

**ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ФИЛЬТРУЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ  
И ФИЛЬТРЫ НА ИХ ОСНОВЕ ДЛЯ ОЧИСТКИ  
СМАЗОЧНЫХ МАСЕЛ**

*Капцевич В.М., д-р. техн. наук, проф.,  
Кусин Р.А., канд. техн. наук,  
Лисай Н.К., канд. техн. наук,  
Витязь А.А., зав. лабораторией,  
Кривальцевич Д.И., инженер,  
Закревский И.В., инженер*

*(Белорусский государственный аграрный технический  
университет, ГНУ «Институт порошковой металлургии,  
ДП «Мостовская сельхозтехника» Гродненского  
УП «Облсельхозтехника», ОАО «Березовский МРЗ»)*

Современная сельскохозяйственная техника представляет собой дорогостоящие высокотехнологичные изделия, производство и обслуживание которых требуют 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.

Очевидно, наиболее значимыми вспомогательными системами такого рода являются системы фильтрования, поскольку как минимум 75 % неисправностей и 50 % простоев автотракторной и сельскохозяйственной техники обусловлено наличием загрязняющих частиц в топливе, масле, гидрожидкости и воздухе. По данным [1], в конце прошлого столетия в мире ежегодно было потрачено 335 млрд. долларов на фильтрующие материалы (ФМ) и оборудование. Из них 165 млрд. долларов – на фильтры для очистки питьевой воды и муниципальных сточных вод и 170 миллиардов – на фильтры, используемые в промышленности (100 млрд. – процессы

фильтрации, 40 млрд. – промышленная водная очистка и 25 млрд. – обработка сточных вод). Косвенным доказательством осознания важности проблемы является и то, что мировой рынок фильтрующих технологий и материалов, по сведениям аналитических агентств «Standards & Poor» и «McIvane Co», возрастает на 15–20 %, а сектор мобильной техники – на 20-25 % ежегодно.

Известно [2], что от 25 до 50 % отказов в работе авиационных гидросистем вызваны загрязнениями рабочих жидкостей. По этой же причине происходит 65 % отказов в работе автомобильных гидросистем. Такое же положение и с прецизионной гидравликой (производство промышленных манипуляторов и роботов), где, по данным ведущих в мире фирм, причиной 95 % случаев преждевременной блокировки является некачественное фильтрование. Испытания, проведенные в США (фирма «PALL»), показали, что при уменьшении размеров частиц загрязнителя с 25 до 3 мкм долговечность гидро- и пневмосистем возрастает в 8 раз.

В последнее время намечаются следующие тенденции в развитии ФМ:

1. Все более широкое применение ФМ в технике охраны окружающей среды. При этом предпочтение отдается разработке и внедрению легко регенерируемых и экологичных фильтров.

2. Создание специализированных фильтров. Потребители требуют для удовлетворения своих специфических потребностей более высокое качество очистки и ФМ с контролируемым размером пор. Чтобы удовлетворить эти требования, производители предлагают композиционные ФМ с градиентной структурой пор.

3. Увеличение тонкости фильтрования. Потребители часто нуждаются в более тонком фильтровании на всех уровнях. В центре этой тенденции – увеличение надежности фильтров, которую ограничивает одновременный рост стоимости.

Эффективность работы ФМ зависит от правильного выбора пористой структуры и организации ее распределения в

объеме материала. Так, создавая фильтры с градиентной структурой пор, можно в несколько раз повысить их производительность и срок службы, что в конечном итоге приводит к снижению материальных и энергетических затрат.

Для очистки жидкостей и газов используют порошковые, волокнистые, ячеистые и сетчатые ФМ [2, 3]. Каждый из этих материалов обладает как достоинствами, так и недостатками. Так, методами порошковой металлургии могут быть изготовлены порошковые фильтрующие материалы (ПФМ) с минимальными размерами пор  $d_{п \text{ min}} \sim 0,1$  мкм, в то время как волокнистые фильтрующие материалы (ВФМ) и сетчатые фильтрующие материалы (СФМ)  $\sim 20$  мкм, а высокопористые ячеистые материалы (ВПЯМ)  $\sim 200$  мкм. В то же время ПФМ и ВПЯМ по сравнению с ПФМ обладают на порядок большей проницаемостью, удельной прочностью, пластичностью, ударной вязкостью, лучшей регенерируемостью. Кроме того, ВФМ и деформируемые ВПЯМ обладают ортотропной структурой пор, которую можно использовать для многостадийной очистки. Однако до настоящего времени способы такой очистки не разработаны и целенаправленно не используются. В то же время, если для ПФМ разработан ряд методов создания в них градиентной структуры пор, основанных на послойном формовании, виброформовании, осаждении в поровых каналах более мелких частиц, псевдооживлении, пластическом деформировании т.п., то для ВФМ и ВПЯМ такие методы отсутствуют. Отсутствуют также научно обоснованные подходы к созданию композиционных ФМ, состоящих из порошковых волокнистых и ячеистых материалов, которые сочетали бы в себе преимущества каждого из них.

