

ливной аппаратуры, однако требует развитой аппаратной части СТД и реализуется только на двигателях большой мощности.

**Проблемы** связаны с оценкой вероятности выявления, невыявления и ложного выявления дефектов двигателя в зависимости от состава и характеристик его измерительной системы, что может служить основой для выбора оптимального состава измерительной системы и набора дефектов, которые проектируемая СТД способна выявлять.

## Выводы

Аппаратная конфигурация диагностических систем, в общих чертах, сложилась и в разном соста-

УДК 621.183:621.313.7

*I.I. Іващенко, інж., О.Г. Приймаков, інж., А.Г. Шунайлов, інж.*

## РОЗРОБКА ІНТЕГРАЛЬНИХ ПОКАЗНИКІВ ДІАГНОСТУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ДИЗЕЛЬНИХ ДВИГУНІВ

В роботі [1] інтегральний показник енергомісткості дизеля  $R$  визначається, як  $R = \gamma / P_{\Delta n}$ , тис. год, де  $\gamma$  – питома маса дизеля, кг/кВт,  $P_{\Delta}$  – його літрова потужність,  $n$  – частота обертання, хв<sup>-1</sup>.

Доведено [2,3], що для об'єктивного діагностування дизелів авіаційної наземної техніки (АНТ), крім  $R$ , потрібен ще один інтегральний показник  $N$ , який визначав би нерівномірність обертання колінчастого валу дизеля.

Проаналізуємо основні чинники, які впливають на параметр  $N$ .

Отже, метою даної статті є розробка інтегральних показників діагностування технічного стану дизельних двигунів АНТ.

Максимальне значення кутової частоти обертання колінчастого валу за період сумарного обертового моменту є функція двох аргументів:

- «прирошення» кутової частоти валу за той же робочий цикл  $\Delta\omega_k$ ;
- мінімальне значення кутової частоти обертання валу за той же цикл  $\omega_{min k}$ .

Визначення ступеня ідентичності послідовності циклів по дисперсії «прирошення» кутової частоти обертання  $\Delta\omega_k$  дозволяє оцінювати ідентичність циклів за величиною, безпосередньо пропорціональною роботі газів в кожному окремому циклі, а розгляд сукупності значень цієї дисперсії та дисперсії всіх екстремальних значень  $\omega_k$  дозволяє враховувати також їх порядковий розподіл.

все воспроизводится от системы к системе. Аппаратные средства достаточно развиты, чтобы в них можно было реализовать алгоритмы диагностирования различного уровня сложности. Это открывает возможность развития методов проектирования алгоритмов и разработки программного обеспечения для диагностирования двигателей. По мере дальнейшего развития электронных устройств все более сложные диагностические системы, а значит, и более глубокие алгоритмы диагностирования будут становиться доступнее для более мелких и мобильных силовых установок. Однако на пути реализации параметрических методов диагностирования ДВС выявлен ряд сформулированных выше проблем, которые необходимо решить для синтеза наиболее эффективных СТД.

При оцінці технічного стану циліндрів двигуна, крім коефіцієнтів варіації, необхідно обов'язково враховувати ступінь нерівномірності частоти обертання валу двигуна  $\delta$ , який визначається як середнє значення різниці між найбільшим максимальним та мінімальним значеннями кутової частоти обертання за серію послідовних періодів зміни сумарного крутального моменту (50–60 циклів роботи всіх циліндрів двигуна).

