

ТРИБОТЕХНИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ ФИЛЬТРАЦИИ. ОЧИСТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАСЕЛ ПО ТЕХНОЛОГИИ ФИРМЫ PALL.

Любая гидравлическая система или система смазки загрязнена уже после заводской сборки. В любом компоненте системы, будь то насосы, клапаны, двигатели, трубопроводы, в масле уже имеются загрязняющие частицы (например, остатки материала, образовавшиеся при изготовлении). При сборке в систему попадают и другие частицы.

С момента ввода системы в эксплуатацию, степень ее загрязнения увеличивается вследствие износа. Кроме того, загрязнения из окружающей атмосферы попадает в систему через вентиляционные отверстия, поверхности поршневых штоков, уплотнения и т.д.

Загрязнение увеличивается при отказе узлов системы, открывании соединительных элементов (трубных и шланговых соединений), при регулярных проверках. Частички грязи попадают в установки также при доливке масла для гидросистем во время открывания емкости, а также вследствие загрязнения свежего масла.

Загрязнения бывают: твердые (частицы), жидкие (вода) и газообразные.

ЗАГРЯЗНЕНИЯ

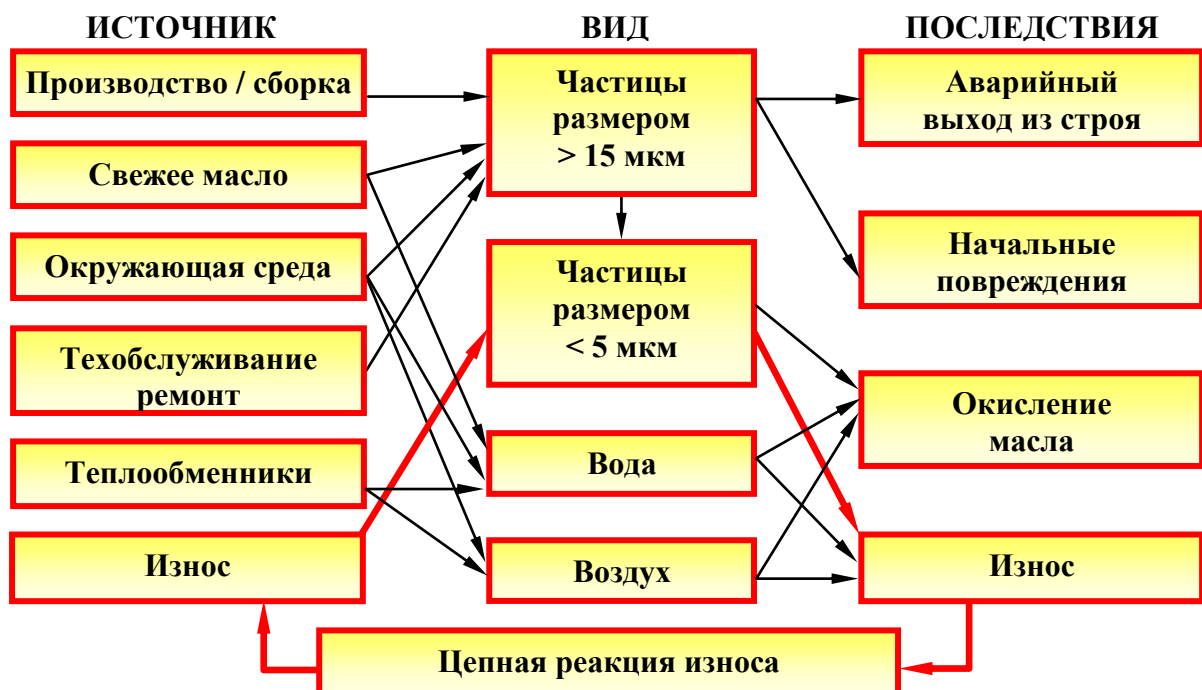


Рис. 1 - Взаимосвязь между источником загрязнения, видом загрязнения и последствиями.

1. Внезапный отказ и прогрессирующее падение коэффициента полезного действия.

Фирма PALL провела обширные исследования, которые показали, что 70-80% выходов из строя гидравлических и смазочных систем зависят от загрязнения рабочей или смазочной жидкости.

Загрязненная рабочая жидкость приводит к двум видам повреждений:

- аварийным выходам из строя (внезапным отказам) при содержании частиц > 15 мкм;
- прогрессирующему падению коэффициента полезного действия и сокращению срока службы компонентов систем и рабочей жидкости при содержании частиц < 5 мкм, воды и воздуха (газов).

При аварийном выходе из строя, повреждения вызываются внезапным отказом одного из компонентов системы, например: заклинивание клапана, насоса или двигателя.

Прогрессирующее падение коэффициента полезного действия возникает в ходе эксплуатации вследствие непрерывного износа отдельных компонентов. При этом увеличиваются зазоры между узлами и возрастают внутренние утечки. Потеря мощности узлов со временем увеличивается настолько, что возникает необходимость их замены. Падение коэффициента полезного действия часто начинается из-за начальных повреждений при пробном запуске.

