

УДК 629.114.2 : 621.43

А. Н. Карташевич, д-р техн. наук, проф., В. Г. Костенич

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ ДВС ПРИМЕНЕНИЕМ ФИЛЬТРОВ ИЗ УГЛЕРОДНЫХ ТКАНЕЙ

Ресурс автотракторных двигателей на 80...90 % обусловлен износом, причем преобладающим является абразивный износ. Для снижения износа предлагается использование для очистки масла в двигателях фильтра с фильтрующим элементом из углеродной ткани. Приводятся результаты исследований по определению характеристик фильтровальных бумаг и углеродных тканей: коэффициента проницаемости, средней тонкости фильтрации и пористости, а также полученное аналитическое выражение для определения температуры масла на входе в фильтрующий элемент.

Одним из основных факторов, определяющих надежность автотракторной техники, является надежность ее силовой установки – двигателя внутреннего сгорания (ДВС). Анализ эксплуатационных данных показывает, что от 35 до 45 % всех отказов машин приходится на двигатель, а после капитального ремонта количество отказов двигателей возрастает на 25 % [1].

Ресурс автотракторных ДВС на 80...90 % обусловлен износом их сопряженных деталей [2], причем, как установлено исследованиями [3], из всех видов износа преобладающим является абразивный износ. Вклад абразивного износа в общий износ двигателя составляет 50...60 % при эксплуатации техники в условиях относительно небольшой запыленности воздуха и достигает 80 % при его повышенной запыленности [4...6].

Кроме того, согласно данным работы [7], от 50 до 70 % общего износа двигателя приходится на долю пусков. Пусковой износ в значительной степени обусловлен открытием перепускного клапана масляного фильтра или центрифуги вследствие высокой вязкости масла при пуске непрогретого двигателя и поступления его к подшипникам неочищенным [8]. Согласно данным [4], даже небольшой пропуск нефильтрованного масла через открытый перепускной клапан вызывает увеличение абразивного износа деталей до 10 раз и более. Помимо интенсификации износа деталей попадание крупных абразивных частиц в главную

масляную магистраль является основной причиной таких аварийных отказов двигателя, как задиры и проворачивание вкладышей коленчатого вала.

Поэтому надежность и долговечность двигателей в эксплуатации в значительной степени зависит от надежности защиты их пар трения от поступления в них абразивных частиц, и особенно в период пуска и прогрева двигателя.

На кафедре «Тракторы и автомобили» Белорусской государственной сельскохозяйственной академии были проведены испытания масляных фильтров для определения вероятности открытия перепускного клапана фильтра при пуске двигателя. Целью испытаний было снятие гидравлических характеристик масляных фильтров двух марок: фильтра двигателя Д-260 отечественного производства и фильтра фирмы «Клиан» DO-298 (Италия), применяемого на двигателях производства Минского моторного завода, устанавливаемых на автобусах «Икарус».

Снятие характеристик фильтров производилось на лабораторной установке, созданной на базе стенда КИ-5278 для испытания узлов смазочных систем двигателей. Гидравлические характеристики снимались с использованием моторного масла М-10Г₂ (ГОСТ 8581-94) в интервале температур от 0 до 80 °С при температурах 0; 10; 20; 30; 40; 60 и 80 °С. Измерение температуры масла осуществлялось с

точностью до 0,5 °С на входе в фильтр и на выходе из него хромель-копелевыми термопарами, изготовленными из проволоки диаметром 0,7 мм и подключенными к милливольтметру второго класса точности. Расход масла через фильтр определялся при помощи мерного бака, протарированного с точностью до 0,1 л. Давление на входе в фильтр и на выходе из него определялось образцовыми манометрами с пределами измерений 1 и 0,6 МПа соответственно. Заданная температура масла в баке установки в интервале от 30 до 80 °С поддерживалась при помощи электроконтактного термометра, включенного в цепь управления нагревательным элементом.

