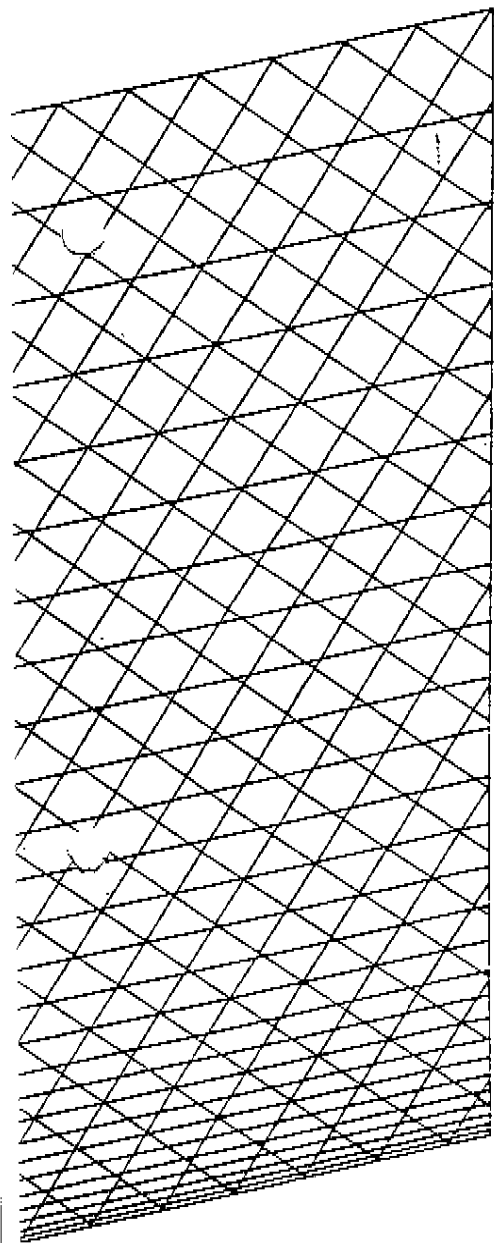


ПАЛЛ – уход за маслом  
по нашей системе

Техническая информация  
том 1

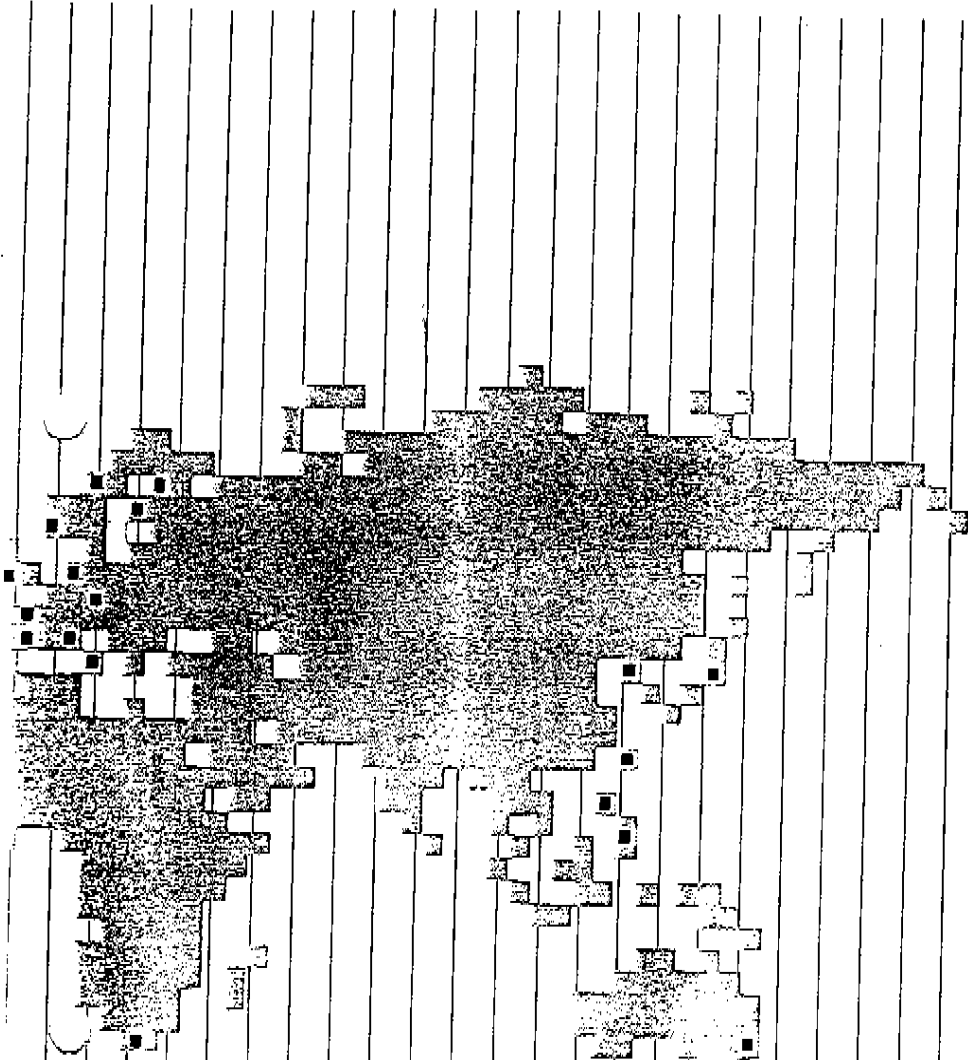
Триботехническое значение  
фильтрации



## Триботехническое значение фильтрации

### Содержание

1. Внезапный отказ и прогрессирующее падение коэффициента полезного действия
2. Грубая и сверхтонкая очистка
3. Механизмы износа
4. Типичные размеры зазоров и толщина смазочной пленки
5. Чистота масла
6. Требуемые классы чистоты масла
7. Достижение и поддержание чистоты масла



■ ПАЛЛ Промышленная  
Гидравлика во всём мире

## Триботехническое значение фильтрации

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, грязь из окружающей атмосферы попадает в систему через вентиляционные отверстия, поверхности поршневых штоков и уплотнения.

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

Фирма PALL провела обширные исследования типовых гидравлических установок, применяемых в различных областях. При этом было установлено, что очень часто в одном литре рабочей жидкости содержится от 25 до 100 мил. частичек размером более 1 мкм. Эти мелкие частички циркулируют по системе вследствие того, что обычные фильтры не могут их задержать.

### 1. Внезапный отказ и прогрессирующее падение коэффициента полезного действия

Частицы грязи приводят к отказу системы. В ходе исследований, проведенных научно-исследовательскими институтами, было установлено, что до 80% всех отказов и неполадок в установках вызваны загрязнением. При этом различают