На повреждение системы указывают следующие симптомы:

- более длительный рабочий цикл;
- слишком высокая вибрация подшипников;
- отсутствие необходимого давления;
- повышение температуры масла

2. Механизмы износа.

Износ определяется как отделение частичек от поверхностного слоя какого-либо тела при механическом контакте.

Виды износа

Абразия
Эрозия
Усталость
Адгезия
Кавитация
Коррозия

Главная причина

Частицы между движущимися поверхностями
Частицы с высокой скоростью
Частицы между перекатывающимися поверхностями
Сваривание в холодном состоянии
Недостаточное условие прохождения жидкости
Химические/электрохимические реакции

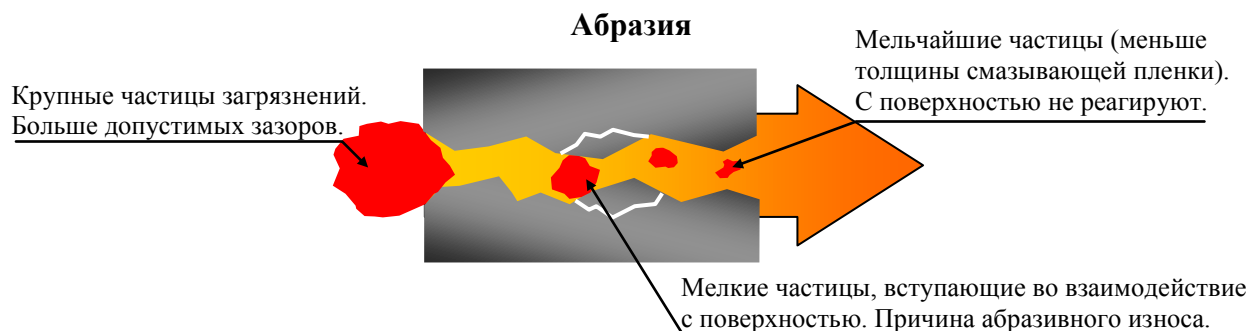


Рис.2 - Износ деталей в результате абразии.

Абразия (износ вследствие истирания) происходит, если две разные поверхности твердых тел входят в соприкосновение. Она обнаруживается, если соприкасаются между собой поверхности компонентов и загрязняющие частицы. Главную ответственность за износ вследствие истирания несут частицы, размеры которых соответствуют ширине зазора между двумя движущимися деталями. Они заклиниваются в зазоре и, вследствие движения деталей, оказывают значительное воздействие на поверхность, результатом которого является отрыв новых частиц.

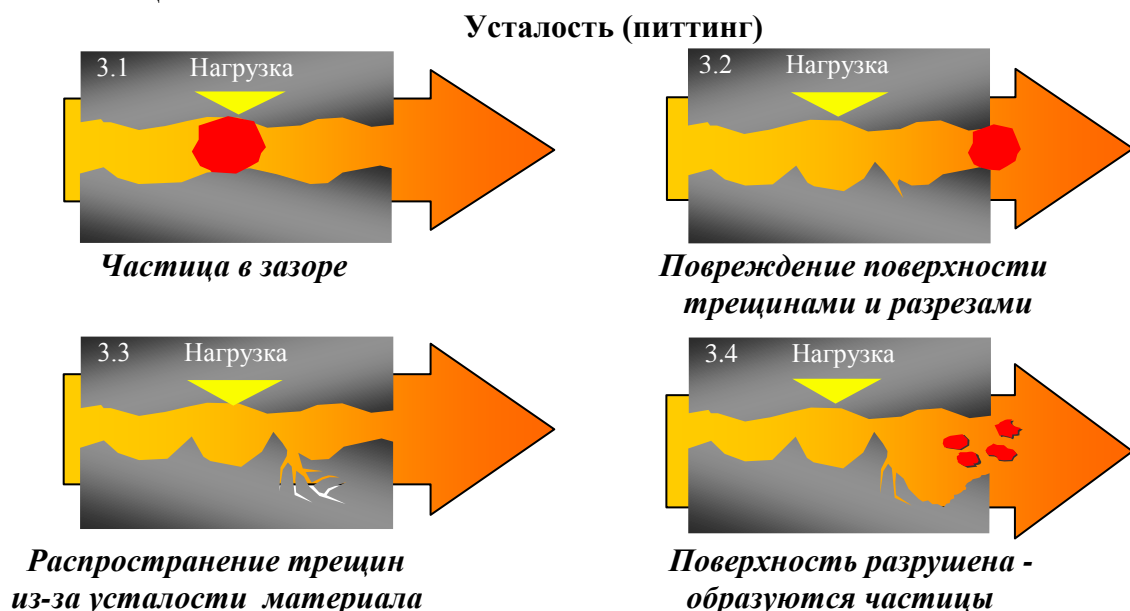


Рис.3 - Поверхностная усталость (питтинг)