Полученные гидравлические характеристики представлены на рис. 1. Приведенные гидравлические характеристики наглядно показывают значительное снижение пропускной способности фильтров при уменьшении температуры масла. Так, например, даже в условиях запуска двигателя в летний период при температуре окружающего воздуха 20 °С пропускная способность фильтров снижается в 2,5...3,7 раза по сравнению с нормальной рабочей температурой масла. При температуре 0 °С и перепаде давлений на фильтре, не достигающем давления открытия перепускного клапана фильтра 0,15...0,17 МПа (дизели Д-260.1/260.2 тракторов Беларус-1221, 1222, 1522), пропускная способность фильтров не превышает 2 л/мин. Следует также учитывать, что данные гидравлические характеристики получены для чистых фильтрующих элементов на чистом смазочном масле. При образовании на поверхности фильтрующего элемента слоя отложений гидравлическое сопротивление его значительно возрастает. А при запуске двигателя в условиях отрицательных температур существует практически 100-процентная вероятность открытия перепускного клапана фильтра и подачи к парам трения неочищенного масла.

Для создания оптимальных условий пуска ДВС при низких температурах на-

ходит применение предпусковой разогрев при помощи горячей воды, горячего воздуха, пара, электронагревателей или предпусковых подогревателей [9...11]. Однако разогрев двигателя требует значительных затрат времени, топлива, тепловой или электрической энергии и не всегда экономически целесообразен.

Известны также конструкции, в которых масляный фильтр и радиатор объединены в один агрегат [12...14], что позволяет ускорить прогрев масла после запуска двигателя, однако не решает задачи снижения пусковых износ.

Для снижения пускового и общего износа ДВС нами предлагается использование для очистки масла в автотракторных двигателях полнопоточного регенерируемого фильтра с фильтрующим элементом (ФЭ) из углеродной ткани [15], схема которого представлена на рис. 2.

Регенерируемый фильтр работает следующим образом. Масло, проходя через 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 её гидравлическое сопротивление 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, подробное описание которой приведено в [15].

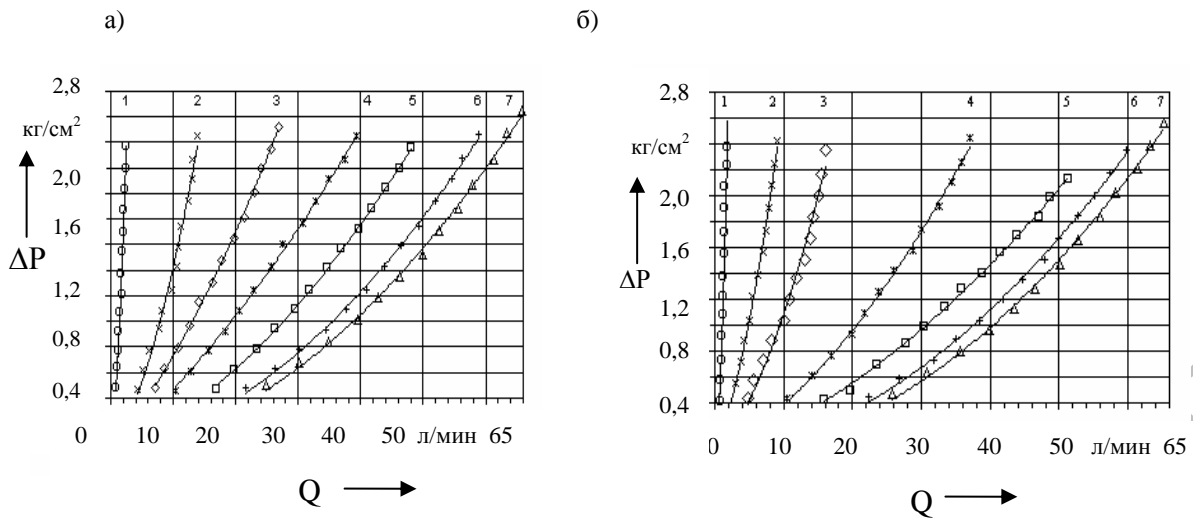


Рис. 1. Гидравлические характеристики: а – фильтра двигателя Д-260; б – фильтра DO-298 «Клиан», снятые при температурах: 1 – 0 °С, 2 – 10 °С, 3 – 20 °С, 4 – 30 °С, 5 – 40 °С, 6 – 60 °С, 7 – 80 °С

