

УДК 621.436.2:621.899

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОЧИСТКИ МАСЛА  
В ДВИГАТЕЛЯХ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ  
ПРИМЕНЕНИЕМ ФИЛЬТРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗ УГЛЕРОДНЫХ ТКАНЕЙ**

*д-р техн. наук, проф. А.Н. КАРТАШЕВИЧ, В.Г. КОСТЕНИЧ  
(Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, Горки)*

*Рассмотрены некоторые вопросы повышения долговечности двигателей внутреннего сгорания. Показано, что одной из основных причин достижения двигателями предельного состояния является абразивное изнашивание. Для снижения износов двигателей предлагается применение фильтрующих элементов из углеродных тканей. Установлено, что по большинству основных параметров углеродные ткани превосходят фильтровальные бумаги и могут использоваться для очистки масла в таких двигателях.*

Повышение долговечности двигателей внутреннего сгорания (ДВС) является одной из важнейших проблем современного двигателестроения. Однако, несмотря на то, что решению данной проблемы посвящены многочисленные исследования [1 – 7], она продолжает оставаться актуальной.

Одним из основных факторов, снижающих долговечность ДВС, является изнашивание пар трения. Так, М.А. Григорьев и Н.Н. Пономарев в работе [8] отмечают, что «в эксплуатации моторесурс двигателя до первого капитального ремонта на 80...90 % определяется величиной износа его деталей». По данным С.В. Венцеля [9], 85 % машин выходит из строя в связи с износом трущихся соединений.

Однако из всех видов изнашивания ведущая роль принадлежит абразивному [4, 6, 8, 9, 10, 16], который вызывается частицами загрязнений, проникающими в двигатель вместе с воздухом, топливом и маслом, а также находящимися в двигателе продуктами износа деталей. Так, по данным [8] и [9], на долю абразивного изнашивания приходится от 34 до 78 % от всех видов изнашивания. В работе [16] вклад абразивной составляющей составляет 50...60 % от общего износа деталей ДВС.

Значительная интенсификация износа деталей наблюдается также при пуске и прогреве холодного двигателя, который характеризуется рядом особенностей. Во-первых, из-за высокой вязкости масло поступает к подшипникам с большим запаздыванием, что способствует возникновению в них граничного трения и повышенного износа, а в некоторых случаях и задира. Кроме этого, при длительной остановке двигателя масло из каналов и агрегатов системы смазки стекает в поддон картера, что еще больше увеличивает время запаздывания поступления смазки к парам трения и повышает вероятность возникновения задира и проворота вкладышей коленчатого вала. Во-вторых, значительный износ подшипников и шеек коленчатого вала при пуске ДВС обусловлен наличием в масле абразивных частиц, размер которых превышает величину зазора между шейкой вала и вкладышем. Если диаметральный зазоры в подшипниках на холодном дизеле составляют 40...140 мкм, то минимальные зазоры в подшипниках работающего двигателя составляют в зависимости от нагрузки от 4 до 100 мкм, снижаясь практически до микрометра при запуске двигателя [11]. И, в-третьих, в период пуска и прогрева наиболее интенсивно протекает процесс конденсации воды на холодных стенках цилиндра, вследствие чего интенсифицируется их коррозионный износ.

Пусковые износы автотракторных двигателей довольно широко исследованы в работах [4 – 9, 12, 14], но при оценке величины этих износов и их вклада в общий баланс эксплуатационных износов взгляды специалистов значительно расходятся. Однако большинство из них считают, что износ при пуске холодного двигателя является значительной составляющей в общей сумме эксплуатационных износов.

Так, например, в работе [4] отмечается, что абразивные частицы (особенно крупные и прочные) попадают в подшипники коленчатого вала главным образом при пусках двигателя, а «случаи задира и проворота вкладышей подшипников коленчатого вала дизелей до 80 % вызваны попаданием в них относительно крупных частиц загрязнений». По данным авторов работы [7], на долю пусков приходится от 50 до 70 % общего износа двигателя на установившемся режиме. Исследованиями [8] установлено, что «максимальная скорость изнашивания и максимальный износ имеют место в первые 1...2 минуты после пуска двигателя». Для автомобильных двигателей пусковой износ в эксплуатационных условиях оценивается в 2,4...23,4 % от общего износа [9]. В работе [12] установлено, что максимальный износ гильз цилиндров дизеля соответствует периоду первых всплесков пуска-разгона, а скорость изнашивания в этот период в 18...27 раз превышает скорость изнашивания при последующем прогреве двигателя на холостом ходу. В работе [14] также отмечает, что износ и разрушение подшипников коленчатого вала происходит в основном при пуске двигателя.

