеризуется ее вязкостью, а также следующими параметрами, отнесенными к единице объема жидкости:

- масса загрязняющих частиц;
- количество загрязняющих частиц определенного размера;
- масса воды;
- масса продуктов износа.

Эксплуатационные мероприятия, назначаемые на основании информации о фактических значениях параметров состояния рабочих жидкостей:

- замена рабочей жидкости;
- запрещение заправки некондиционной жидкости в системы машин;
- замена фильтрующих элементов (картриджей) в штатных фильтрах;
- дополнительная очистка жидкости «внелинейными» (“off-line”) фильтровальными установками;
- технологическая очистка гидросистемы;
- замена насосов и/или гидромоторов;
- капитальный ремонт гидромашин или двигателей (дизелей);
- замена уплотнений гидроцилиндров.

Своевременное проведение перечисленных эксплуатационных мероприятий обеспечивает значительное повышение надежности и производительности техники (см. выше). Кроме того, контроль параметров состояния рабочих жидкостей предоставляет косвенные данные о правильности и аккуратности проведения оператором машины назначенных регламентных работ.

Технологический процесс контроля загрязненности подразделяется на следующие операции:

- отбор пробы;
- транспортировка и хранение пробы;
- обработка пробы;

Основной задачей пробоотбора является обеспечение максимально возможного соответствия содержания загрязняющих частиц в пробе реальным характеристикам исследуемой системы в целом.

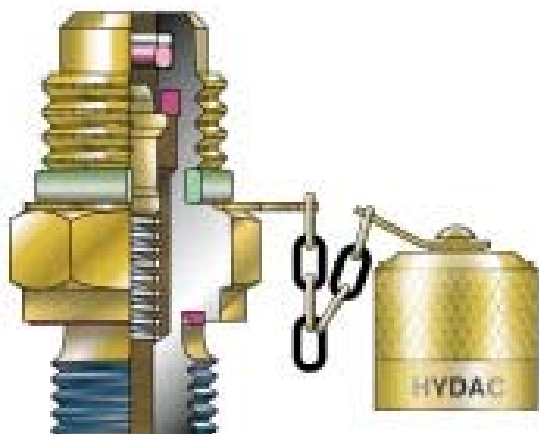
Существует два способа пробоотбора:

- Статический, когда проба отбирается из емкости (гидробака, транспортного сосуда и пр.) с помощью специального шприца;
- Динамический, когда проба отбирается из потока жидкости с помощью специального пробоотборного устройства по технологии, регламентированной стандартом ISO 4021 или специальными методиками.

Внелинейная портативная фильтровальная установка снабжена пробоотборником, предусматривающим отбор проб для контроля загрязненности динамическим способом.

Пробоотборник представляет собой штуцер с обратным клапаном (рис.7.1) и устанавливается на входном патрубке в блок фильтропатрона.

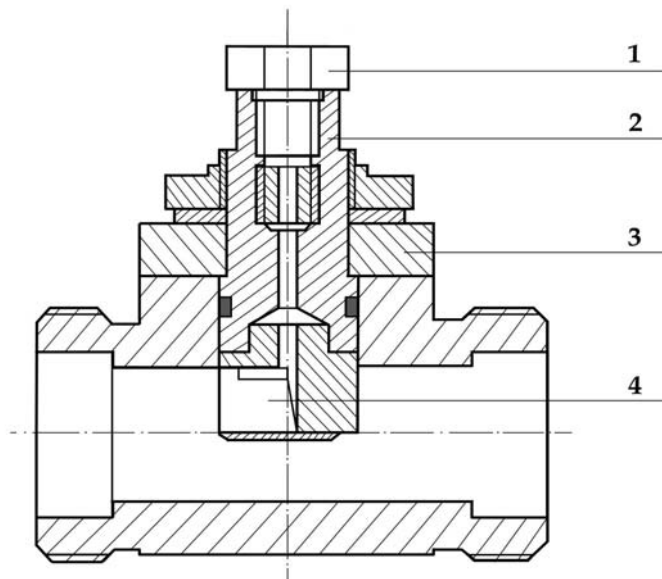
Для повышения достоверности пробоотбора пробоотборник установлен в месте повышенной турбулентности потока с целью достаточного перемешивания частиц загрязнений.