Порошковые фильтрующие материалы, представляющие интерес для агропромышленного комплекса, по областям применения можно условно разделить на ПФМ для фильтров, ПФМ для распределителей газовых или жидкостных потоков и ПФМ для интенсификации процессов тепло- и массообмена.

Основным назначением таких фильтров является очистка жидкостей или газов от посторонних примесей: жидкости от

твердых частиц, газовых пузырьков и включений другой нерастворимой жидкости, газов от твердых или жидких загрязнений. Отличительной их особенностью является осуществление фазоразделения в результате процесса фильтрования. Применение таких ПФМ позволяет повысить качество выпускаемой продукции, надежность и долговечность пневмо- и гидросистем различного назначения, обеспечить защиту окружающей среды и т.д.

Наиболее часто на практике для изготовления ПФМ используются порошки оловянисто-фосфористой бронзы марки БрОФ10-1, железа, коррозионно-стойкой стали, никеля, титана.

ФМ из порошков бронзы могут выдерживать нагрев на воздухе до 200°C и до 400°C в неокислительной среде. Они коррозионностойки на воздухе, в морской воде и растворах КОН. ПФМ из порошков железа коррозионностойки в масле, керосине, бензине и дизельном топливе. ПФМ из алитированных железных порошков имеют высокую окалиностойкость и коррозионностойкость на воздухе и в морской воде, а из хромированных ПФМ выдерживают нагрев до 750°C.

ПФМ из порошков коррозионностойких сталей обладают высокой коррозионной стойкостью в кислотах, щелочах и агрессивных средах. Они выдерживают нагрев на воздухе до 500°C, а некоторые из них и до более высокой температуры. Так, ПФМ из восстановленных порошков ПХ17Н2, ПХ30, ПХ18Н15, ПХ18Н9, ПХ23Н18 обладают стойкостью в азотной кислоте, щелочах, в среде окислительных газов при температуре до 800°C.

ПФМ из порошка никеля стойки в расплавах и растворах щелочей, выдерживают температуру воздуха 280°C и восстановительной среды до 600°C. Сплавы хрома с 30–40 % никеля стойки в воздушной среде, нагретой до температуры 1200°C, в соляной кислоте и галогеносодержащих средах. Никельмолибденовые сплавы (Ni-15Cr-15Mo) обладают коррозионной стойкостью одновременно в соляной и азотной кислотах. Монель-металл (сплав Cu-Ni) стоек в среде галогенидов, а ни-хром (сплав Ni-Cr) – на воздухе при температуре до 800°C.

ПФМ из титана имеют преимущества перед ПФМ из бронзы, коррозионностойких сталей и никеля. Они коррозионностойки в присутствии хлора (хлоридов, солей хлористой кислоты), морской, соленой воды,

ПФМ могут изготавливаться практически любых форм и размеров: листы 1400×350 мм и трубы на их основе диаметром до 500 мм и длиной до 1000 мм и более, диски диаметром от 52 мм до 305 мм и «чечевицы» на их основе, изделия в виде стаканов, таблеток, пробок и более сложной формы по согласованным чертежам. Из порошков коррозионностойких сталей, никеля и титана изготавливаются диски диаметром до 200 мм, трубы диаметром до 80 мм и длиной до 500 мм, а также втулки и стаканчики диаметром до 80 мм.

Особый интерес представляет применение ПФМ из порошков оловянно-фосфористой бронзы с анизотропной поровой структурой, выполненных методом виброформования, в качестве фильтрующих элементов для очистки масла [4]. Нерастворимые продукты загрязнения масла вызывают повышенный износ и задиры деталей, засоряют масляные каналы, ухудшают температурный режим и т.п. Поэтому качественная очистка рабочих жидкостей позволяет не только увеличить ресурс работы оборудования, но и его производительность. Характеристики такого фильтра для очистки масла приведены в таблице 1 [4].