Відомі способи визначення ступеня нерівномірності обертання колінчастого валу основані на відключені одного або декількох циліндрів, проте, вони не дозволяють забезпечити потребну точність вимірювання величини  $\delta$ . Пов'язано це з тим, що на випадок роботи двигуна тільки на одному циліндрі має місце значне перевантаження працюючого циліндра. При цьому умови роботи цього циліндра істотно відрізняються від нормальних, які мають місце при роботі двигуна з усіма включеними циліндрями. На випадок, коли прагнуть забезпечити ідентичність умов роботи та умов випробувань, росте трудомісткість процесу діагностування. Це пов'язано з тим, що, по-перше, працюючі цилінди необхідно довантажувати до максимальної потужності та вимірювати при цьому частоту обертання валу двигуна, а по-друге, необхідно проводити повторний замір частоти обертання валу двигуна, попередньо включивши раніше відключений циліндр. Нерівномірність частоти обертання повинна визначатися за результатами по-

вторних замірів, які одержані після включення кожного з почергових відключених циліндрів за наступною формулою:

$$\delta = \frac{\omega_{\max} - \omega_{\min}}{\omega_{\max} + \omega_{\min}}, \quad (1)$$

де  $\omega_{\max}$ ,  $\omega_{\min}$  – відповідно максимальне та мінімальне значення частоти обертання валу двигуна за результатами повторних замірів.

Очевидно, що оцінка нерівномірності роботи окремих циліндрів двигуна, яку отримуємо за результатами замірів при відключенні одного циліндра, точніша, ніж при відключенні декількох циліндрів. Але й в цьому випадку при застосуванні відомих способів складність технології випробувань зберігається. Крім того, неодноразові зміни режиму роботи двигуна та пов'язані з цим помилки у визначенні величини номінальної потужності циліндрів, які залишилися в роботі, призводять до низької достовірності діагностичної інформації.

В ході досліджень авторами було розроблено спосіб оцінки технічного стану, який дозволяє здійснити діагностування без недоліків, властивих відомим способам. За пропонованім способом необхідно вимірювати середню тривалість робочого циклу  $t_{cep}$  при всіх включених в роботу циліндрах двигуна, а потім відключити подачу палива в 1-й циліндр та виміряти тривалість робочого циклу в цьому циліндрі. Оцінка технічного стану проводиться шляхом визначення ступеня уповільнення тривалості робочого циклу при відключенному циліндрі у порівнянні з середньою тривалістю робочого циклу  $t_{cep}$ . Висновок про несправність того чи іншого циліндра двигуна дається у випадку, коли ступінь уповільнення тривалості робочого циклу при відключенному циліндрі менше величини середньої тривалості робочого циклу в циліндрі, зменшеної в  $(i-1)k$  разів, де  $i$  – число циліндрів, а  $k$  – коефіцієнт пропорціональності.

Вибір величини  $\frac{t_{cep}}{(i-1)k}$  для оцінки техніч-

ного стану пояснюється наступним. У випадку, коли всі цилінди двигуна ідентичні та їх вклад в роботу двигуна рівновеликий, тривалість  $t_1$  робочого циклу при одному відключенному циліндрі визначається при відомій середній тривалості  $t_{cep}$  робочого циклу за формулою:

$$t_1 = \frac{i}{i-1} t_{cep}, \quad (2)$$

де  $i$  – число циліндрів.

Ступінь уповільнення  $\Delta t_1$  визначається з виразу:

$$\Delta t_1 = t_1 - t_{cep} \frac{t_{cep}}{i-1}, \quad (3)$$

Існуючі ДСТУ та інші нормативні документи допускають можливість нерівномірної роботи окремих циліндрів. Цей допуск доцільно врахувати, вводячи коефіцієнт пропорційності  $k$ , на який треба поділили вираз (3). У випадку, коли ступінь уповільнення  $\Delta t_1$  буде меншим за значення  $\frac{t_{cep}}{(i-1)k}$ ,  $i$ -й ци-

ліндр розвиває неприпустимо малу потужність та він несправний.

На рис. 1 приведена схема приладу, який реалізує даний спосіб. Схемна реалізація способу приведена для 4-тактного шестициліндрового двигуна автомобіля, як найбільш поширеного в АНТ.