Пусковой износ обусловлен значительным возрастанием гидравлического сопротивления полнопоточных масляных фильтров из-за высокой вязкости холодного масла при пуске двигателя, в результате

которого открывается перепускной клапан фильтра, и масло через него поступает к подшипникам неочищенным. В этом случае резко повышается износ подшипников и шеек коленчатого вала, а также значительно возрастает вероятность задира их рабочих поверхностей. Отсутствие такого клапана или его заклинивание резко снижает подачу масла к подшипникам, создавая условия для их «масляного голодания» и последующего задира, а также может вызвать повреждение (разрыв) фильтрующего элемента.

Исследованиями [4] установлено, что даже небольшой пропуск нефильтрованного масла через открытый предохранительный клапан или поврежденный фильтрующий элемент (ФЭ) вызывает увеличение абразивного износа деталей до 10 раз и более.

Опыт эксплуатации и ремонта различных типов ДВС показывает, что наибольшему износу в двигателе подвержены: детали кривошипно-шатунного механизма – шейки и вкладыши коленчатого вала; детали цилиндропоршневой группы – поршень, гильза, компрессионные и маслосъемные кольца; детали газораспределительного механизма – кулачки и толкатели.

Наиболее актуальным является снижение износа деталей, лимитирующих моторесурс двигателей, к которым в первую очередь относятся такие базовые детали, как коленчатый вал и блок цилиндров, а также деталей, износы которых оказывают существенное влияние на эксплуатационные показатели двигателя, а их замена связана со значительной трудоемкостью (вкладыши коленчатого вала, гильзы цилиндров, поршни и поршневые кольца).

Авторами исследований [15] велись наблюдения за работой тракторов с отремонтированными двигателями ЯМЗ-240 с целью выявления наиболее малоресурсных деталей, узлов и систем двигателей. В результате было установлено, что малоресурсными, в частности, являются сопряжение коленчатый вал – вкладыш и система смазки двигателя.

Как уже было отмечено выше, ведущим в ДВС является абразивный износ, происходящий под действием пылевых частиц загрязнений, различными путями проникающих в двигатель. Основным компонентом большинства пылей является кремнезем или кварц ( $\text{SiO}_2$ ), содержание которого в различных почвенных пылях колеблется от 50 до 70 % [9] и по данным [16] может достигать до 95 %. Кварц представляет собой минерал, твердость которого превосходит твердость большинства конструкционных металлов и сплавов и по шкале Мооса достигает семи единиц. Кроме того, в пыли содержится до 0,8 % оксида алюминия или глинозема ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) – частиц с твердостью до девяти единиц [16]. В процессе работы двигателя атмосферная пыль проникает в картерное масло через сапун, сальники коленчатого вала, отверстие для маслощупа и любые неплотности в соединениях. Запыленность воздуха на высоте 0,5 м от поверхности земли около движущейся машины в различных условиях эксплуатации составляет для автомобилей от 0,03...0,05 г/м<sup>3</sup> при движении по дорогам с усовершенствованным покрытием до 1,8...5,5 г/м<sup>3</sup> при движении по грунтовым дорогам в колонне. Для тракторов этот показатель изменяется в пределах от 1,0...2,5 г/м<sup>3</sup> при пахоте подзолистых почв до 3,5...4,8 г/м<sup>3</sup> при культивации с боронованием [16].

Следует также отметить различное абразивное воздействие пыли на износ деталей ДВС в зависимости от места ее проникновения в двигатель. Наибольший износ подшипников и шеек коленчатого вала, вызывают абразивные частицы, попавшие непосредственно в масло, так как расход масла через них, по данным авторов работы [8], в зависимости от их состояния составляет от 81 до 96 % всего количества масла, подаваемого в главную масляную магистраль для смазки трущихся деталей. Кроме этого, пыль, находящаяся в масле, повышает износ цилиндров в средней части и маслосъемных колец. Абразивная пыль, поступающая в двигатель с воздухом или топливом, не оказывает существенного влияния на износ шеек и подшипников коленчатого вала, так как, во-первых, согласно исследованиям [8], в двигателе остается только около 10 % пыли, поступившей в цилиндры, а остальная ее часть выбрасывается с отработавшими газами. И, во-вторых, пыль, попадающая в масло из цилиндров, подвергается интенсивному дроблению в зазоре между кольцами и гильзой цилиндра, в результате чего ее абразивная агрессивность существенно снижается.