Между катящимися друг по другу деталями, например, между телом качения и дорожкой подшипника или поверхностями зубьев, находящихся в зацеплении зубчатых колес, образуется **эластогидродинамическая (ЭГД) смазочная пленка**, которая отделяет поверхности друг от друга. Если в смазочной жидкости находятся частицы, размеры которых больше толщины ЭГД - смазочной пленки, то эти частицы при перекачивании будут выходить за пределы смазочной пленки (рис 3.1.). В этот момент вся нагрузка переносится через частицу что приводит к поверхностному прессованию с большим усилием и ведет к повреждению поверхности и началу разлома в этом месте (рис. 3.2.). При каждом следующем перекачивании поврежденного места, оно подвергается переменной нагрузке. Следствием этого является увеличение разлома (микротрещины) под поверхностью (рис.3.3.). В конце концов, из поверхности выбивается материал. Этот механизм называется **"pitting" (питтинг)** (рис. 3.4). Следствием питтинга является образование новых частиц в системе, которые при перекачивании измельчаются с образованием мельчайших (< 5 мкм) частиц.

Так начинается **цепная реакция износа** (см. рис.1), которая ведет к увеличению зазоров допусков компонентов, и вместе с ними – к внутренним утечкам масла.

Увеличение загрязнения вследствие накопления множества мелких частиц ведет к зашламлению, что в свою очередь ухудшает свойства протекания, например, клапанов и распределителя жидкой смазки. Под воздействием давления может образоваться конгломерат, который заклинивает компоненты. Это обозначается термином **"silting" (силтинг)**.

Как было отмечено ранее, в результате износа, зазор между движущимися деталями в узлах системы увеличивается. На примере деталей насоса, это приводит к увеличению объема жидкости, протекающего через этот зазор. Так двукратное увеличение радиального зазора вызывает восьмикратное увеличение потока жидкости. Другим результатом износа является повреждение поверхности шестерни (или подшипника), что увеличивает сопротивление качению в насосах, трансмиссиях, подшипниках.

Все это приводит к увеличению потребляемой мощности и снижению коэффициента полезного действия машин. В результате стоимость эксплуатации оборудования возрастает. Потери мощности на трение в результате износа оборудования превращаются (почти на 100%) в тепло, что приводит к повышению установленной эксплуатационной температуры рабочей жидкости и, следовательно, ускоряет окисление масла и снижает срок его службы. На практике установлено, что начиная с 60 °С, при каждом повышении температуры на 10 °С, срок службы масла снижается в 2 раза. То есть, если принять срок службы масла при 60 °С равным 100%, тогда при 70 °С он составит около 50%, а при 80 °С около 25%.

Твердые частицы, приводящие к износу всегда имеют размер > 10 мкм. Поскольку человеческому глазу не видны частицы меньше 40 мкм, контроль жидкости на загрязнение должен проводиться при помощи микроскопа или автоматического счетчика частиц.

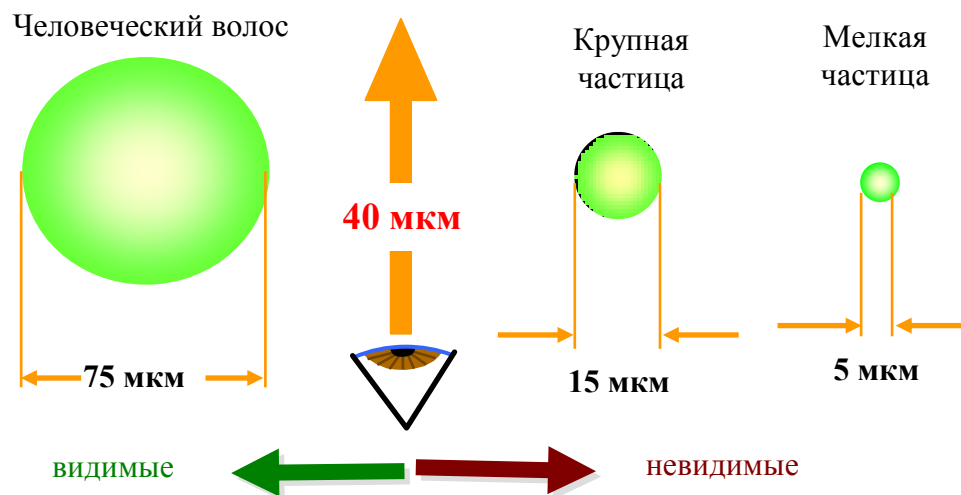


Рис.4 - Представление о размерах частиц

3. Влияние воды в масле на скорость износа оборудования и старение масла.

Вода является второй главной (после твердых загрязнений) причиной неполадок и аварий в гидравлических и смазочных системах.

Последствия содержания воды в масле:

- неожиданные аварии (склеивание и блокирование компонентов продуктами старения масла и химических реакций; замерзание компонентов при низких температурах);
- проблемы с системой регулирования и управления;
- ускоренный износ компонентов (кавитации; коррозия; уменьшение несущих свойств смазочных пленок);
- ускоренный процесс потери качества рабочей жидкости (химические реакции с присадками; ускоренное **старение рабочей жидкости** в результате гидролиза).

