

УДК 621. 891

**СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД ПРИ ПОДБОРЕ МОТОРНЫХ МАСЕЛ К  
ДВС И ОПРЕДЕЛЕНИИ СРОКОВ ИХ СМЕНЫ**

**Эйдзен Никита Александрович**

магистрант

**Абросимов Александр Геннадьевич**

кандидат технических наук, доцент

[AlexAbr84@bk.ru](mailto:AlexAbr84@bk.ru)

Мичуринский государственный аграрный университет

г. Мичуринск, Россия

**Аннотация.** Разработан системный подход, который применялся при решении проблемы подбора моторных масел к двигателю и определении сроков их смены. В результате были получены графические и математические зависимости, а также разработаны методики подбора моторного масла к ДВС и определение периодичности их замены, что позволяет эксплуатировать масла не по наработке, а по их техническому состоянию.

**Ключевые слова:** моторное масло, двигатель, срок замены масла, методики подбора моторного масла, подбор масла.

На сегодняшний день на рынке России появился большой ассортимент моторных масел как отечественного, так и зарубежного производства. Судя по рекламной информации, все моторные масла имеют хорошие служебные свойства и предназначены для использования в самых высоконагруженных двигателях, однако, при этом не указывается периодичность их замены. Все это затрудняет подбор моторного масла к конкретному двигателю [1, 2].

Проанализировав публикации ведущих двигателестроителей России, Украины, Белоруссии, а также зарубежных фирм-производителей были установлены методы и методики определения периодичности замены моторных масел. До настоящего времени единственно надежным является метод по установлению периодичности замены моторных масел путем стендовых испытаний двигателей, работающих с различными сроками замены масел с последующей разборкой и обмером пар трения и оценки количества отложений лаков, нагаров и осадков. Однако такой метод является дорогостоящим и дает информацию только для конкретной модели двигателя.

Многолетний опыт эксплуатации автомобильной техники показывает, что одним из основных факторов, определяющих безотказность и долговечность двигателя, является надежная работа его узлов трения. Если принять износ всех сопряжений двигателя за 100 %, то на износ цилиндро-поршневой группы (ЦПГ) и кривошипно-шатунный механизм (КШМ) приходится 70 – 80 %, а на остальные сопряжения – 20 – 30 % [1, 2]. Основными механизмами, которые определяют «жесткость» работы масла в двигателе, являются ЦПГ и КШМ [3, 4].

Проведенный анализ работ [4-8], посвященных исследованию трибохимических процессов в контактной зоне при трении, показывает, что при испытании малых объемов масла в достаточно жестких условиях, что характерно для ЦПГ, можно вызывать ускоренное фрикционное окисление масла, при котором достигается эффект его старения. Полученные при этом закономерности изменения противоизносных и противозадирных свойств можно использовать при разработке диагностического алгоритма оценки

технического состояния моторного масла.

Анализ литературных источников ведущих специалистов в области химмотологии, а также последние публикации фирмы Lubrizol и ведущих специалистов АО «Автодизель» (г. Ярославль), позволил установить, что процессы изменения служебных свойств моторных масел при работе в двигателе, т. е. процессы его старения, являются многофакторными процессами. Следовательно, сложной многофакторной задачей является установление зависимостей между этими процессами.

В основу методического подхода при решении поставленных задач был положен системный анализ, где объектом исследования служил двигатель внутреннего сгорания – моторное масло. При решении таких задач нами были применены основные теоремы теории подобия и моделирования. На основании второй теоремы теории подобия и моделирования ( $\pi$ -теоремы), которая говорит о том, что любой сложный физический процесс можно представить в виде функциональных зависимостей между критериями подобия, были получены критерии подобия. При этом в качестве критериев используются безразмерные комплексы, в которые могут входить  $N$  независимых факторов.

Анализ литературных источников и опрос специалистов в области эксплуатации транспортных средств позволил определить факторы, которые в первую очередь влияют на надежность и долговечность двигателей транспортных средств. К ним относятся: литровая мощность двигателя  $N_{л}$ ; суммарная площадь цилиндров  $F_{ц}$ ; удельный расход топлива  $g_e$ ; комплекс, характеризующий оборачиваемость масла в двигателе, который включает в себя максимальные обороты двигателя  $n$  и объем системы смазки  $G_m$ ; энергетический интегральный критерий оценки трибологической характеристики моторного масла, характеризующий наличие в масле антифрикционных противоизносных и противозадирных присадок  $E$ ; щелочное число масла  $Щ$ ; кинематическая вязкость масла,  $\eta$ ; склонность масла к окислению  $C$ ; наличие серы в топливе  $S$ ; время работы двигателя  $t$ ; объем долива свежего моторного масла  $G_d$ .