Обобщая все вышеприведенные факты, можно сделать вывод, что основным резервом повышения долговечности ДВС является снижение абразивной составляющей износа. Износ деталей, вызванный абразивными частицами, может быть значительно снижен применением эффективных средств защиты двигателя от проникновения в него пыли (воздушные и топливные фильтры, надежное уплотнение всех мест возможного проникновения пыли в двигатель), а также повышением эффективности очистки масла в системе смазки на всех режимах работы двигателя.

Очистка масла в двигателях современных тракторов осуществляется, как правило, комбинированными системами очистки, сочетающими полнопоточные и частичнопоточные фильтры и центрифуги. Такая система применена на дизелях ЯМЗ-240 (тракторы К-701) [13], Д-260.1 (Belarus 1522/1522В/1523/1523В), Д-260.2 (Belarus 1221/1221В/1222/1222В), где масло очищается полнопоточным фильтром с бумажным фильтрующим элементом и частичнопоточной центрифугой. Такие системы, по данным авторов работы [13], позволяют повысить коэффициент очистки масла от механических примесей в 3.4 раза (с 7 до 26 %), а применение частично поточной центрифуги увеличивает срок службы бумажного ФЭ в 2...3 раза.

Однако наряду с известными достоинствами агрегатов очистки масла современных автотракторных двигателей им также присущ и ряд существенных недостатков. Так, например, в сравнении с фильтрами центрифуги имеют повышенные затраты мощности на гидропривод ротора, более сложную конструкцию, значительную массу, недостаточную эффективность очистки масла в период холодного пуска и прогрева двигателя. В режиме эффективной очистки масла в дизельных двигателях центрифуги работают только на 12 % [17]. Так, при начальной температуре пуска 256 К начало вращения ротора центрифуги отстает от начала вращения коленчатого вала двигателя на 3 мин. Частота вращения ротора центрифуги увеличивается медленно и достигает номинального значения ( $5000 \text{ мин}^{-1}$ ) только через 20 мин [17].

От 30 до 40 % подводимого к реактивной центрифуге масла расходуется на гидропривод ротора, что значительно увеличивает вероятность «масляного голодания» подшипников коленчатого вала из-за снижения расхода масла через главную магистраль.

Практически все маслоочистители, применяемые на современных ДВС, не обеспечивают надежной защиты пар трения при пуске и прогреве двигателя. При холодном пуске двигателя из-за высокой вязкости непрогретого масла как в полнопоточных фильтрах, так и в центрифугах увеличивается вероятность открытия перепускного клапана или прорыва фильтрующей шторы фильтра и поступления в масляную магистраль двигателя неочищенного масла. В результате поступления к парам трения двигателя вместе с неочищенным маслом абразивных частиц последние вызывают повышенный износ деталей двигателя, что значительно сокращает его моторесурс, а в ряде случаев ведет к задиру и провороту вкладышей коленчатого вала [4]. Поэтому надежная очистка масла на всех режимах работы современных высокофорсированных автотракторных двигателей, и особенно на режиме их пуска и прогрева, имеет большое значение для обеспечения их долговечности и безотказности в работе.

Для повышения эффективности очистки масла в ДВС на кафедре «Тракторы и автомобили» БГСХА разработан полнопоточный фильтр (рис. 1) с фильтрующим элементом из углеродной ткани [18].