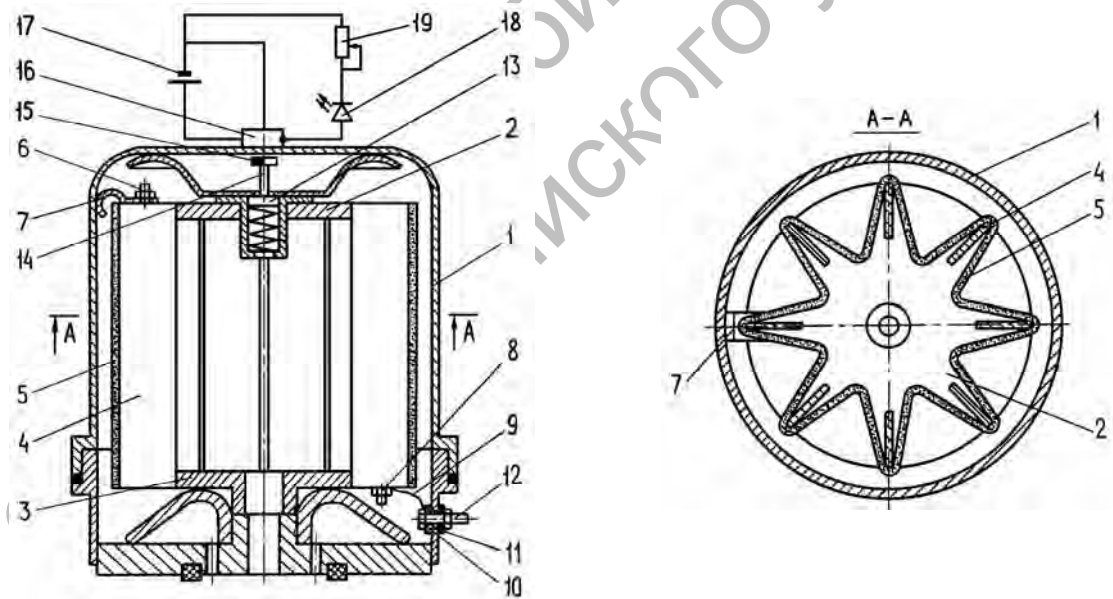


Рис. 2. Регенерируемый фильтр для очистки масла двигателя внутреннего сгорания: 1 – корпус фильтра; 2 и 3 – торцевые диски; 4 – пластины; 5 – фильтрующая углеродная ткань; 6, 8 и 12 – клеммы; 7 – упругий контакт; 9 – соединительный проводник; 10 – текстолитовая втулка; 11 – текстолитовая шайба; 13 –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

Имеется также возможность подогрева проходящего через фильтрующий элемент масла при запуске двигателя посредством пропускания электрического

тока через фильтрующую штору, чем достигается снижение перепада давлений на фильтре и предупреждается открытие перепускного клапана, а следо-

вательно, и поступление неочищенного масла к парам трения двигателя, что и обеспечивает снижение пускового износа двигателя.

Подбор углеродной ткани с меньшей тонкостью отсева позволит снизить и общий износ двигателя, поскольку в настоящее время для полнопоточных фильтров оптимальной считается номинальная тонкость отсева 30...50 мкм [4]. Однако, как отмечено в работе [2], максимальный износ деталей ДВС вызывают абразивные частицы размером 20...30 мкм, следовательно, фильтры с тонкостью отсева 30...50 мкм не обеспечивают 100-процентной защиты пар трения двигателя от наиболее опасных частиц загрязнений. Применение же в масляных фильтрах фильтровальных материалов с высокой тонкостью отсева (например, БФМ-К) с целью повышения качества очистки масла приводит к быстрому загрязнению фильтрующих элементов и поступлению неочищенного масла к парам трения двигателя через предохранительный клапан фильтра, то есть дает отрицательный эффект [8]. Поэтому одним из путей решения задачи повышения тонкости отсева может быть применение фильтров с ФЭ из углеродных тканей с

периодической регенерацией (самоочисткой) и восстановлением их фильтрующих свойств.

С целью подбора марки углеродной ткани с оптимальными фильтрующими характеристиками нами были проведены сравнительные испытания бумаги фильтрующих элементов масляных фильтров двигателя Д-260, бумаги фильтров DO-298 фирмы «Клиан» (Италия) и углеродных тканей «Карбопон», «Бусофит ТМ-055», «Бусофит Т-04» и «Вискум ТМ-4». Испытания проводились по методу определения сопротивления потоку воздуха (ГОСТ 25099-82).

Полученные в результате расчетные значения коэффициента проницаемости K и средней тонкости фильтрации σ_0 приведены в табл. 1.