#### *внезапный отказ и прогрессирующее падение коэффициента полезного действия*

При внезапном отказе системы повреждения вызываются внезапным отказом одного из её компонентов, 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. Грубая и сверхтонкая очистка

Для эффективного противодействия этим двум видам повреждений необходимы два соответствующие типа фильтров:

#### *фильтры для грубой очистки защитные фильтры*

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

#### *фильтры для сверхтонкой очистки рабочие фильтры*

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.

### 3. Механизмы износа

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

Основополагающим явлением при всех видах износа является излом вследствие

- срезания контактных адгезивных мостиков
- истирания, абразивного действия

• эрозии, кавитации, удара

• усталости, расслоения поверхности

• трибохимических реакций, коррозии

• адгезии, сваривания в холодном состоянии,

Коротко остановимся на двух самых важных из описанных механизмов износа.

Истирание:

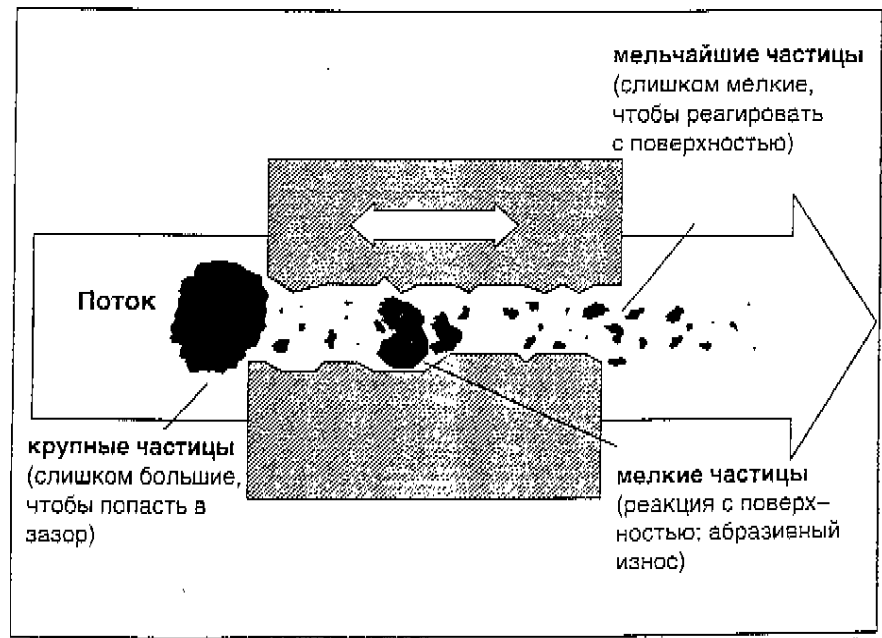


Рис. 1: Износ вследствие истирания между двумя движущимися поверхностями

Абразия (износ вследствие истирания) происходит, если две разные поверхности твердых тел входят в соприкосновение.

Она обнаруживается, если соприкасаются загрязняющие частицы и поверхности компонентов между собой.

Главную ответственность за износ вследствие истирания несут частицы, размеры которых соответствуют ширине зазора между двумя движущимися деталями. Они могут заклинить в зазоре, и тогда, вследствие движения деталей, они оказывают значительное воздействие на поверхность, результатом которого является отрыв новых частиц.