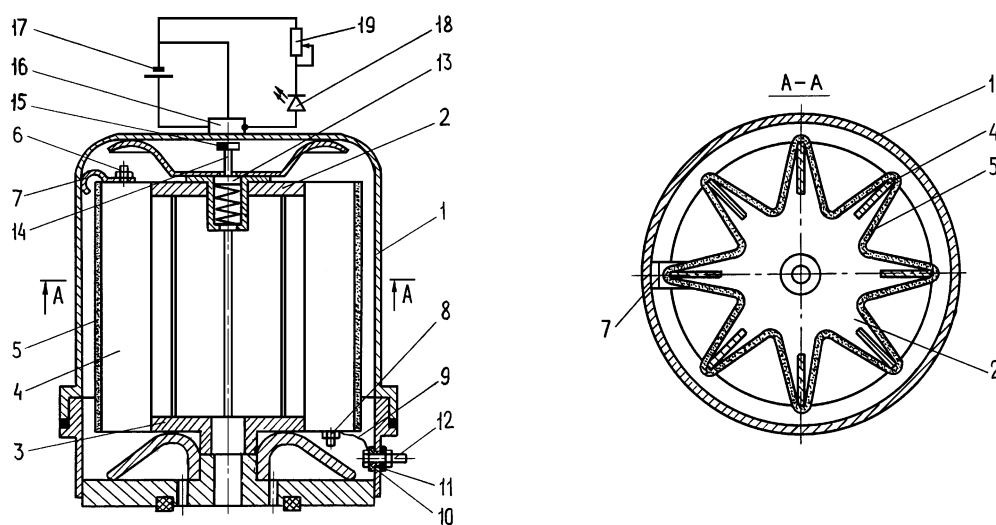


Рис. 1. Регенируемый фильтр для очистки масла двигателя внутреннего сгорания:

- 1 – корпус фильтра; 2 и 3 – торцевые диски; 4 – пластины; 5 – фильтрующая углеродная ткань;
- 6, 8 и 12 – клеммы; 7 – упругий контакт; 9 – соединительный проводник; 10 – текстолитовая втулка;
- 11 – текстолитовая шайба; 13 – перепускной клапан; 14 – стержень; 15 – постоянный магнит;
- 16 – магниточувствительная интегральная микросхема; 17 – источник питания;
- 18 – светодиод; 19 – регулируемый резистор

Углеродные ткани отличаются высокой прочностью, химической стойкостью в агрессивных средах, хорошей тепло- и электропроводностью, стойки к воздействию высоких температур. При запуске холодного двигателя перепад давлений на фильтре может быть снижен пропусканием электрического тока через фильтрующую ткань и подогревом проходящего через нее масла для снижения его вязкости. Появляется также возможность регенерации фильтрующего элемента без разборки фильтра и его многократного использования.

Фильтр содержит прикрепленный к двигателю цилиндрический корпус 1, установленный по оси корпуса фильтрующий элемент, состоящий из верхнего 2 и нижнего 3 торцевых дисков звездообразной

формы, выполненных из неэлектропроводного, термостойкого материала и соединенных между собой при помощи пластин 4, расположенных в прорезях дисков. На каркас, образуемый торцевыми дисками 2 и 3 и пластинами 4, уложена в виде гофр лента 5 из мелкоячеистой углеродной ткани (например, «Бусофит ТМ-055», «Бусофит Т-04») и приклеена к боковой поверхности торцевых дисков термостойким клеем. Одна из пластин при помощи клеммы 6 и упругого контакта 7 соединена с корпусом фильтра («массой»). Другая, диаметрально противоположная ей, пластина при помощи клеммы 8 и проводника 9 соединена с изолированной от корпуса посредством текстолитовых втулки 10 и шайбы 11 и выведенной наружу клеммой 12.

На перепускном клапане 13 установлен стержень 14, на конце которого установлен постоянный магнит 15. По оси цилиндрического корпуса 1 установлена магниточувствительная интегральная микросхема 16, соединенная с источником питания 17. К выходу микросхемы 16 последовательно подсоединены светодиод 18 и ограничивающий регулируемый резистор 19.

Регенерируемый фильтр работает следующим образом. Масло, проходя через мелкоячеистую углеродную ткань 5, очищается от механических примесей. При этом перепускной клапан 13 закрыт, постоянный магнит 15 находится в верхнем положении, на выходе магниточувствительной микросхемы 16 устанавливается напряжение логического нуля, и светодиод 18 не высвечивается.

По мере накопления загрязнений на углеродной ткани гидродинамическое сопротивление последней возрастает, что приводит к открытию перепускного клапана 13. При этом стержень 14 с магнитом 15 перемещается вниз, на выходе магниточувствительной микросхемы 16 появляется напряжение логической единицы, электрический ток от источника питания 17 поступает к светодиоду 18, который начинает высвечиваться, сигнализируя о необходимости регенерации фильтрующего элемента. Внешний вид фильтрующих элементов из углеродных тканей представлен на рисунке 2.