Введені в склад приладу елементи виконують наступні функції:

- датчик циклів 1 разом з шифратором датчика циклів 2 та селектором датчика циклів 3 забезпечують заданий порядок вимірювання тривалості робочих циклів згідно з порядком роботи циліндрів;
- датчик кутових відміток 4 разом з шифратором кутових відміток 5 та селектором датчика кутових відміток 6 забезпечують вимірювання часових інтервалів для відповідних циліндрів двигуна;
- електрогідроклапани 7–12 забезпечують відключення подачі палива у цилінди в порядку черги їх роботи;
- схеми 13–18 забезпечують підключення лічильників 21–26 для вимірювання часових інтервалів, які характеризують миттєву кутову частоту обертання, що розвивається в такті розширення у відповідних циліндрах;
- генератор імпульсів 19 забезпечує задану точність вимірювання в лічильниках 21–26, 29;
- перший дільник частоти 20 разом з сьомою схемою 27 забезпечують вимірювання середньої тривалості робочого циклу при всіх включених в роботу циліндрах;
- другий дільник частоти 28 разом з сьомим лічильником 29 забезпечують вимірювання величини середньої тривалості робочого циклу, зменшеної в  $(i-1)k$  разів;
- цифрові схеми порівняння 30–35 та індикатори несправності циліндрів 36–41 забезпечують отримання інформації про стан окремих циліндрів двигуна;
- схема 42 забезпечує схеми приладу в вихідне положення при завершенні вимірювання. Схеми 43–45 та 46–52 здійснюють індикацію несправності того чи іншого циліндра по показнику нерівномірності обертання колінчастого валу.