Таблица 1. - Ускоренный износ пластинчатого насоса

Условия испытания (содержание воды)	Потеря веса (мг)	
	Масло А	Масло В
«отсутствие» воды	60	40
500 ppm (0,05 %)	130	28500

Таблица 2. - Ускоренный износ подшипников качения

Смазочная жидкость	Содержание воды	Относительный срок службы
SAE 20	25 ppm (0,0025 %)	2,59
SAE 20	100 ppm (0,01 %)	1
SAE 20	400 ppm (0,04 %)	0,59

Старение масла является (очень сложной) химической реакцией из-за:

- окисления (химическая реакция с кислородом),
- гидролиза (химическая реакция с водой).
- появления в результате цепной реакции износа «свободных радикалов» и твердых частиц меди и железа, имеющих каталитические свойства.

Скорость процессов старения (в определенной степени) зависит от рабочей температуры технологической жидкости.

Кислотное число.

Во время химического старения масла вместе с высокомолекулярными полимерными соединениями образуются кислоты. Увеличение степени кислотности является мерой старения масла и измеряется кислотным числом КЧ (количество миллиграммов гидроокиси калия [мг КОН], которое требуется для нейтрализации одного грамма масла).

Высокая кислотность масла означает, что масло становится агрессивным по отношению к: уплотнениям, металлическим поверхностям, человеческой коже.

Поэтому производители масел как правило рекомендуют **заменить масло если КЧ >2 (4)**.

Таблица 3. - Ускоренное старение масла в зависимости от содержания воды и катализаторов

Испытание №	Катализатор	Вода	Колич. часов	Рост КЧ
1	Нет	Нет	>3500	0,17
2	Нет	Да	>3500	0,90
3	Железо	Нет	>3500	0,65
4	Железо	Да	400	8,10
5	Медь	Нет	>3000	0,89
6	Медь	Да	100	11,20

КЧ нового масла - 0,17 мг КОН/гр.

Таблица 4. - Рекомендуемое содержание воды для гидравлических и смазывающих жидкостей*

	Абсолютное содержание воды	Относительное содержание воды
Оптимальное	200 ppm (0,02 %)	40 %
Максимальное	500 ppm (0,05 %)	90 %

* Для стандартного применения, в специальных случаях эти значения могут отличаться

Таким образом, для обеспечения безотказного и со слабым износом функционирования гидравлических систем, систем смазки и регулирования, необходимо добиться удаления как крупных (> 15 мкм), так и мельчайших (< 5 мкм) частиц.

В идеале все частицы должны быть полностью извлечены, т.е. рабочая жидкость должна быть «абсолютно» чистой. Однако, зачастую это приводило бы к таким высоким затратам, что фильтрация оказалась бы неэкономичной и не оправдала бы свое существование в качестве планово-предупредительного ремонта. Поэтому необходимо, как показывает многолетний опыт осуществления концепции износозащитной фильтрации, согласиться с наличием определенного остаточного загрязнения рабочей жидкости, при котором и, не смотря на него, возможна безотказная и со слабым износом, а значит и экономически оптимальная эксплуатация оборудования.

Поэтому, **основная задача фильтрации масел заключается в удалении частиц таких размеров, которые равны или больше чем толщина смазочной пленки или допуски зазоров взаимодействующих компонентов системы.** Это сводит до минимума износ систем смазки и их потребителей. При этом, при наличии соответствующей очистки, "автоматически" удаляются и частицы более крупных размеров, которые могут привести, например, к заклиниванию маслораспределителей или к «разъединению» насосов.

4. Типичные размеры зазоров и толщина смазочной пленки.

Как указано выше, необходимый коэффициент очистки масла определяется величиной критических зазоров или толщиной смазочной пленки компонентов. В описании СЕТОР РР 92Н (табл. 5.) приводятся типичные критические зазоры узлов гидравлической системы. Приведенные значения должны будут еще более уменьшаться в будущем. И соответственно этому будет возрастать необходимость высококачественной фильтрации.

Таблица 5. - Описание СЕТОР РР 92Н, выдержки.

Деталь		Типичный критический зазор, мкм
Шестеренчатый насос (под давлением)	Шестерня – боковая пластина	0,5 - 5
	Вершина зуба - корпус	0,5 - 5
Пластинчатый насос	Вершина	0,5 – 5
	Боковые стороны	5,0 – 13
Поршневой насос	Поршень – внутренний зазор	5,0 – 40
	Пластина клапана (цилиндр)	1,5 - 10
Сервоклапан	Сопло	130,0 – 450
	Заслонка	18,0 – 63
	Золотник (рад. зазор)	2,5 – 8
Регулировочный клапан		130,0 – 10 000
	Сопло	2,5 – 23
	Золотник (рад. зазор)	1,5 – 5
	Конический клапан	13,0 – 40

Приведенные в табл. 6 значения толщины эластогидродинамической пленки (ЭГД) взяты из обзора, опубликованного в 1984 г. "Сборник по контролю материалов": {Wear Control Manua) М. Б. Патерсоном и В.О. Вайнером , ASME (American Society of Mechanical Engineers).