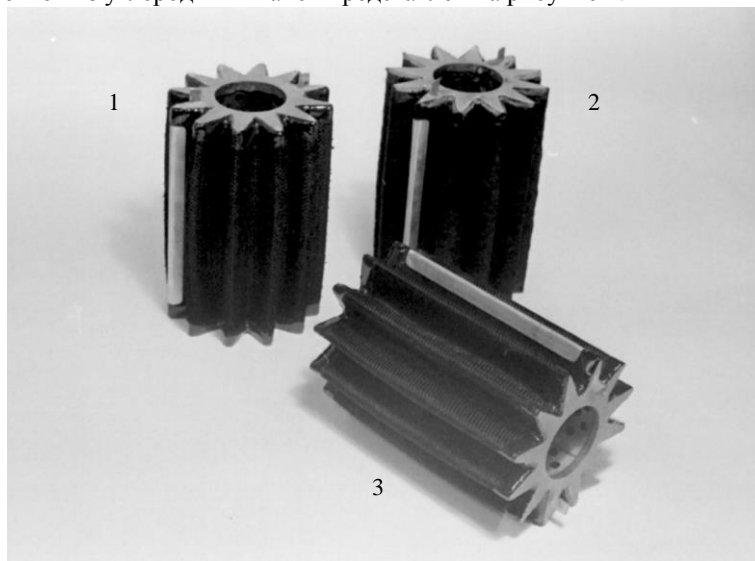


Рис. 2. Экспериментальные образцы фильтрующих элементов из углеродных тканей различных марок:

1 – Бусофит ТМ-055; 2 – Карбопон; 3 – Бусофит Т-04

Для регенерации фильтрующего элемента клемму 12 и «массу» фильтра соединяют с источником постоянного тока (источником тока может служить штатная аккумуляторная батарея трактора или автомобиля) при прогревом до температуры  $\approx 80^\circ\text{C}$  масле и остановленном двигателе. При прохождении тока через углеродную ткань происходит ее разогрев до высоких температур. Масло, пропитывающее ткань, вскипает в толще ткани с образованием пузырьков газа, которые под давлением вырываются через поры ткани наружу, выталкивая из пор и унося с собой частицы механических загрязнений и создавая эффект, аналогичный продувке ткани сжатым воздухом, чем и обеспечивается восстановление фильтрующих свойств ткани.

Для определения возможности применения углеродных тканей в фильтрующих элементах масляных фильтров ДВС были проведены исследования по определению основных характеристик тканей с последующим сравнением их с аналогичными характеристиками фильтровальных бумаг. На первом этапе исследований были проведены сравнительные испытания по методу определения сопротивления потоку воздуха двух марок фильтровальных бумаг: бумаги серийно выпускаемых Новогрудским УПП Бел-

ТИЗ фильтрующих элементов масляных фильтров двигателя Д-245 и бумаги фильтров D-298 фирмы «Clean» (Италия), а также четырех марок углеродных тканей: «Карбопон», «Бусофит ТМ-055», «Бусофит Т-04» и «Вискум ТМ-4», выпускаемых Светлогорским ПО «Химволокно».

Испытания проводились на установке по ГОСТ 25099-82 [19], однако для получения характеристик фильтрующих материалов (ФМ) с наименьшими погрешностями скорость воздуха, проходящего через испытуемый образец, изменялась в диапазоне от 0 до 200 см/с в зависимости от сопротивления испытуемого материала. По полученным данным построены кривые сопротивлений материалов в зависимости от скорости проходящего воздуха [20] и выполнены расчеты коэффициентов проницаемости  $K$  и средней тонкости фильтрации  $\sigma_0$ , результаты которых представлены в таблице 1.

Таблица 1

Коэффициент проницаемости  $K$  и средняя тонкость фильтрации  $\sigma_0$  исследуемых фильтрующих материалов

Параметры	Бумага «Clean»	Бумага серийного ФЭ	Карбопон	Бусофит ТМ-055	Бусофит Т-04	Вискум ТМ-4
$K \cdot 10^8, \text{см}^2$	367	306	213	574	171	195
$\sigma_0, \text{мкм}$	29,4	28,4	26,3	32	25	25,8

На основании полученных данных можно сделать вывод, что большинство из испытанных марок углеродных тканей по средней тонкости фильтрации превосходят фильтровальные бумаги, а по сопротивлению потоку воздуха ткань «Вискум ТМ-4» значительно превосходит остальные марки ткани [20], поэтому она была исключена из дальнейших исследований.