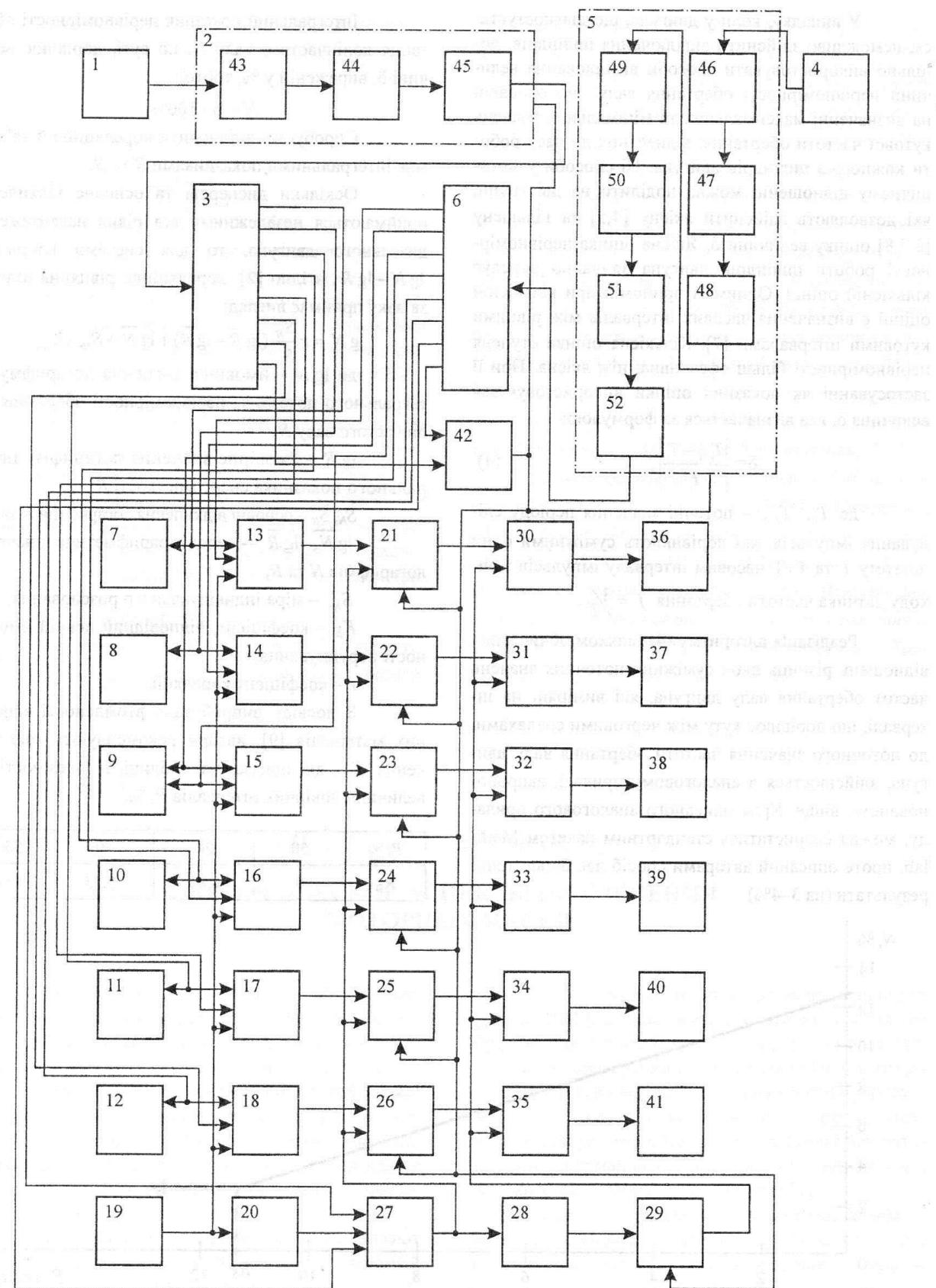


Рис. 1. Схема каналового приладу для технічної діагностики АНТ

У випадку, коли у двигуна, що діагностується, неможливо здійснити відключення циліндрів, доцільно використовувати способи вимірювання величини нерівномірності обертання валу, що основані на визначенні максимальних та мінімальних значень кутової частоти обертання, віднесених до часу роботи кожного з циліндрів двигуна. Ці способи у методичному відношенні можна поділити на дві групи, які дозволяють здійснити якісну [4,5] та кількісну [6,7,8] оцінку величини  $\delta$ . Якісна оцінка нерівномірності роботи циліндрів двигуна звичайно передує кількісній оцінці. Одним із прийомів при кількісній оцінці є визначення часових інтервалів між рівними кутовими інтервалами [7]. Кількісна оцінка ступеня нерівномірності більш ефективна, ніж якісна. При її застосуванні як показник оцінки використовується величина  $\delta$ , яка визначається за формулою:

$$\delta = \left| \frac{T_{i+1} - T_i}{T_i} \right|, \quad (4)$$

де  $T_i$ ,  $T_{i+1}$  – поточні значення періоду слідування імпульсів, які дорівнюють суміжними один другому  $i$  та  $i+1$  часовим інтервалам імпульсів з виходу датчика частоти обертання  $f = 1/T$ .

Реалізація алгоритму (4) шляхом обчислення відношень різниць двох суміжних поточних значень частот обертання валу двигуна, які виміряні на інтервалі, що дорівнює куту між черговими спалахами, до поточного значення частоти обертання валу двигуна, здійснюється в аналоговому приладі, запропонованому вище. Крім описаного аналогового приладу, можна скористатись стандартним пакетом Mathlab, проте описаний авторами спосіб дає більш точні результати (на 3–4%).