Поскольку при местном разрыве смазочной пленки частицами имеется опасность трения твердых тел, то здесь нужно добиваться, чтобы смазочная пленка сохранялась.

Таблица 6. - Типичная толщина смазочной пленки подвижных элементов машин.

Элемент машин	Толщина пленки, мкм
Подшипник качения	0,1 – 1,0
Гидростатический подшипник скольжения	0,5 – 100,0
Гидродинамический подшипник скольжения	1,0 – 25,0
Зубчатая пара	0,1 – 1,0
Уплотнения	0,05 – 0,5

5. Чистота масла.

Решающее влияние на износ системы наряду с размерами частиц, оказывает и их количество. Чем больше частиц, тем быстрее идет износ.

Для каждого технологического оборудования систем гидравлики, смазки и регулирования, существует допустимая степень остаточного загрязнения в масле (класс чистоты), регламентированная государственными и международными стандартами (из которых чаще всего применяются ISO-4406 и ГОСТ 17216, см. табл. 7 - 9).

„Новая“ редакция ISO 4406 (ISO 4406: 1999) состоит из двух частей:

Определение класса чистоты подсчетом под микроскопом:

- все частицы > 5 мкм
- все частицы > 15 мкм

Определение класса чистоты с помощью автоматического счетчика частиц (АСЧ), калиброванного испытательной пылью:

- все частицы > 4 мкм (факультативно)
- все частицы > 6 мкм
- все частицы > 14 мкм

Полученное количество кодируется. Так, например, выражение "чистота масла 15/12 по ISO 4406" означает, что в 100 мл жидкости присутствуют или допускаются от 16.000 до 32.000 частиц размером > 5 мкм, и от 2.000 до 4.000 частиц размером >15 мкм (см табл. 7).

6. Требуемые классы чистоты.

Для повышения срока службы компонентов системы требуется определенная чистота масла по стандарту ISO 4406.

Целый ряд исследований, проведенных Министерством обороны Великобритании, корпорацией «Вестланд Хеликоптер», Имперским колледжем, Научно-исследовательским институтом ВМС США и др., позволили разработать упрощенные рекомендации по выбору класса чистоты масла, необходимого для различных систем.

Критерии для выбора класса чистоты масла

1. Ключевое (основное) оборудование. Это означает: оборудование, требующее высокую степень надежности, стоимость простоя которого, обычно, очень высока.
2. Оборудование с высоким давлением и/или большими импульсными нагрузками. Это означает: компоненты работающие на пределе механической прочности.
3. Оборудование рассчитанное на длительный срок эксплуатации. Это означает: компоненты способные работать только при незначительном износе.
4. Оборудование с очень высокими затратами по поддержанию его в исправности при внезапном выходе из строя.

Требования к чистоте масла:

Очень высокие - если действуют все критерии;

Высокие - если действуют три из перечисленных критериев;

Нормальные - если действуют два или меньше критериев

Виды систем	Требования		
	Очень высокие	Высокие	Нормальные
Сервотехника, шарикоподшипники	13/10/7	16/13/10	17/14/11
Пропорциональная техника, гидравлика высокого давления (p > 160 атм), роликподшипники, передачи (стационарные)	15/12/9	18/15/12	19/16/13
Гидравлика среднего и низкого давления (p < 160 атм), подшипники скольжения, передачи (мобильные)	16/13/10	19/16/13	20/17/14

На основании результатов проведенных исследований, выведено отношение между классом чистоты смазочной жидкости и относительной долговечностью подшипников качения. Так, при классе чистоты 14/11 и лучше (ISO 4406: 1999), возможно увеличение долговечности эксплуатации подшипников в 5-20 и более раз!!!

Таблица 7. - Классы чистоты масла по ISO 4406

Количество частиц в 100 мл				КОД
более 5 мкм		более 15 мкм		
больше	-до	больше	-до	
500000	1000000	64000	130000	20/17
250000	500000	32000	64000	19/16
130000	250000	16000	32000	18/15
64000	130000	3000	16000	17/14
32000	64000	4000	8000	16/13
16000	32000	2000	4000	15/12
8000	16000	1000	2000	14/11
4000	8000	500	1000	13/10
2000	4000	250	500	12/9
1000	2000	130	250	11/8
1000	2000	64	130	11/7
500	1000	64	130	10/7
500	1000	32	64	10/6
250	500	32	64	9/6
130	250	16	32	8/5
64	130	8	16	7/4
32	64	4	3	6/3
16	32	2	4	5/2
3	16	1	2	4/1
4	8	1	2	3/1
2	4	0,5	1	2/0
1	2	0,25	0,5	1/0,9