Таблица 1

**Технические характеристики фильтров для очистки масла**

Тип фильтра	ФМ-1.20	ФМ-1.10
Тонкость очистки, мкм	20	10
Производительность, м <sup>3</sup> /ч	до 20	10
Перепад давления, МПа	0,6	
Поверхность фильтрации, м <sup>2</sup>	1,24	1,24
Ресурс до регенерации (при тонкости очистки 20 мкм), ч	900	100
Материал фильтроэлементов	Порошок бронзы БрОФ 10-1	
Материал корпуса	Листовая сталь	
Габариты, мм:	диаметр	150
	высота	600

Преимущества перед аналогами: по сравнению с бумажными и картонными, тканями и войлоками – большой рабочий перепад и производительность, функция влагоотделения, многократная регнерируемость; по сравнению с сетками – лучшая тонкость очистки и полнота отсева.

Проведенные сравнительные испытания показали следующее. Все типы фильтрующих элементов имеют удовлетворительную работоспособность в гидросистеме тракторов при различной тонкости фильтрования. Наибольшей грязеемкостью обладают бумажные фильтрующие элементы. В таблице 2 приведены результаты исследований интенсивности забивания (грязеемкости) различных типов ФЭ до срабатывания предохранительного клапана (0,28 МПа) в зависимости от количества загрязнителя (кварцевая пыль), вносимого в гидросистему. Загрязнение проводилось путем введения через каждые 3 мин. в отверстие крышки корпуса гидробака порций кварцевой пыли массой 20 и 40 г, тщательно перемешанной с маслом М10-В<sub>2</sub> (ГОСТ 8581-78).

Анализ приведенных в таблице 2 данных показывает, что количество кварцевой пыли, необходимой для полного загрязнения, составляет для бумажных фильтрующих элементов с тонкостью фильтрования 40 мкм 600 г, с тонкостью фильтрования 25–30 мкм – 440 г; для сетчатых при тонкости фильтрования 80 мкм – 160 г и для порошковых при тонкости фильтрования 25, 40, 50 и 70 мкм – соответственно 280 г, 180 г, 240 г и 200 г. Таким образом, бумажные фильтрующие элементы обладают в 2–3 раза большей грязеемкостью по сравнению с порошковыми и сетчатыми, что объясняется более развитой (за счет гофр) поверхностью фильтрования. В свою очередь, порошковые ФЭ имеют в 1,1–1,75 раза большую грязеемкость по сравнению с сетчатыми за счет установки большего количества (в 2 раза) порошковых элементов в корпус фильтра. Однако, несмотря на то, что бумажные ФЭ имеют наибольшую грязеемкость, они являются изделиями одноразового использования, в то время как сетчатые и порошковые можно регнерировать. В таблице 3 приведены

данные по восстановлению работоспособности (регенерации) различных типов ФЭ после их разового загрязнения до момента срабатывания предохранительного клапана. Восстановление работоспособности ФЭ проводилось путем очистки от грязи в дизельном топливе при помощи капроновой щетки с последующей их обратной продувкой воздухом.

Таблица 2

**Зависимость перепада давления на фильтрующем элементе от количества введенного загрязнителя**

№ п/п	Кол-во загрязнителя в масле, г	Тип ФЭ						
		Сетчатый	Порошковый				Бумажный	
		Перепад давления на ФЭ (МПа) при тонкости фильтрования, мкм						
		80	70	50	40	25	25-30	40
1	0	0,02	0,060	0,060	0,080	0,12	0,10	0,060
2	20			0,063	0,080			
3	20	0,022	0,070	0,072	0,090	0,13	0,105	0,060
4	20			0,080	0,10			
5	20	0,024	0,085	0,085	0,12	0,14	0,11	0,065
6	20			0,085	0,14			
7	20	0,030	0,11	0,105	0,17	0,155	0,11	0,070
8	20			0,12	0,19			
9	20	0,28	0,16	0,14	0,23	0,175	0,115	0,072
10	20			0,16	0,28			
11	20		0,28	0,19		0,20	0,115	0,075
12	20			0,25				
13	20			0,28		0,23	0,117	0,080
14	40					0,28	0,15	0,085
15	40						0,175	0,087
16	40						0,21	0,10
17	40						0,24	0,115
18	40						0,28	0,13
19	40							0,155
20	40							0,185
21	40							0,25
22	40							0,28