Из перечисленных факторов методом анализа размерностей были получены три критерия подобия [6, 7, 9]

$$\pi_{\text{двс}} = \frac{N_n \psi F_n^{5/2} \psi_n}{G_m} \quad (1)$$

$$\pi_{\text{м}} = \frac{E \psi \psi^{2/3}}{\eta^2 \psi C^{5/3}} \quad (2)$$

$$\pi_{\text{т}} = \frac{S \psi N_n^{3/4} \psi_t^{9/4}}{G_m^{3/4} \psi G_n^{3/4}} \quad (3)$$

Показатели степеней, стоящие при факторах, указывают на значимость факторов в данном процессе.

Расчетным путем по формуле (1) был произведен анализ пределов изменения критерия оценки «жесткости» работы моторного масла более, чем для 100 двигателей. Из анализа следует, что критерий изменяется от величины 13,42 для двигателей КамАЗ, ЯМЗ-236 и ЯМЗ-238 Н до величины 102,6 для двигателей Mercedes и BMW. Одновременно из руководств по эксплуатации для данных двигателей была взята группа эксплуатации масел по классификации API, которую регламентирует завод-изготовитель двигателя. Полученные данные позволили построить зависимости группы эксплуатации по классификации API от расчетного значения критерия «жесткости» для дизельных и бензиновых двигателей.

Данные качественные зависимости позволяют производить подбор моторных масел к двигателю. Рассчитав значение  $\pi_{\text{двс}}$  для конкретного двигателя можно графическим путем определить рекомендуемую группу эксплуатации по классификации API. Лабораторными испытаниями «товарных» масел с последующим расчетом критерия подобия по формуле (2) для 35 марок моторных масел были получены диапазоны изменения критерия  $\pi_{\text{м}}$ . Критерий изменяется от значения 7,28 для масел группы M-10  $\Gamma_{2к}$  до значения 507 – 541 для масел Esso, Castrol. На основании расчетных данных нами была установлена зависимость группы эксплуатации по классификации

API от количественного значения  $\pi_M$  для дизельных (рис. 1) и бензиновых двигателей (рис 2)

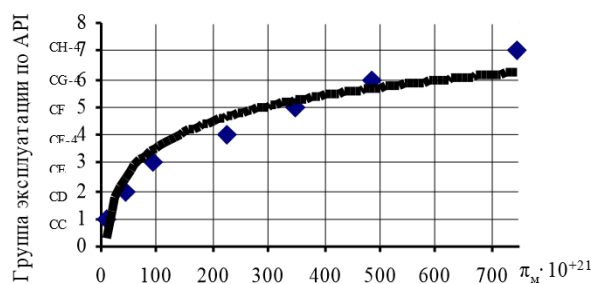


Рисунок 1 - Зависимость группы эксплуатации моторного масла по API от критерия  $\pi_M$  для дизельных двигателей

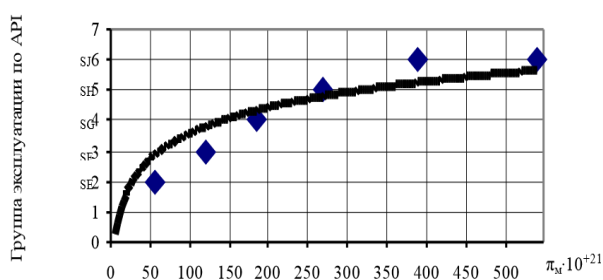


Рисунок 2 - Зависимость группы эксплуатации по API от  $\pi_M$ , для бензиновых двигателей

Полученные зависимости группы эксплуатации по классификации API от  $\pi_{двс}$  и группы эксплуатации по классификации API от  $\pi_M$  позволила при помощи метода наименьших квадратов получить количественную зависимость  $\pi_M$  от  $\pi_{двс}$  и их математические выражения для дизельных двигателей

$$\pi_M = 7,4664505 \cdot 10^{+23} \cdot \ln(\pi_{двс}) + 1,5262 \cdot 10^{+25}; \quad (4)$$

и для бензиновых двигателей

$$\pi_M = 2,25013 \cdot 10^{+23} \cdot \ln(\pi_{двс}) + 4,568 \cdot 10^{+24}. \quad (5)$$