На втором этапе были проведены исследования по определению пористости углеродных тканей «Бусофит Т-04», «Бусофит ТМ-055» и «Карбопон», поскольку пористость является одним из основных свойств фильтрующих материалов, обеспечивающих их фильтрующую способность. Пористость ФМ определяли как расчетным методом, так и экспериментально – методом пропитки и гидростатического взвешивания [21]. Результаты расчетов и экспериментальных исследований представлены в таблице 2.

Таблица 2

Пористость исследуемых образцов углеродных тканей, определенная различными методами

Определяемые параметры	Бусофит Т-04	Бусофит ТМ-055	Карбопон
Пористость, определенная расчетным методом	0,78	0,79	0,88
Пористость по методу пропитки	0,72	0,83	0,93
Пористость по методу гидростатического взвешивания	0,76	0,81	0,86

Анализ данных таблицы 2 показывает, что максимальную пористость, среднее значение которой равно 0,89, имеет «Карбопон». А пористость углеродных тканей «Бусофит ТМ-055» и «Бусофит Т-04» несколько ниже и составляет в среднем соответственно 0,81 и 0,75.

На третьем этапе исследований определялась разрывная нагрузка фильтровальных бумаг на образце шириной 5 см и длиной 15 см на специально созданной для этого экспериментальной установке. Определение разрывной нагрузки производилось в двух взаимно перпендикулярных направлениях: в направлении, совпадающем с направлением складок (гофр) бумаги, и в направлении, перпендикулярном гофрам. Полученные результаты представлены в таблице 3.

Таблица 3

Результаты определения разрывной прочности фильтровальных бумаг

Марка фильтровальной бумаги	Разрывная нагрузка, Н/5 см	
	в направлении гофр	перпендикулярно гофрам
Бумага серийного фильтрующего элемента	73	84
Бумага фильтра «Clean»	136	146

Для сравнения, в таблице 4 приведены прочностные показатели некоторых марок углеродных тканей по данным, взятым из технической документации на ткани.

Таблица 4

Разрывная прочность некоторых марок углеродных тканей

Марка углеродной ткани	Разрывная нагрузка, Н/5 см	
	по основе	по утку
Вискум ТМ-4 А	2940	1176
Вискум ТМ-4 Б	1960	490
Вискум ТМ-4 В	980	245
Вискум Т-10-Р	1470	539
Вискум Т-15-Р	833	245
Вискум Т-22-Р	441	98
Бусофит Т	200	–
Бусофит Т-1	150	–
Бусофит ТР	200	–
Бусофит ТМ-04	800	–

Из данных таблицы 3 видно, что фильтровальные бумаги, как и углеродные ткани, имеют неодинаковую прочность в разных направлениях. Различная прочность тканей по основе и по утку объясняется разной плотностью плетения, т.е. разным количеством нитей, приходящимся на единицу длины поперечного сечения. Для фильтровальных бумаг разная прочность в продольном и поперечном направлениях может быть объяснена преобладанием продольного направления волокон в ленте бумаги перед поперечным, что связано с технологией ее производства.

Анализ данных таблиц 3 и 4 позволяет сделать вывод, что почти все углеродные ткани, за исключением ткани «Вискум Т-22-Р», имеющей разрывную нагрузку по утку 98 Н/5 см, превосходят по прочности фильтровальные бумаги, применяемые для очистки масла в ДВС. А прочность некоторых марок углеродных тканей, как, например, «Вискум ТМ-4 А», превышает прочность фильтровальных бумаг в десятки раз.

Выполненные исследования позволяют сделать вывод, что углеродные ткани «Бусофит Т-04», «Бусофит ТМ-055» и «Карбопон» по таким основным параметрам, как средняя толщина фильтрации и прочность на разрыв, превосходят фильтровальные бумаги отечественных и зарубежных фильтров тонкой очистки масла и лишь немного уступают им в пористости. Несколько более высокое гидравлическое сопротивление углеродных тканей может компенсироваться их регулярной регенерацией.