## Триботехническое значение фильтрации

### усталость

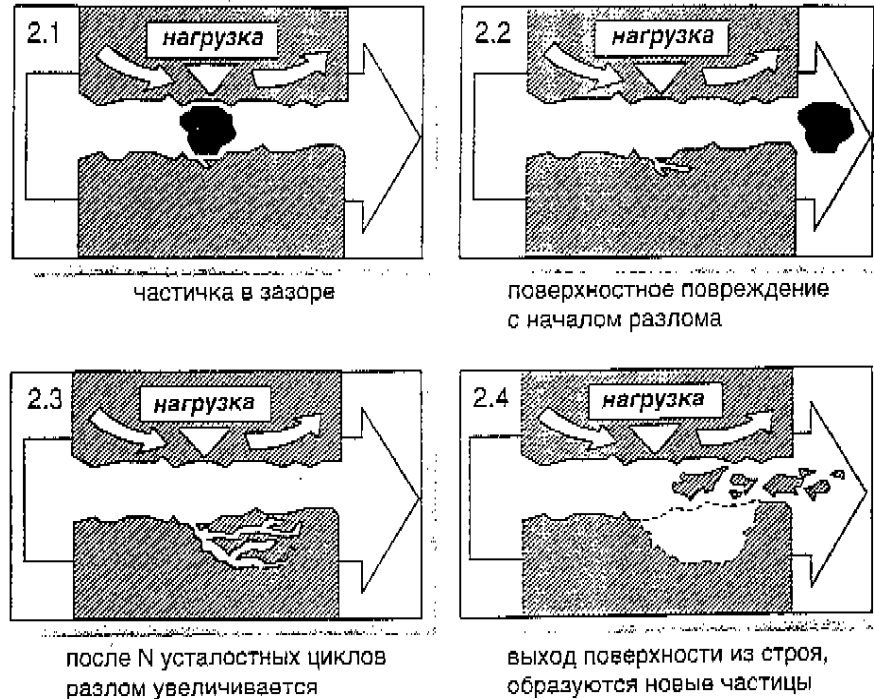


Рис. 2: Поверхностная усталость (питтинг)

Между двумя, 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 частично или полностью 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 2.1.). В этот момент вся нагрузка переносится через частицу и, при достаточной твердости частицы, это приводит к поверхностному прессованию с очень большим усилием, что ведет к повреждению поверхности и началу

разлома в этом месте (рис. 2.2.). При каждом следующем перекачивании поврежденного места нагрузка передается через смазочную пленку, а это место подвергается переменной нагрузке. При этом начало разлома ведет к большой концентрации напряжения. Следствием этого является увеличение разлома (микротрещины) под поверхностью (рис. 2.3.). В конце концов из поверхности выбивается материал. Этот механизм называется "pitting" (питтинг).

Следствием питтинга является снижение коэффициента полезного действия компонентов и образование новых частиц в системе. Кроме того, при перекачивании через эти частицы, они измельчаются, что ведет к образованию мельчайших частиц.

### Цепная реакция износа:

Таким образом, при трении и поверхностной усталости одна частица образует много новых, которые в другом месте тоже приводят к образованию новых частиц – так начинается Цепная реакция износа.

Увеличиваются зазоры допусков компонентов, и вместе с ними – внутренние утечки масла. Это означает увеличение потерь мощности. Теряемая мощность преобразуется в теплоту и полезная мощность установки падает.

При увеличении загрязнения вследствие накопления множества мелких частиц это может вести к зашламованию. Это может ухудшить свойства протекания, например, клапанов и распределителя жидкой смазки.

Под воздействием давления может образоваться конгломерат, который вероятно заклинивает компоненты. Это обозначается термином "siltin" (силтинг).

#### 4. Типичные размеры зазоров и толщина смазочной пленки

Необходимый коэффициент очистки определяется величиной критических зазоров или толщиной смазочной пленки компонентов. В описании CETOP RP 92H (рис. 3.) приводятся типичные критические зазоры узлов

гидравлической системы. Приведенные значения должны будут еще более уменьшаться в будущем. И соответственно этому будет возрастать необходимость высококачественной фильтрации.

деталь	типичный критический зазор (μм)
шестеренчатый насос (под давл.) шестерня – боковая пластина вершина зуба – корпус	0,5 – 5 0,5 – 5
пластинчатый насос вершина боковые стороны	0,5 – 5 5,0 – 13
поршневой насос поршень – внутрен. зазор пластина клапана (цилиндр)	5,0 – 40 1,5 – 10
сервоклапан сопло заслонка золотник ( рад. зазор)	130,0 – 450 18,0 – 63 2,5 – 8
регулирующий клапан сопло золотник (рад. зазор) конический клапан	130,0 – 10 000 2,5 – 23 1,5 – 5 13,0 – 40