Также были проведены исследования по определению пористости углеродных тканей «Бусофит Т-04», «Бусофит ТМ-055» и «Карбопон». Пористость определялась расчетным методом, методом пропитки и методом гидростатического взвешивания [16]. Полученные результаты представлены в табл. 2.

Табл. 1. Расчетные значения коэффициента проницаемости и средней тонкости фильтрации

Параметры	Бумага «Клиан»	Бумага ФЭ Д-260	«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

Табл. 2. Расчетные значения пористости

Определяемые параметры	«Карбопон»	«Бусофит ТМ-055»	«Бусофит Т-04»
Пористость, определенная расчетным методом	0,88	0,79	0,78
Пористость по методу гидростатического взвешивания	0,86	0,81	0,76
Пористость по методу пропитки	0,83	0,85	0,72
Среднее значение пористости	0,86	0,82	0,75

Анализируя данные табл. 1, можно сделать вывод, что углеродные ткани (за исключением «Бусофит ТМ-055») по средней тонкости фильтрации превосходят фильтровальные бумаги. Данные табл. 2 показывают, что углеродные ткани обладают достаточно высокой пористостью и могут быть использованы для очистки масла в автотракторных двигателях внутреннего сгорания.

Для теоретического определения конструктивных параметров фильтрующего элемента из углеродной ткани необходимо знать распределение температуры масла в пространстве и во времени, т.е. найти температурное поле. Фильтрующую перегородку, сложенную в виде многолучевой звезды, для упрощения задачи можно рассматривать как пористую пластину толщиной δ с постоянным коэффициентом теплопроводности и внутренним равномерно распределенным источником теплоты мощностью q_v . Поскольку длина и ширина пластины велики по сравнению с ее толщиной δ , то такую пластину можно рассматривать как неограниченную, а температурное поле внутри пластины считать одномерным.

Для одномерного температурного поля $T(x, \tau)$ неограниченной пористой пластины с внутренним источником теплоты уравнение Фурье имеет вид:

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = a \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{q_v}{C\rho}, \quad (1)$$

где a – коэффициент температуропроводности, $\text{м}^2/\text{с}$; q_v – мощность внутреннего источника теплоты, $\text{Вт}/\text{м}^3$; C – удельная теплоемкость, $\text{Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$; ρ – плотность, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Решение уравнения (1) для случая, когда имеет место теплообмен, соответствующий граничному условию четвертого рода, дает распределение температур жидкости в фильтрующей перегородке, которое имеет вид [17]:

$$T = T_0 + \frac{\lambda_3 q_v}{(C_{pж} \rho_{ж} w_{ж})^2} + \left(T_2 - T_0 - \frac{\lambda_3 q_v}{(C_{pж} \rho_{ж} w_{ж})^2} - \frac{q_v}{C_{pж} \rho_{ж} w_{ж}} \delta \right) \times e^{\text{Kn} \frac{(x-\delta)}{\delta}} + \frac{q_v}{C_{pж} \rho_{ж} w_{ж}} x, \quad (2)$$

где T_0 – начальная температура масла, К; λ_3 – эквивалентный коэффициент теплопроводности, $\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$; $C_{pж}$ – удельная изобарная теплоемкость масла, $\text{Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$; $\rho_{ж}$ – плотность масла, $\text{кг}/\text{м}^3$; $w_{ж}$ – скорость течения масла, $\text{м}/\text{с}$; T_2 – температура масла на выходе из пористой пластины, К; δ – толщина пористой пластины, м; Kn – число охлаждения пористых тел [17].

Полученное выражение (2) позволяет аналитически определить температуру масла T_1 на входе в фильтрующий элемент при известных теплофизических характеристиках жидкости и углеродной ткани ($C_{pж}$, $\lambda_{ж}$, $\rho_{ж}$, $\lambda_{т}$), начальной температуре жидкости T_0 , толщине пористой пластины δ и мощности внутреннего источника теплоты q_v .

Результаты работы могут использоваться при выборе марки углеродной ткани для очистки масла в ДВС и для определения конструктивных параметров фильтрующего элемента путем моделирования различных условий протекания процесса нагревания масла.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сафонов, В. В. Повышение ресурса тракторных дизелей за счет металлосодержащих добавок к маслу / В. В. Сафонов, Э. К. Добринский // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2001. – № 4. – С. 17–18.
2. Григорьев, М. А. Износ и долговечность автомобильных двигателей / М. А. Григорьев, Н. Н. Пономарев. – М.: Машиностроение, 1976. – 248 с.
3. Гурвич, И. Б. Эксплуатационная

надежность автомобильных двигателей / И. Б. Гурвич, П. Э. Сыркин, В. И. Чумак. – М. : Транспорт, 1994. – 144 с.