**Рис.7.1. Штуцер с обратным клапаном (пробоотборник), фирма “HYDAC”**

Недостатками пробников типа представленного на рис.7.1., является то, что он отбирает пробу из пристеночных слоев исследуемого трубопровода, тогда как в реальных условиях имеет место ламинарный либо переходный режим истечения жидкости. Поэтому, если проба отбирается так, что часть частиц в нее не попадает, это приводит к искажениям результатов. Именно поэтому большое значение придается турбулизации потока перед пробоотборником, а также размещению пробоотборника на местных сопротивлениях, таких как повороты, сужения и пр.

В этой связи очевидно, что адекватный пробоотбор-пробоотборник должен обеспечить представительную выборку всех “слоев” потока. Схема такого пробоотборника, показана на рис.7.2. Данное устройство, получившее обозначение AV, имеет приемное окно в виде сектора с вершиной, расположенной на оси трубопровода. Такая конструкция направляет в пробоотборное окно как бы сектор потока, что позволяет устранить смещение, вызванное неравномерностью распределения частиц по диаметру трубопровода.



**Рис.7.2. Конструкция пробоотборника AV**

Пробоотборник AV устанавливается в трубопровод, и положение поворотной части таково, что пробоотборное окно направлено в сторону, соответствующую направлению потока жидкости. Это исключает засорение пробоотборного тракта в нерабочее время. Для отбора пробы поворотную часть поворачивают на 180°, при этом пробоотборное окно направляется навстречу потоку. Наполнив пробоотборную емкость, поворотную часть возвращают в исходное положение.

Кроме пробоотборника, для подготовки пробы к транспортировке необходимы приспособления, перечисленные в табл. 7.1.

Обработка проб жидкости производится методами:

- весового контроля (ГОСТ 6370-83 и ISO 4405);
- оптико-микроскопического контроля (ISO 4407);
- экспресс-анализа с применением автоматических счетчиков частиц;
- контроля химического состава примесей.

В современных условиях, особенно для предприятий, эксплуатирующих мобильную технику, наиболее перспективным является экспресс-анализ. Многими изготовителями (Hydac, Internormen, Pall и др.) выпускаются специальные комплекты для экспресс-контроля загрязненности жидкости механическими примесями (табл. 7.2). С помощью этих комплектов производится подготовка пробы, то есть осаждение загрязнений на лабораторном фильтре. Затем загрязненный фильтр сравнивается с эталоном. Общим для всех методов экспресс анализа является то, что результаты имеют сравнительный характер и при их интерпретации используются оригинальные тарировки.

Для экспресс-контроля обводненности жидкости также производятся специальные комплекты. Их применение основано на добавлении реагентов в исследуемую пробу и перемешивании ее в герметичном контейнере, снабженном манометром. Обводненность приводит к повышению избыточного давления в контейнере, а манометр оттарирован в процентах содержания воды в жидкости. Подобные комплекты позволяют измерять содержание воды в диапазоне 0 – 0,6%.

Весьма интересен экспресс-метод определения содержания тех или иных химических элементов в жидкости, который может быть успешно использован для оперативной диагностики систем и агрегатов по параметру изменения состава загрязнений. Для реализации этого метода предлагаются портативные комплекты (например, фирмы CHEMetrics). Технологически процедура необычайно проста – исследуемая жидкость набирается в специальную ампулу, содержащую соответствующий реактив. По изменению цвета (эталонная шкала прилагается) судят о содержании того или иного химического элемента. Процедура повторяется для каждого искомого элемента, а существующее оборудование позволяет определять концентрацию железа, меди, марганца, молибдена и пр. вплоть до уровня 0,05 ppm (частей на миллион).

Применение оборудования для экспресс-контроля в практике эксплуатации мобильных машин весьма эффективно, ибо обеспечивает:

- Оперативное вмешательство в ситуацию и, соответственно, недопущение катастрофического износа;
- Простоту, наглядность и достаточную частоту контроля;
- Повышение культуры обслуживания.

Относительно невысокая абсолютная точность экспресс - анализов при этом не суть важна, поскольку в данном случае решается не исследовательская проблема, а задача обеспечения стабильной эксплуатации. Вместе с тем, для исключения грубых ошибок, желательно произвести предварительную коррекцию тарировки прибора для экспресс анализа.