Рис. 3: Описание CETOP RP 92H, выдержки

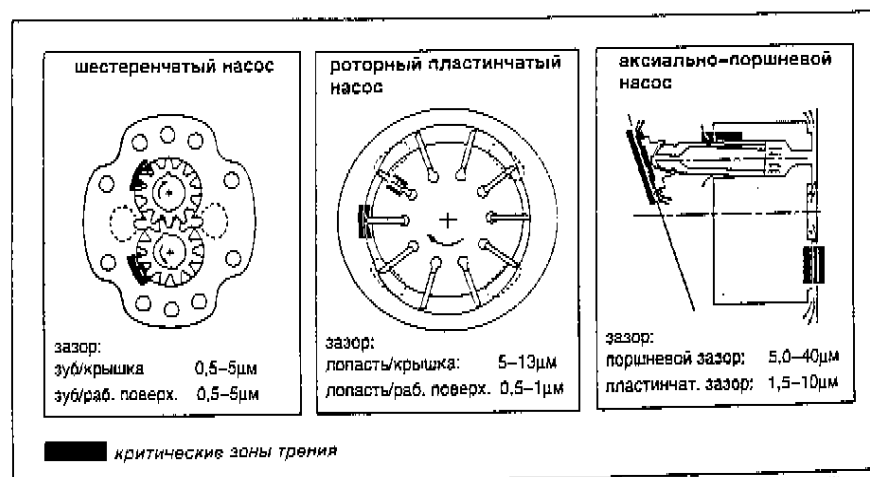


Рис. 4: Величины зазоров и критические зоны трения в современных гидравлических и маслонасосах

## Триботехническое значение фильтрации

Приведенные на рис.5 значения толщины эластогидродинамической пленки (ЭГД) взяты из обзора, опубликованного в 1984 г. "Сборник по контролю материалов": (*Wear Control Manual*) 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.

элемент машин	толщина пленки
подшипник качения	0,1 $\mu\text{m}$ – 1,0 $\mu\text{m}$
гидростатический подшипник скольжения	0,5 $\mu\text{m}$ – 100,0 $\mu\text{m}$
гидродинамический подшипник скольжения	1,0 $\mu\text{m}$ – 25,0 $\mu\text{m}$
зубчатая пара	0,1 $\mu\text{m}$ – 1,0 $\mu\text{m}$
уплотнения	0,05 $\mu\text{m}$ – 0,5 $\mu\text{m}$

Рис. 5: Типичная толщина смазочной пленки подвижных элементов машин

### Соотношения размеров

Твердые частицы, приводящие к износу, в любом случае имеют размер  $>10$  мкм. Поэтому контроль жидкости на загрязнение должен проводиться

при помощи микроскопа или автоматического счетчика частиц, поскольку человеческому глазу не видны частицы меньше 40  $\mu\text{m}$ .

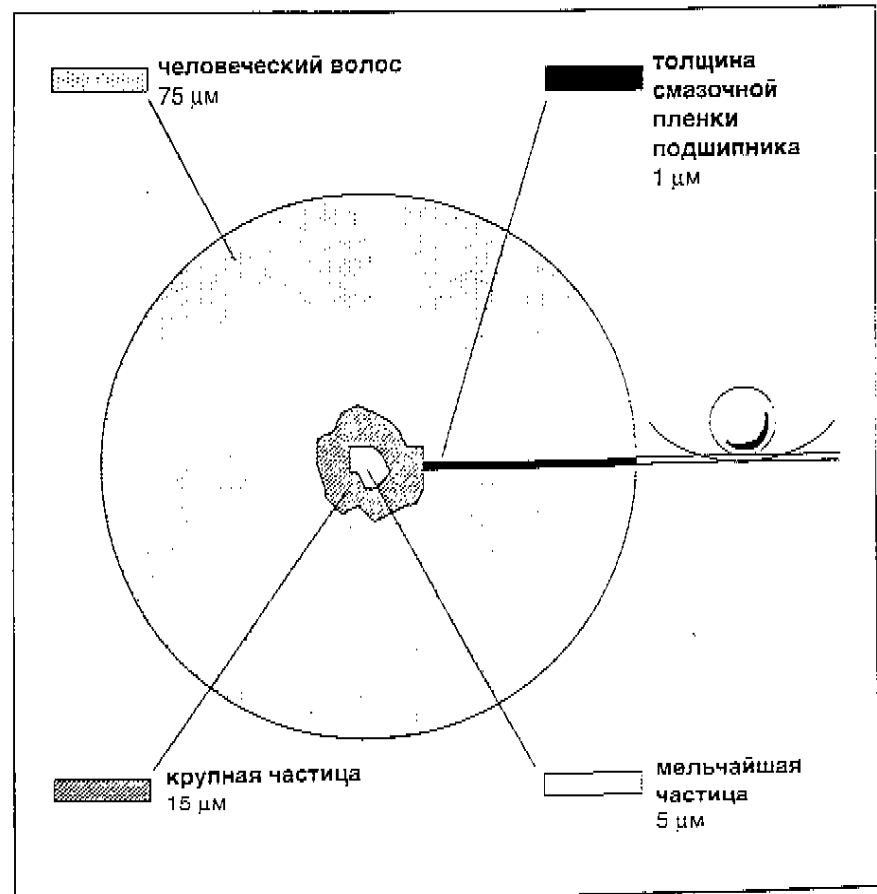


Рис. 6: Соотношения размеров



## 5. Чистота масла

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

Для классификации имеющейся чистоты системы существует множество методов, из которых, в основном, применяются стандарты ISO 4406 и NAS 1638. Всемирно признанным и актуальным является стандарт ISO 4406.