4. **Григорьев, М. А.** Очистка масла в двигателях внутреннего сгорания / М. А. Григорьев. – М. : Машиностроение, 1983. – 148 с.

5. **Венцель, С. В.** Смазка и долговечность двигателей внутреннего сгорания / С. В. Венцель. – Киев : Техніка, 1977. – 208 с.

6. **Глыбин, А. И.** Автотракторные фильтры : справочник / А. И. Глыбин. – Л. : Машиностроение, 1980. – 181 с.

7. **Шувалов, А.** Снижение износа машин / А. Шувалов, С. Кочергин, А. Козлов // Сельский механизатор. – 2004. – № 11. – С. 12–13.

8. **Костенич, В. Г.** Анализ способов очистки масла в двигателях внутреннего сгорания / В. Г. Костенич // Механизация мелиоративных работ : сб. науч. тр. – Горки, 1997. – С. 18–23.

9. **Квайт, С. М.** Пусковые качества и системы пуска автотракторных двигателей / С. М. Квайт, Я. А. Менделевич, Ю. П. Чижков. – М. : Машиностроение, 1990. – 256 с.

10. **Семенов, Н. В.** Эксплуатация автомобилей в условиях низких температур / Н. В. Семенов. – М. : Транспорт, 1993. – 190 с.

11. **Кочергин, С. В.** Саморегулируемый электроподогрев моторного масла в двигателях внутреннего сгорания / С. В. Кочергин, В. В. Остриков // Двигателестроение. – 2004. – № 4. – С. 33–36.

12. **Заявка 19736039 Германия, МПК⁶ F 01 M 11/03.** Olmodul fur Brennkraftmaschinen / Winter Josef, Grumann Bernd; MAN Nutzfahrzeuge AG. – № 19736039.4; заявл. 20.08.97 ; опубл.

25.02.99. – 5 с.

13. **Пат. 6261448 США, МПК⁷ B 01 D 35/18.** Oil filtration and heat exchange apparatus / Marchant Gerald, Loblick Norton, Kluge Jens; Merch Performance Inc. – № 09/350781 ; заявл. 09.07.99 ; опубл. 17.07.01 ; НПК 210/184. – 4 с.

14. **Пат. 6746600 США, МПК⁷ B 01 D 35/18.** Fluid filter with integrated cooler / Nguyen Ledu Q.; Arvin Technologies Inc. – № 10/241201 ; заявл. 11.09.02 ; опубл. 08.06.04 ; НПК 210/168. – 6 с.

15. **Пат. 4693 РБ, МПК⁷ B 01 D 35/14.** Регенерируемый фильтр для очистки масла двигателя внутреннего сгорания / А. Н. Карташевич, В. Г. Костенич, Е. И. Мажугин ; заявитель и патентообладатель Белорус. с.-х. акад. – № 970502 ; заявл. 25.09.97 ; опубл. 30.09.02, Бюл. № 3. – 4 с.

16. **Витязь, П. А.** Фильтрующие материалы : свойства, области применения, технология изготовления / П. А. Витязь, В. М. Капцевич, Р. А. Кусин. – Минск : НИИ ПМ с ОП, 1999. – 304 с.

17. **Карташевич, А. Н.** Теоретические исследования процесса электроподогрева масла в фильтре тонкой очистки из углеродной ткани / А. Н. Карташевич, В. Г. Костенич // Вестн. Белорус. гос. с.-х. акад. – 2005. – № 4. – С. 82–88.

Белорусская государственная сельскохозяйственная академия
Материал поступил 22.02.2006

A. N. Kartashevich, V. G. Kostenich
Increase of reliability and durability
of internal-combustion engines application
of filters from carbon fabrics
Belarusian State Agricultural Academy

The resource of autotractor engines on 80...90 % is caused by wear, and abrasive wear is prevailing. For decrease in wear is offered use for clearing oil in engines of the filter with a filtering element from a carbon fabric. Results of researches by definition of characteristics of filtering papers and carbon fabrics are adduced: coefficient of permeability, an average of filtration rating and porosity, and also the obtained analytical expression for definition of temperature of oil on an input in filtering element.