Таблица 3

**Значения перепада давления на чистых, загрязненных и регенерированных фильтрующих элементах**

Состояние ФЭ	Тип ФЭ				
	ПФМ				Сетчатый
	Перепад давления на ФЭ (МПа) при тонкости фильтрования, мкм				
	70	50	40	25	80
Чистый ФЭ	0,06	0,08	0,08	0,12	0,02
После загрязнения	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28
После промывки в дизельном топливе	0,06				0,02
После промывки в дизельном топливе и продувки воздухом		0,08	0,08	0,12	

Как видно из таблицы 3, как сетчатые, так и порошковые ФЭ практически полностью восстанавливают свою полную работоспособность после их разового засорения кварцевой пылью. Причем, чем выше их тонкость фильтрования, тем необходимее становится дополнительная операция обратной продувки воздухом.

Полученные данные, по результатам исследований (таблица 4), свидетельствуют о хорошей пропускной способности ПФМ из порошков бронзы при различных температурах масла.

Таблица 4

**Зависимость расходной характеристики ПФМ из порошка оловянно-фосфористой бронзы от температуры масла (тонкость фильтрования 20 мкм, перепад давления на образце 0,01 МПа, фильтруемая среда – масло моторное М-10Г<sub>2</sub>)**

Средняя температура масла, °С	88±2	58±2	44±1	37±1	31±1	26±1	20±1
Удельный расход масла, л/мин·см <sup>2</sup>	0,030	0,018	0,012	0,008	0,006	0,005	0,004



На рис. 1 представлено несколько вариантов исполнения ФЭ для очистки масла, обеспечивающих тонкость фильтрования от 10 до 70 мкм.



**Рис. 1.** Фильтрующие элементы для очистки смазочных масел

### **Выводы**

Наиболее предпочтительным представляется использование изделий из ПФМ на основе порошков оловянно-фосфористой бронзы для очистки моторного масла и рабочих жидкостей гидравлических систем сельскохозяйственной техники. Возможно использование порошковых ФЭ для очистки моторного масла путем непосредственной установки в объекты сельскохозяйственной техники. Однако при этом возникают дополнительные трудности, связанные с необходимостью регенерации фильтрующих элементов. В противном случае использование относительно дорогостоящего материала становится нецелесообразным.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. McIlvaine, R., 1996, World water treatment market to reach \$500 billion by 2000 Filtration and Separation. – Vol. 33, No. 5. – p. 362.

2. Очистка и регенерация смазочных материалов в условиях сельскохозяйственного производства / В. М. Капцевич [и др.]. – Минск: БГАТУ, 2007. – 232 с.
3. Сравнительный анализ отечественных и зарубежных фильтроматериалов / Вегера А.И., Елышин А.И., Волков В.К., Жаркова О.Н. // Вести ПГУ, В – Прикладные науки. – Новополоцк: ПГУ, 2000. – С. 69–74.
4. Пористые порошковые материалы с анизотропной структурой пор / Л.П. Пилинович [и др.]; под ред. П.А. Витязя. – Минск: Тонпик, 2005. – 252 с.

УДК 623.791.44

## **ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЕ УПРОЧНЕНИЕ В ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМ ПОЛЕ ДЕТАЛЕЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН**

*Акулович Л.М., д-р. техн. наук, проф.,  
Миклуш В.П., канд. техн. наук, проф.,  
Миранович А.В., зам. декана ФТС*

*(УО «Белорусский государственный аграрный государственный  
технический университет», г. Минск)*

### **Введение**

Детали автомобилей, тракторов и сельскохозяйственных машин в процессе эксплуатации подвергаются воздействию различного рода нагрузок и внешних сред, что приводит к необратимым процессам износа их рабочих поверхностей. Исследования ремонтного фонда тракторов показывают, что в среднем только до 20 % деталей подлежат выбраковке, 25-40 % деталей являются годными для дальнейшей эксплуатации, а 55-60 % деталей можно восстановить. Сущность восстановления изношенных деталей состоит в возвращении им