### ISO 4406

По этому стандарту определяется количество частиц размером  $>5\mu\text{m}$  и частиц размером  $>15\mu\text{m}$  в 100 мл жидкости. Подсчет производится как под микроскопом, так и при помощи автоматических счетчиков.

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  $>5\mu\text{m}$  и от 2.000 до 4.000 частиц размером  $>15\mu\text{m}$ . Классификация частиц менее  $5\mu\text{m}$  не предусмотрена ни в каком стандарте, поскольку в то время не было возможности для их подсчета.

Количество частиц в 100 мл				код
более 5 $\mu\text{m}$		более 15 $\mu\text{m}$		
больше – до		больше – до		
500 000	1 000 000	64 000	130 000	20/17
250 000	500 000	32 000	64 000	19/16
130 000	250 000	16 000	32 000	18/15
64 000	130 000	8 000	16 000	17/14
32 000	64 000	4 000	8 000	16/13
16 000	32 000	2 000	4 000	15/12
8 000	16 000	1 000	2 000	14/11
4 000	8 000	500	1 000	13/10
2 000	4 000	250	500	12/9
1 000	2 000	130	250	11/8
1 000	2 000	64	130	11/7
500	1 000	64	130	10/7
500	1 000	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	8	6/3
16	32	2	4	5/2
8	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

Рис. 7: типичные классы чистоты по ISO 4406

## Триботехническое значение фильтрации

### 6. Требуемые классы чистоты масла

Для повышения срока службы компонентов системы требуется определенная чистота масла по стандарту ISO 4406. При помощи показанных ниже кривых при известном значении давления в системе и чувствительности компонентов системы можно

определить минимальную допустимую чистоту масла. Например, при давлении системы 200 бар и средних компонентах системы, необходимым классом чистоты масла по ISO 4406 будет как минимум класс 15/12.

#### компоненты гидравлики

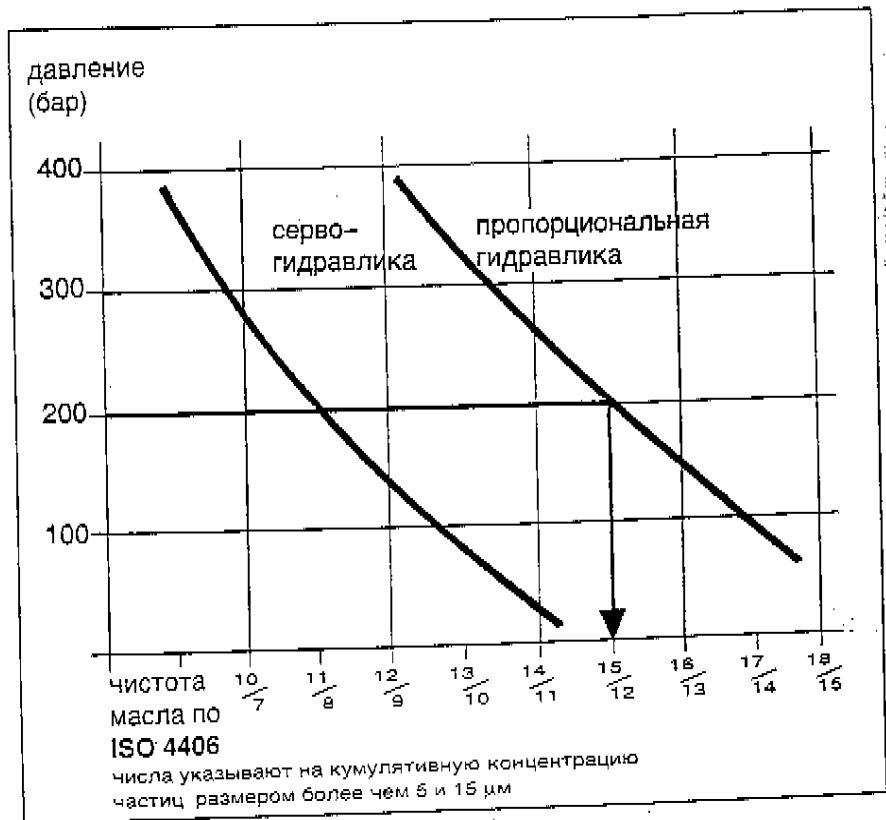


Рис. 8: Необходимая степень чистоты для достижения длительного срока службы

При помощи этой кривой в зависимости от используемой техники и давления, в системе были разработаны следующие упрощенные рекомендации:

Вид системы	класс по ISO 4406
сервогидравлические установки	мин. 13/10
пропорциональная техника и гидравлика высокого давления (p > 160 бар)	мин. 15/12
гидравлика низкого и среднего давления (p < 160 бар)	мин. 16/13

Рис. 9: Упрощенные рекомендации

## Компоненты машин

Для безаварийной эксплуатации подшипники скольжения и редукторы нуждаются в достаточной смазке. Неполадки в элементах машин определяют:

- по шуму при работе;
- по вибрации;
- по повышению температуры;

Чистота масляной смазки должна замеряться после наименьших зазоров в элементах машин, подвергающихся максимальной нагрузке.