Таблица 8. - Классы чистоты масла по ГОСТ 17216

Класс чистоты жидкости	Число частиц загрязнений в объеме жидкости 100 см ³ не более при размере ч-ц, мкм								Волокна
	от 0,5 до 1	св. 1 до 2	св. 2 до 5	св. 5 до 10	св. 10 до 25	св. 25 до 50	св. 50 до 100	св. 100 до 200	
00	800	400	32	8	4	1	**	**	**
0	1600	800	63	16	8	2	**	**	**
1	*	1600	125	32	16	3	**	**	**
2	*	*	250	63	32	4	1	**	**
3	*	*	*	125	63	8	2	**	**
4	*	*	*	250	125	12	3	**	**
5	*	*	*	500	250	25	4	1	**
6	*	*	*	1000	500	50	6	2	1
7	*	*	*	2000	1000	100	12	4	2
8	*	*	*	4000	2000	200	25	6	3
9	*	*	*	8000	4000	400	50	12	4
10	*	*	*	16000	8000	800	100	25	5
11	*	*	*	31500	16000	1600	200	50	10
12	*	*	*	63000	31500	3150	400	100	20
13	*	*	*	*	63000	6300	800	200	40
14	*	*	*	*	125000	12500	1600	400	80
15	*	*	*	*	*	25000	3150	800	160
16	*	*	*	*	*	50000	6300	1600	315
17	*	*	*	*	*	*	12500	3150	630

Таблица 9. - Сравнительная таблица классов чистоты по ГОСТ 17216 и по ISO 4406

ГОСТ 17216	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
ISO4406 1999	8/6	9/7	10/8	11/9	12/10	13/11	14/12	15/13	16/14	17/15	18/16	19/17	20/18	21/19	22/20

7. Грубая и сверхтонкая очистка.

Как показывает многолетний опыт осуществления концепции износозащитной фильтрации, для обеспечения безотказного и со слабым износом функционирования гидравлических систем, систем смазки и регулирования необходимы два типа фильтров:

- 1) Фильтры для грубой очистки - защитные фильтры.
- 2) Фильтры для сверхтонкой очистки - рабочие фильтры.

Защитные фильтры предотвращают внезапный отказ какого-либо узла. Они задерживают крупные частицы, размеры которых значительно больше зазоров.

Рабочие фильтры сводят износ до минимума и сохраняют мощность и работоспособность всей системы. Основной причиной прогрессирующего падения коэффициента полезного действия являются мелкие частицы, которые задерживаются этим типом фильтров.

Рабочий фильтр способствует также значительному увеличению срока службы рабочей жидкости. Фильтруются металлические частицы (истирание), оказывающее катализирующее влияние на старение масла.

8. Достижение и поддержание чистоты масла.

Решающим фактором для получения чистоты масла в системе смазки, наряду с выбором правильной концепции фильтрования (сюда входит оптимальный выбор правильного места для установки фильтра), является фильтрующий элемент. Критериями оценки мощного фильтра являются высокий и стабильный коэффициент очистки и большая грязеемкость.

Фильтроэлементы фирмы PALL имеют высокие технические данные благодаря ряду конструктивных и технологических нововведений:

- Четко определенная, высокая удерживающая способность (коэффициент очистки);
- Высокая стабильность благодаря:
 - высокопрочным стекловолокнам;
 - стабильному соединению волокон;
 - высококачественной сборке;
- Большая грязеемкость благодаря:
 - тонким волокнам;
 - изменяющейся в глубину структуре пор.

Высокий коэффициент очистки.

Коэффициент очистки фильтрующего элемента – это величина осаждающей способности фильтра при определенных размерах частиц. Она определяется значением β_x . Значение β_x , измеренное по ISO 4572 (применительно к сверхтонкой очистке) – это соотношение всех частиц $> X$ мкм перед фильтром ко всем частицам $> X$ мкм после фильтра.

$$\beta_x = \frac{\text{частицы } > X \text{ мкм перед фильтром}}{\text{частицы } > X \text{ мкм после фильтра}}$$

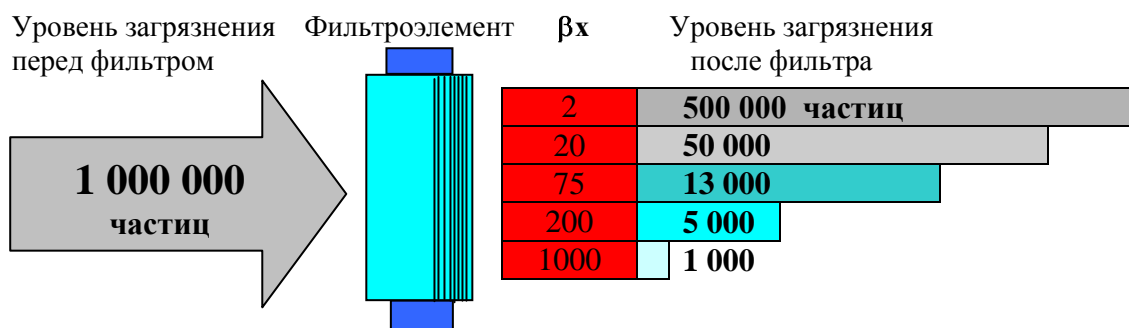


Рис. 5 - Коэффициент очистки β_x .