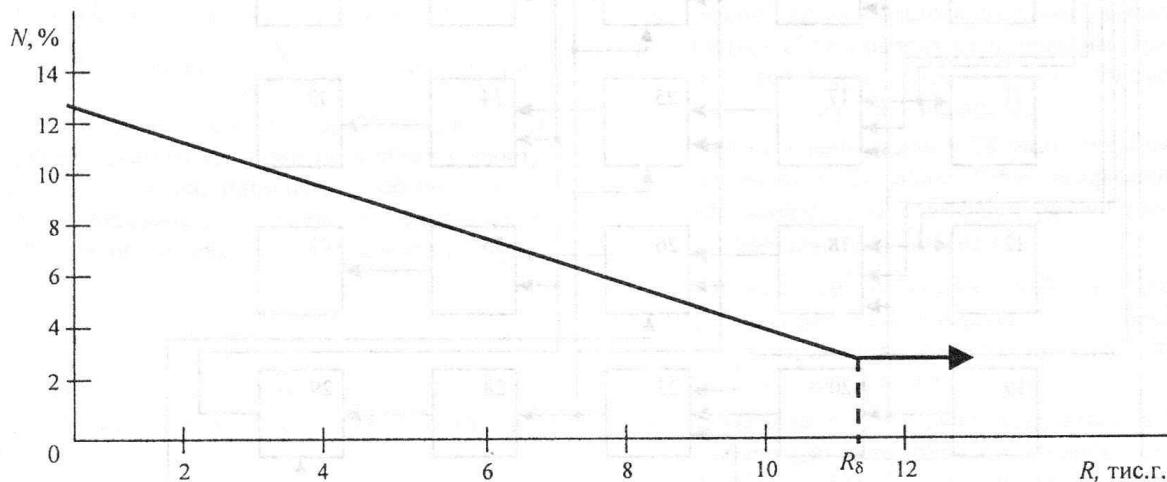


Рис. 2. Полігона кореляційного зв'язку  $N = f(R)$  для  $P = 95\%$

Інтегральний показник нерівномірності обертання колінчастого валу  $N$ , по суті, дорівнює величині  $\delta$ , вираженій у %, тобто

$$N = \delta \cdot 100\%. \quad (5)$$

Спробуємо встановити кореляційний зв'язок між інтегральними показниками  $R$  та  $N$ .

Оскільки дисперсія та основне відхилення приймаються незалежними від рівня навантаження дизельного двигуна, то для системи координат  $\lg N - \lg R$ , згідно [2], кореляційне рівняння взаємозв'язку приймає вигляд:

$$\lg N = r \frac{S_N}{S_R} (\lg R - \lg \bar{R}) + \lg \bar{N} + S_{Nr} \cdot K_B, \quad (6)$$

де  $\lg \bar{N}$  – ймовірне значення логарифму інтегрального показника нерівномірності обертання колінчастого валу  $N$ ;

$\lg R$  – ймовірне значення логарифму інтегрального показника енергомісткості  $R$ ;

$S_N, S_R$  – основні відхилення логарифмів  $N$  та  $R$ ;

$\lg \bar{N}$ ,  $\lg \bar{R}$  – середньоарифметичні значення логарифмів  $N$  та  $R$ ;

$S_{Nr}$  – міра індивідуального розсіювання;

$K_B$  – коефіцієнт, відповідний певній ймовірності неруйнування;

$r$  – коефіцієнт кореляції.

З досвіду випробувань втомленості авіаційних матеріалів [9], автори рекомендують такі значення  $K_B$ , які показано в таблиці, в залежності від величини довірчих інтервалів  $P, \%$ .

Порядок визначення параметрів кореляційного рівняння такий:

$$\left\{ \begin{array}{l} r = \frac{\Delta \lg N_i \cdot \Delta \lg R_i}{S_R \cdot S_N}, \text{ де} \\ S_R = \sqrt{(\Delta \lg R_i)^2}; \\ S_N = \sqrt{(\Delta \lg N_i)^2}; \\ S_{Nr} = S_N \sqrt{1 - r^2}. \end{array} \right. \quad (7)$$

Вирази (6) та (7) можна використовувати як для теоретичного визначення кореляційного зв'язку між  $R$  та  $N$ , так і для обробки експериментальних даних щодо емпіричного зв'язку між цими інтегральними показниками. На рис. 2 показано полігону кореляційного зв'язку між  $R$  та  $N$  для довірчого інтервалу  $P = 95\%$ .