Исследования по определению срока действия подшипников качения показали, что:

- долговечность подшипников качения находится в прямой зависимости от чистоты применяемой смазки
- при стабильности требуемой чистоты масла в течение всего срока службы коэффициент долговечности может быть увеличен в 6 или более раз.

Это впечатляющее исследование, представляющее преимущества сверхтонкой очистки, было проведено доктором П. Б. Макферсоном совместно с Министерством обороны Великобритании, корпорацией "Вестланд Хеликоптер", Имперским колледжем и научно-исследовательским институтом ВМС США.

Исследовалось воздействие коэффициента очистки маслофильтра для полного потока на срок действия подшипников качения. Для имитации типичной системы смазки была взята опытная установка, состоящая из емкости, маслонасоса, испытательного фильтра и, наконец, станда для испытаний на долговечность (рис. 10).

Испытанию были подвергнуты несколько сот подшипников, причем менялся только один параметр испытания, а именно: коэффициент очистки испытательного фильтра (от 40  $\mu\text{m}$  через 25 и 6 до 3  $\mu\text{m}$  при  $\beta_x = 75$ ). Каждый подшипник испытывался до появления питтинга. Моментом его появления и ограничивался срок действия подшипника.

Результаты этих испытаний показаны на рис. 11. Четко видно, что более тонкая очистка ведет к увеличению

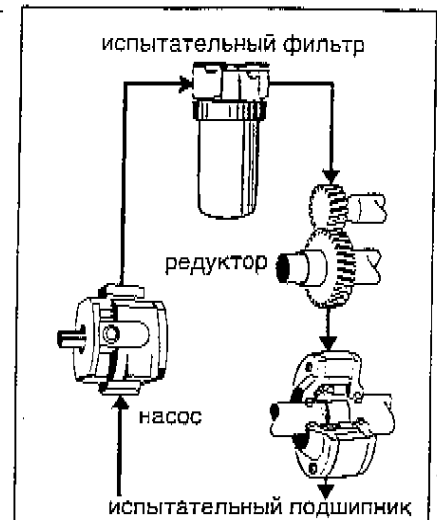


Рис. 10: Принципиальная схема испытательной установки П. Б. Макферсона

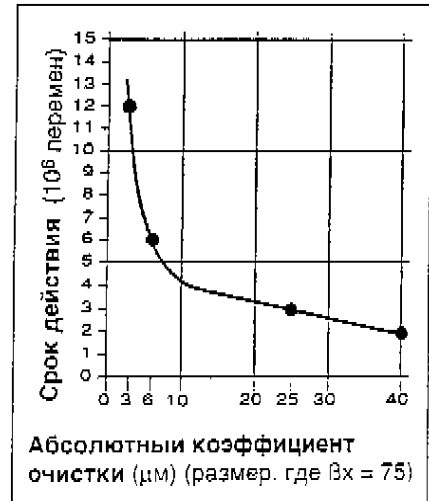


Рис. 11: Срок действия подшипников как функция степени очистки по исследованиям Макферсона

При фильтре самой грубой очистки, где  $\beta_{40} = 75$ , срок службы был минимальным и составил всего лишь 2 млн. изменений нагрузки. Этот фильтр дал и самую плохую чистоту масла. При каждом увеличении коэффициента очистки фильтра улучшалась как чистота масла, так и срок службы.

При применении фильтра сверхтонкой очистки, долговечность подшипника составила около 12 млн изменений нагрузки. Это значит, что долговечность увеличивалась в 6 раз по сравнению с фильтром, где  $\beta_{40} = 75$ .

## Триботехническое значение фильтрации

### Износ при скольжении

Подшипниковый завод "Тимкен" провел исследования влияния степени гравиметрического загрязнения смазочной жидкости на снижение веса при скольжении двух трущихся друг по другу поверхностей. Результаты показаны на рис. 12, на котором видно, что потеря веса подшипника пропорциональна уровню гравиметрического загрязнения смазки. Это значит, что сильно загрязненное масло вызывает сильное истирание подшипников качения.