Адекватность полученных математических моделей была оценена по критерию Фишера, с достоверной вероятностью 0,95 и расчетом коэффициента корреляции между критериями  $\pi_M$  и  $\pi_{двс}$ . Полученные зависимости позволяют расчетным путем осуществить подбор моторного масла к конкретному двигателю. Для этого расчетным путем по формуле (1) определяют численное значение  $\pi_{двс}$ , которое подставляют в формулу (4) для дизельных или формулу (5) для бензиновых двигателей. Расчет по указанным формулам позволяет получить численное значение  $\pi_M$ . Пользуясь графической зависимостью

(рис. 1, 2), можно определить группу эксплуатации моторного масла по классификации API. Полученные зависимости позволили разработать методику подбора моторных масел к двигателю внутреннего сгорания.

При установлении сроков замены масла в двигателях применяют так называемые браковочные показатели, при достижении предельно допустимых значений необходимо заменить масло [10, 11]. Определяя время работы моторного масла в двигателе, при достижении которого критерий  $\pi_m$  будет достигать предельных значений, необходимо учитывать не реальное время работы в часах или пробег машины в км, а оценивать этот фактор безразмерным критерием подобия  $\pi_t$ , формула (3). При таком подходе будет решаться задача по оценке влияния на изменение служебных свойств моторного масла таких эксплуатационных факторов, как пробег или время наработки, качество топлива, объем системы смазки, объем долива свежего масла на угар.

Для решения задачи по определению периодичности замены моторных масел в двигателе нами был проведен эксперимент, который включал в себя эксплуатационные испытания и лабораторный анализ проб масел с различной наработкой в процессе эксплуатационных испытаний. Проведенный эксперимент позволил расчетным путем получить зависимость изменения критерия наработки моторного масла в двигателе  $\pi_t$ , результаты которого показывают, что с увеличением времени наработки значение критерия  $\pi_t$  значительно увеличивается. Полученные экспериментальные результаты с помощью метода наименьших квадратов позволили получить зависимости изменения служебных свойств моторных масел  $\pi_m$  от их наработки в двигателях  $\pi_t$ , для бензиновых и дизельных двигателей, который подчиняется экспоненциальному закону: для дизельных двигателей, которые должны эксплуатироваться на маслах группы CC и CD, т. е. двигатели без наддува

$$\pi_m = \pi_{m0} C e^{-2,2178104 - 18 C (\pi_t)}; \quad (6)$$

на маслах групп CE, CF-4, CF, CG-4 и CH-4 т. е., для наддувных и высоконаддувных дизелей

$$\pi_M = \pi_{M0} C e^{-1,145104 - 194(\pi_t)}, \quad (7)$$

для бензиновых двигателей, которые должны эксплуатироваться на маслах группы SE зависимость имеет вид

$$\pi_M = \pi_{M0} C e^{-8,471104 - 184(\pi_t)}; \quad (8)$$

на маслах групп SF, SG, SH, SJ

$$\pi_M = \pi_{M0} C e^{-3,15104 - 184(\pi_t)}, \quad (9)$$

где  $\pi_{M0}$  – значение критерия, соответствующее начальным служебным свойствам «товарного» моторного масла.

Расчет коэффициентов корреляции подтвердил наличие хорошей связи между  $\pi_M$  и  $\pi_t$  на уровне  $R = 0,9 - 0,93$ . Полученные математические зависимости  $\pi_M = f(\pi_t)$  с помощью логарифмирования выразим через  $\pi_t$ , а затем через  $t$

$$t = \left( \frac{G_M^{3/4} \psi G_L^{3/4}}{N_M^{3/4} \psi S} \psi \left( \frac{\ln \frac{E_0 \psi \Pi_0^{2/3}}{\eta_0^2 \psi C_{0\text{пред}}^{5/3}} - \ln \frac{E_{\text{пред}} \psi \Pi_{\text{пред}}^{2/3}}{\eta_{\text{пред}}^2 \psi C_{\text{пред}}^{5/3}}}{a} \right) \right)^{4/3}, \quad (10)$$

где  $a$  – коэффициент равный: для масел групп CC и CD –  $2,2178 \cdot 10^{-18}$ ; для масел групп CE, CF-4, CF, CG-4 и CH-4 –  $1,145 \cdot 10^{19}$ ; для масел группы SE –  $8,471 \cdot 10^{-18}$ ; для масел групп SF, SG, SH, SJ –  $3,15 \cdot 10^{-18}$ .