При применении фильтрующих элементов из углеродных тканей рекомендуется использовать систему периодической автоматической регенерации фильтрующих элементов и прогрева масла, проходящего через фильтр при пуске и прогреве двигателя, что исключит вероятность масляного голодания пар трения при запуске, снизит износ и повысит долговечность и безотказность двигателя.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гурвич И.Б., Сыркин П.Э., Чумак В.И. Эксплуатационная надежность автомобильных двигателей / И.Б. Гурвич. – М.: Транспорт, 1994. – 144 с.
2. Кряжков В.М. Надежность и качество сельскохозяйственной техники. – М.: Агропромиздат, 1989. – 335 с.
3. Григорьев М.А., Бунаков Б.М., Чудиновских А.Л. Надежность ДВС – проблема, решаемая комплексно // Автомобильная промышленность. – 1989. – № 1. – С. 12 – 14.
4. Григорьев М.А. Очистка масла в двигателях внутреннего сгорания. – М.: Машиностроение, 1983. – 148 с.
5. Григорьев М.А., Бунаков Б.М., Долецкий В.А. Качество моторного масла и надежность двигателей. – М.: Изд-во стандартов, 1981. – 232 с.

6. Григорьев М.А., Долецкий В.А. Обеспечение надежности двигателей. – М.: Изд-во стандартов, 1978. – 323 с.
7. Шувалов А., Кочергин С., Козлов А. Снижение износа машин // Сельский механизатор. – 2004. – № 11. – С. 12 – 13.
8. Григорьев М.А., Пономарев Н.Н. Износ и долговечность автомобильных двигателей. – М.: Машиностроение, 1976. – 248 с.
9. Венцель С.В. Смазка и долговечность двигателей внутреннего сгорания. – Киев: Техніка, 1977. – 208 с.
10. Венцель С.В. Применение смазочных масел в двигателях внутреннего сгорания. – М.: Химия, 1979. – 240 с.
11. Григорьев М.А., Ануфриев В.А. Системы смазки зарубежных автомобильных двигателей: Обзор. – М., 1964.
12. Суранов Г.И. К исследованию пусковых износов двигателей внутреннего сгорания // Труды ЦНИИМЭ. – Сб. 90. – М., 1968. – С. 37 – 45.
13. Маев В.Е., Смирнов Г.А. Средства фильтрации и их сертификация // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2001. – № 1. – С. 28 – 29.
14. Махутов А.А. Пуск дизеля при низкой температуре окружающего воздуха // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2004. – № 4. – С. 40 – 41.
15. Полуян А.Г., Полуян В.А. Резервы повышения качества ремонта двигателей ЯМЗ-240 // Техника в сельском хозяйстве. – 2001. – № 4. – С. 37 – 38.
16. Глыбин А.И. Автотракторные фильтры: Справочник. – Л.: Машиностроение, 1980. – 181 с.
17. Рыбаков К.В., Усанов Ю.А. Работа полнопоточных очистителей масла // Техника в сельском хозяйстве. – 1987. – № 2. – С. 24 – 26.
18. Пат. ВУ 4693 С1, МПК В 01D 35/14. Регенерируемый фильтр для очистки масла двигателя внутреннего сгорания / Карташевич А.Н., Костенич В.Г., Мажугин Е.И. – № 970502; Заявл. 25.09.97; Оpubл. 30.09.02 // Бюл. НЦИС РБ. – № 3. – 4 с.
19. ГОСТ 25099-82 Бумага и картон фильтровальные. Метод определения сопротивления потоку воздуха. – М.: Изд-во стандартов, 1982. – 7 с.
20. Карташевич А.Н., Костенич В.Г. Исследование пропускной способности фильтрующих материалов для очистки масла в автотракторных двигателях // Эксплуатация, ремонт и восстановление сельскохозяйственной техники: Докл. междунар. науч.-практ. конф., Горки, 24 – 28 июня 1997 г. – Горки: БСХА, 1997. – С. 59 – 62.
21. Карташевич А.Н., Костенич В.Г. Исследование пористости углеродных тканей // Современные проблемы машиноведения: Матер. междунар. науч.-техн. конф.: В 2-х т. – Гомель: ГГТУ, 2000. – Т. 1 – С. 115 – 117.