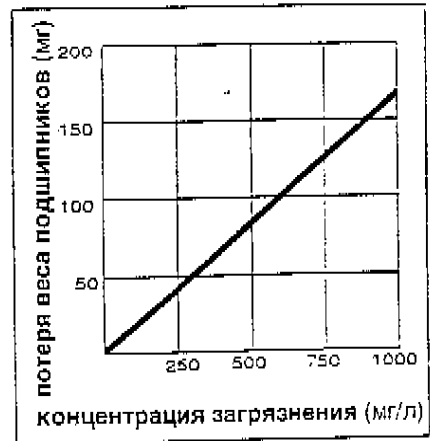


Рис. 12: Потеря веса подшипниками как функция степени загрязнения смазочной жидкости по исследованиям на предприятии "Тимкен"

### Увеличение срока службы при использовании фильтров сверхтонкой очистки

Таким образом, суммируя, можно сказать, что загрязнение системы частицами ведет к повреждению поверхности и, следовательно, к снижению коэффициента полезного действия машин, а также к образованию новых, в основном, очень мелких частиц в смазочной жидкости. Проведенные испытания показали также, что именно более мелкие частицы усиленно способствуют появлению питтинга и, следовательно, износу. Кроме того, они вносят существенный вклад в образование шлама в смазочной жидкости. Шлам в свою очередь очень часто приводит к закупорке или блокированию маслораспределителей, из-за чего на потребитель может подаваться недостаточное или избыточное количество смазки.

Следовательно, необходимо удалять частицы таких размеров, которые равны или больше, чем толщина смазочной пленки или допуски зазоров других компонентов. 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 "разъеданию" насосов.

На основе нескольких проведенных исследований и их результатов можно вывести отношение между классом чистоты смазочной жидкости и относительной долговечностью

подшипников качения. Графически это изображено на рис. 13. Видно, что при чистой и очень чистой жидкости (класс чистоты по ISO 4406 14/12 и лучше) возможны увеличения долговечности в 5–20 и более раз!

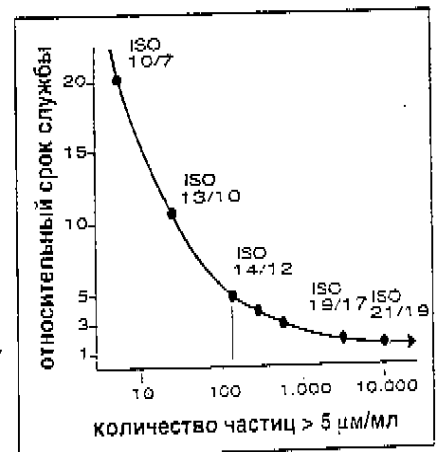


Рис. 13: Увеличение срока действия

Чтобы обеспечить защиту от износа систем смазки и их потребителей, следует, как минимум, стремиться к достижению следующего класса чистоты по ISO 4406:

Вид системы	класс по ISO 4406
техника для смазки	мин. 14/12

Рис. 14: Рекомендация для систем смазки

## Триботехническое значение фильтрации

### Структура пор

Изделия фирмы ПАЛЛ имеют высокие технические данные благодаря ряду конструктивных и технологических нововведений:

Фильтроэлементы ULTIPOР II, ULTRA-LIFE изготовлены с применением новых фильтрующих материалов, имеющих ступенчатую структуру пор. Благодаря расположению и значительно увеличенному числу пор фильтроэлементы ULTIPOР II, ULTRA-LIFE имеют высокую грязеемкость при более высоких значениях  $\beta$ .

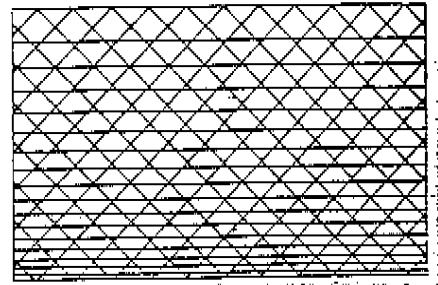


Рис. 17: пространственная структура пор

### Волокнистая технология – связи волокон

Эффективным считается тот фильтроэлемент, который не только удаляет загрязнения, но и надежно удерживает их в течение всего срока службы. Фильтровальный материал фирмы ПАЛЛ ULTIPOР II имеет очень стабильную структуру пор, благодаря разработанной фирмой ПАЛЛ 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. Фильтроэлементы типа ULTRA-LIFE сохраняют свою высокую работоспособность во время всего срока службы.

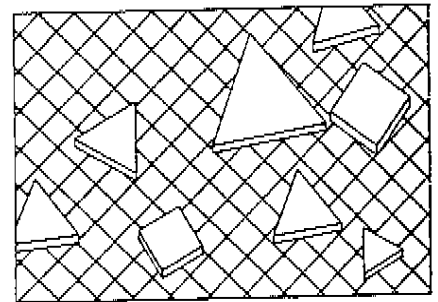


Рис. 18: связывание волокон

### Крепление

Крепление фильтрующего элемента имеет решающее значение для его эффективности. Благодаря опоре на переднюю и заднюю стенки повышается стабильность складок и срок действия элементов ULTRA-LIFE, что гарантирует эффективную защиту узлов машин.

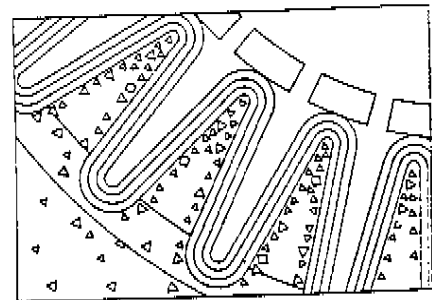


Рис. 19: крепление

## 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 установки. Только в этом случае гарантируется оптимальная защита от износа.