Чтобы перевести полученные значения в моточасы необходимо полученное значение  $t$  в секундах разделить на 3600. А чтобы перевести полученный результат в секундах в километры пробега  $L$ , необходимо

$$L = \frac{t}{3600} \psi V_{\text{ср}},$$

где  $V_{\text{ср}}$  – средняя скорость движения автомобиля, км/ч.

Предложен системный подход для подбора моторных масел к ДВС и определения периодичности их замены. Получены критериальные зависимости и их математические выражения, позволяющие производить подбор моторных масел к ДВС и определять периодичность их замены. Полученные зависимости

позволили разработать методику подбора моторных масел к конкретному двигателю и методику определения периодичности их замены, что позволяет эксплуатировать масла не по наработке, а по их техническому состоянию.

#### **Список литературы:**

1. Венцель С.В. Применение смазочных масел в двигателях внутреннего сгорания. – М.: Химия, 1979. – 237 с.
2. Повышение смазывающих свойств топлива / В.В. Остриков, А.Ю. Корнев, К.А. Манаенков, А.Ю. Бектилезов // Сельский механизатор. - 2012. - № 4. - С. 34-35.
3. Григорьев М.А., Пономарев Н.Н., Шавин Н.И. Снижение износа автомобильного двигателя путем улучшения его защиты от пыли // Автомобильная промышленность. – 1970. – № 10. – С. 1 – 2.
4. Аналитическая оценка свойств дисперсно-упрочненных гальванических композитных многослойных покрытий / С.Ю. Жачкин, Н.А. Пеньков, А.И. Краснов, К.А. Манаенков // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. - 2015. - № 1. - С. 142-149.
5. Бажинов А.В., Полянский А.С., Бажинов Е.А. Метод определения сроков смены моторных масел транспортных машин // Вестник ХГТУСХ. – 2003. – Вып. 14. – С. 212 – 216.
6. The technique of automated applying of polymer coatings used for repair of tractor parts / D. Psarev, V. Khatuntsev, M. Mishin, S. Astapov, A. Rozhnov // В сб.: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 12th International Scientific Conference on Agricultural Machinery Industry, INTERAGROMASH 2019. – 2019. – С. 012011.
7. Войтов В.А., Мазепа В.А. Критериальный подход для оценки снижения служебных свойств моторных масел в процессе эксплуатации и определение сроков их смены // Повышение надежности восстанавливаемых деталей машин: Сб. научн. тр. – Харьков: ХГТУСХ. – 2003. – Вып. 14. – С. 104 – 108.
8. Кузнецова, А.П. Прорывные технологии современности в



агропромышленном комплексе / А.П. Кузнецова, Н.В. Пчелинцева, С.А. Улыбышева // В сб.: Инженерное обеспечение инновационных технологий в АПК: материалы Международной научно-практической конференции. – Мичуринск: Мичуринский государственный аграрный университет, 2018. – С. 191-194.

9. Дисперсионная среда пластичных смазок на основе отработанных масел / В.В. Остриков, С.Ю. Попов, И.Н. Шихалев, А.Г. Дивин, К.А. Манаенков // Наука в центральной России. - 2015. - № 2 (14). - С. 43-53

10. Ли, Р.И. Математическая модель инфракрасного нагрева корпусных деталей при восстановлении полимерным материалом // Р.И. Ли, Д.Н. Псарев, А.Н. Быконя // Клеи. Герметики. Технологии. – 2019. – № 9. – С. 38-43.

11. Петина, И.И. Классификация присадок моторных масел, используемых в сельскохозяйственной технике / И.И. Петина, Т.Ю. Холопова, В.В. Хатунцев // Наука и Образование. – 2020. – Т. 3. – № 2. – С. 56.

**UDC 621. 891**

**A SYSTEMATIC APPROACH TO THE SELECTION OF ENGINE  
OILS FOR INTERNAL COMBUSTION ENGINES AND DETERMINING  
THE TIMING OF THEIR CHANGE**

**Eidzen Nikita Aleksandrovich**

master's student

**Abrosimov Alexander Gennadievich**

Candidate of technical sciences, Associate Professor

[AlexAbr84@bk.ru](mailto:AlexAbr84@bk.ru)

Michurinsk State Agrarian University

Michurinsk, Russia

**Annotation.** A systematic approach has been developed, which was used to solve the problem of selecting engine oils for an engine and determining the timing of their change. As a result, graphical and mathematical dependencies were obtained, as well as methods for selecting engine oil for internal combustion engines and determining the frequency of their replacement were developed, which makes it possible to operate oils not according to their operating time, but according to their technical condition.

**Key words:** engine oil, engine, oil change period, engine oil selection methods, oil selection.