Таким чином, створено інженерну методику визначення інтегральних показників діагностування технічного стану дизелів АНТ та встановлено кореляційний зв'язок між цими інтегральними показниками.

Ця методика допоможе об'єктивно підійти до прогнозування надійності та довговічності дизельних двигунів АНТ завдяки логістичному підходу, тобто складаючи інтегральні показники  $R$  та  $N$  як стохастичні параметри.

#### Список літератури:

1. Іващенко І.І., Приймаков О.Г. Прогнозування залишкового ресурсу та надійності дизелів

авіаційної наземної техніки // Вісн. Харк. держ. техн. ун-ту сільськ. господарства. – 2003. – № 17. – С. 289–294. 2. Способ оцінки ресурса дизеля до першої переборки / А.К. Костин і др. // Двигателестроение. – 1981. – № 11. – С. 47–48. 3. Краснокутський В.Н., Шунайлов Г.О., Іващенко І.І. Вібродіагностика розчинтування стрижених валів // Вестн. науки и техники. – 2002. – № 2–3. – С. 16–21. 4. Дизели, дизель-генераторы, газовые двигатели, газомоторные компрессоры и турбокомпрессоры / Номенклатурный справ. – М.: НИИинформтяжмаш, 1973. – 123 с. 5. Дизели, дизель-генераторы, газовые двигатели, газомоторные компрессоры и турбокомпрессоры / Номенклатурный справ. – М.: НИИинформтяжмаш, 1975. – 94 с. 6. Дизели, дизель-генераторы, газовые двигатели, газомоторные компрессоры и турбокомпрессоры / Номенклатурный справ. – М.: НИИинформтяжмаш, 1977. – 82 с. 7. Двигатели внутреннего сгорания / Номенклатурный справочник. Ч. 1. – М.: ЦНИИТЭИтяжмаш, 1979. – 88 с. 8. Двигатели внутреннего сгорания / Номенклатурный справ. – М.: ЦНИИТЭИтяжмаш, 1981. – 96 с. 9. Приймаков О.Г., Масягін В.І. Втомленість авіаційних конструкцій та засоби її попередження // Інтегровані технології та енергозбереження. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2002. – № 1. – С. 99–105.

УДК 621.436.068.9

Е.Л. Меркши, д-р техн. наук; О.Р. Игнатов, канд. техн. наук

## ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ МОТОРНЫХ МАСЕЛ

Исследования показывают, что в ближайшие 50 лет двигатели внутреннего сгорания (ДВС) будут основным источником энергии на автомобильном транспорте. Необходимость решения проблем уменьшения загрязнения окружающей среды (ОС), экономного использования природных ресурсов, удовлетворения требований клиента значительно повлияли на процессы совершенствования конструкции ДВС и улучшения качества применяемых топлив и моторных масел (рис. 1).

Применяемые моторные масла составляют группу нефтепродуктов, которая вносит весомый «вклад» в формирование токсичности выхлопа двигателей на стадии их эксплуатации. В процессе работы ДВС смазочное масло поступает в камеру сгора-

ния двигателя через уплотнения цилиндрапоршневой группы (ЦПГ), сгорает вместе с топливом и, таким образом, в основном формируется расход масла. Нарушения в конструкции и износ детали ЦПГ вызывает повышенный расход масла. О важности проблемы уменьшения расхода масла в транспортных ДВС свидетельствует тот факт, что на 100 легковых автомобилей в Германии приходится 40 % автомобилей, имеющих повышенный расход масла [1].

Задачи, связанные с расходом масла, имеют два аспекта. Первый – экономический, связанный с применением дорогостоящих, качественно улучшенных сортов масел, второй – экологический. Действие высоких температур и давлений в цилиндре двигателя способствует физико-химическим превращениям