Это очень четко показывает следующее испытание:

На транспортном устройстве с гидростатическим приводом после 182 часов работы установленный на заводе-изготовителе обычный фильтр (коэффициент очистки 25  $\mu\text{m}$ ) был заменен фильтром фирмы ПАЛЛ 3  $\mu\text{m}$  ( $\beta_3 = 75$ ). В течение 20 минут работы после этого количество частиц  $> 5 \mu\text{m}$  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  $> 5 \mu\text{m}$  на 100 мл. После этого, вместо фильтра фирмы ПАЛЛ снова был установлен обычный фильтр, как это и было предусмотрено заводом. В течение следующих 100 рабочих

часов количество частиц  $> 5 \mu\text{m}$  увеличилось с менее чем 2.500 до более 800.000 на 100 мл, т.е. в 300 раз. Степень загрязнения во время эксплуатации показана на рис. 20.

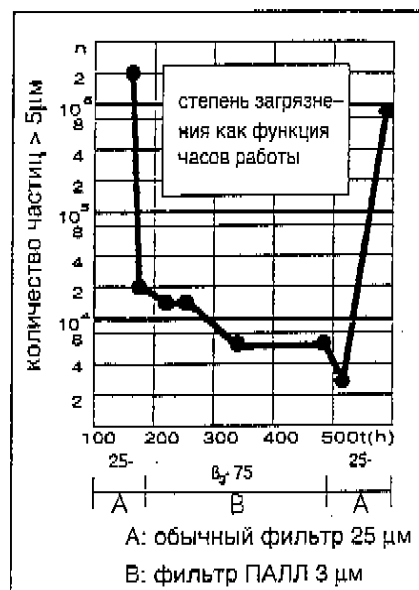


Рис. 20: Испытание на транспортном средстве

рабочие часы	коэффициент очистки	количество частиц $5 \mu\text{m}$ в 100 мл	количество металлических частиц в %
182	обычный фильтр 25 $\mu\text{m}$	2 053 000	20 – 30
182,3	фильтр ПАЛЛ 3 $\mu\text{m}$	20 700	1 – 5
221	фильтр ПАЛЛ 3 $\mu\text{m}$	14 500	1
255	фильтр ПАЛЛ 3 $\mu\text{m}$	12 300	0,5
343	фильтр ПАЛЛ 3 $\mu\text{m}$	6 500	0
498,7	фильтр ПАЛЛ 3 $\mu\text{m}$	6 000	0
513	фильтр ПАЛЛ 3 $\mu\text{m}$	2 400	0
616,8	обычный фильтр 25 $\mu\text{m}$	800 000	25 – 30

Рис. 21: испытание на транспортном средстве с фильтром и без фильтра фирмы ПАЛЛ, 3  $\mu\text{m}$ . Уровень загрязнения и доля блестящего металла.

На рис. 21 также 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, благодаря применению фильтра фирмы ПАЛЛ, 3  $\mu\text{m}$ , она уменьшилась до  $< 1\%$ . После

повторной установки обычного фильтра процентное содержание металлических частиц в течение 100 рабочих часов снова выросло до первоначального значения. Это значит, что цепная реакция износа, прерванная фильтром фирмы ПАЛЛ, опять началась и привела к быстрому росту загрязнения, т.е. износу.

**Вывод:** Чтобы обеспечить защиту от износа, следует добиться стабильного уровня чистоты масла. Для этого необходимы фильтры со стабильным коэффициентом очистки и их регулярное и тщательное техническое обслуживание.

## Триботехническое значение фильтрации

### Сверхмелкие частицы стоят денег

Износ и нарушение работы гидравлических компонентов и элементов машин, вызванные мельчайшими частицами, ведут к финансовым потерям вследствие:

- прекращения выпуска продукции
- повышенных затрат на техническое обслуживание (ремонт, содержание)
- затрат на энергию охлаждения
- гарантийных и представительских расходов

Кроме того, мельчайшие частицы являются причиной финансовых потерь вследствие возникающей необходимости промывки установок и частой замены масла. Мельчайшие частицы могут быть причиной повышения температуры и преждевременного старения масла. Они действуют как катализаторы и ускоряют окисление масла, тем самым сокращая его срок службы.

"PALL" и "УЛЬТРА" — это зарегистрированные торговые марки фирмы ПАЛЛ

Информации, содержащаяся в данном издании, соответствуют уровню знаний на момент подписания в печать. Благодаря постоянной работе по совершенствованию изделий фирмы их данные и технологии могут изменяться в любое время.

передано через:



**ПАЛЛ ГмбХ**  
Промышленная Гидравлика

Московское представительство  
123424 Москва · Волоколамское шоссе, дом 75  
телефон: 490-68-07, 490-69-09  
телефакс: 490-69-82

**Pall GmbH**  
Industrie-Hydraulik

Philipp-Reis-Straße 6, 63303 Dreieich  
Postfach 102120, 63267 Dreieich  
Telefon (06103) 307-0 · Telex 417979  
Telefax (06103) 307317