Фильтроэлементы фирмы PALL имеют $\beta_x \geq 1000$ по ИСО 16889

Стабильное соединение волокон

Эффективным считается тот фильтроэлемент, который не только удаляет загрязнения, но и надежно удерживает их в течение всего срока службы. **Фильтровальный материал фирмы PALL имеет очень стабильную структуру пор**, благодаря разработанным фирмой PALL эпоксидным смолам. Улучшенная технология связывания волокон обеспечивает очень стабильную связь между волокнами и повышает прочность материала против нагрузок от колебаний давления и протока, температуры и от старения. **Такие фильтроэлементы сохраняют свою высокую работоспособность во время всего срока службы.**

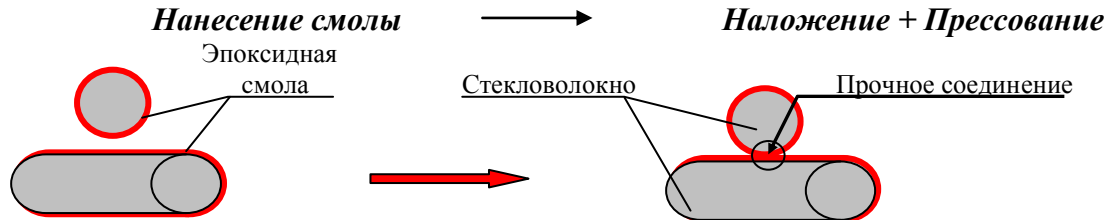


Рис. 6 - Связывание волокон фильтровальных материалов фирмы PALL.

Структура пор

Фильтроэлементы фирмы PALL изготовлены с применением новых фильтрующих материалов и имеют ступенчатую структуру пор.

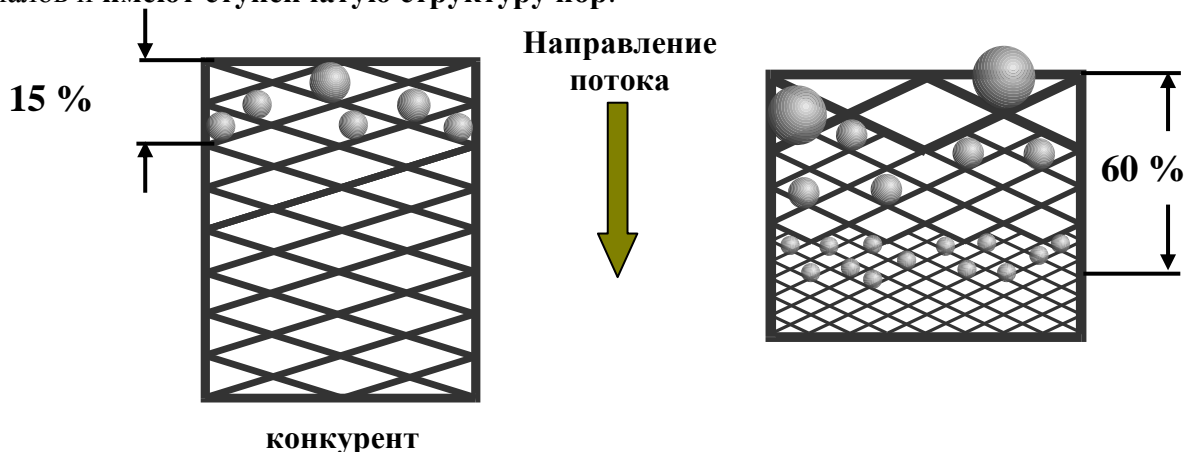


Рис. 7 - Пространственная структура фильтроэлементов.

Высокопрочные тонкие волокна

Фирма PALL, в отличие от многих других производителей фильтров, сама производит фильтрующие материалы и уже более 30 лет располагает собственным «ноу-хау» производства тонких и высокопрочных стекловолокон.

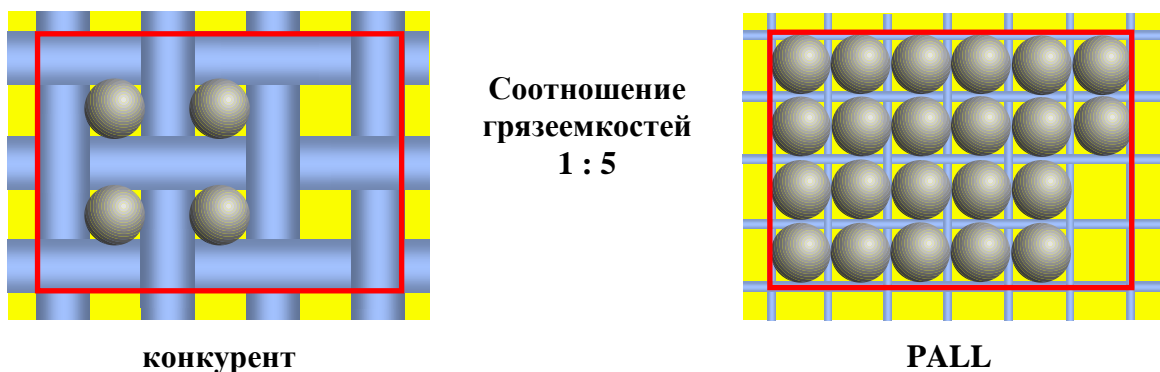
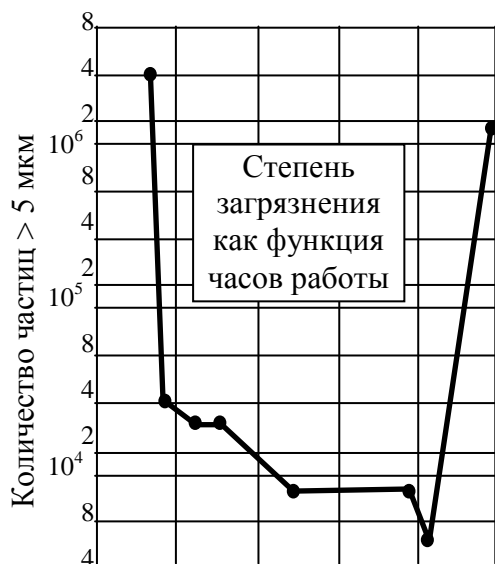


Рис. 8 - Влияние толщины волокон на грязеемкость фильтроэлементов.

Сохранение чистоты масла

Цепная реакция износа должна быть прервана. Этого можно добиться только в том случае, когда необходимая чистота масла будет не только достигнута, но и сохранена во время всей эксплуатации оборудования.



Это четко показывает следующее испытание:

На транспортном устройстве с гидростатическим приводом после 182 часов работы установленный на заводе-изготовителе обычный фильтр (25 мкм) был заменен фильтром фирмы PALL (3 мкм, β_z = 75)

В течение 20 минут работы после этого количество частиц > 5 мкм на 100 мл рабочей жидкости уменьшилось с более чем 2 млн. почти до 20.000, т.е. в сто раз. В течение следующих 300 рабочих часов количество частиц дальше упало с 20.000 до менее 2.500 частиц > 5 мкм на 100 мл. После этого, вместо фильтра фирмы PALL снова был установлен обычный фильтр, как это и было предусмотрено заводом. В течение следующих 100 рабочих часов количество частиц > 5 мкм увеличилось с менее чем 2.500 до более 800.000 на 100 мл, т.е. в 300 раз.

Рис. 9 - Испытание фильтра фирмы PALL на транспортном средстве.

В таблице 10 показано количество блестящих металлических частиц (свежий износ) во время работы с различными фильтрами. Если при работе с обычным фильтром доля блестящего металла составила от 20 до 30%, то при работе фильтром фирмы PALL (3 мкм), она уменьшилась до < 1 %. После повторной установки обычного фильтра процентное содержание металлических частиц в течение 100 рабочих часов снова выросло до первоначального. Это значит, что цепная реакция износа, прерванная фильтром фирмы PALL, опять началась и привела к быстрому росту загрязнения, т.е. износу.

Таблица 10 - Испытания на транспортном средстве фильтра фирмы PALL (3мкм).

Рабочие часы	Коэффициент очистки	количество частиц, 5 мкм в 100 мл	количество металлических частиц, %
182	обычный фильтр 25 мкм	2053000	20-30
182,3	фильтр PALL 3 мкм	20700	1-5
221	фильтр PALL 3 мкм	14500	1
255	фильтр PALL 3 мкм	12300	0,5
513	фильтр PALL 3 мкм	2400	0
616,8	обычный фильтр 25 мкм	800000	25-30

ВЫВОД:

Для обеспечения безотказного и со слабым износом функционирования гидравлических систем, систем смазки и регулирования, необходимо добиться удаления как крупных (> 15 мкм), так и мельчайших (< 5 мкм) частиц и воды.

Мельчайшие частицы загрязнений:

- являются причиной финансовых потерь вследствие необходимости промывки установок и частой замены масла;
- могут быть причиной повышения температуры и преждевременного старения масла;
- действуют как катализаторы и ускоряют окисление масла, тем самым сокращая его срок службы.

Для того, чтобы обеспечить защиту от износа, следует добиться стабильного уровня чистоты масла, что, в свою очередь, требует решить ряд задач:

1. Правильно выбрать концепцию очистки масла;
2. Использовать фильтрующие элементы с большой грязеемкостью; высоким и стабильным коэффициентом очистки;
3. Регулярно и тщательно проводить техническое обслуживание маслосистем.