

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА НА ОСНОВЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ИЗНОСА

А.С. Мартьянов, В.А. Калмаков

В статье предложена методика определения остаточного ресурса автомобиля с учетом условий эксплуатации и характера нагружения с помощью суммарного коэффициента сопротивления движению. Методика базируется на применении математической модели износа, которая разрабатывается по результатам пробеговых испытаний образцов автомобильной техники и может быть применена не только для автомобильного транспорта, но и других механизмов, работающих в изменяющихся условиях нагружения.

Ключевые слова: автомобильная техника, остаточный ресурс, износ, прогнозирование отказов.

Определение изношенности агрегатов транспортного средства и расчет остаточного ресурса автомобиля является важной задачей эксплуатации автотранспортных средств, решение которой позволяет повысить точность прогнозирования отказов [1] и снизить затраты на проведение ремонта из-

ношенной техники [2]. Учет условий эксплуатации и характера нагружения автомобиля позволяет повысить точность такого прогноза [3, 4]. Настоящая статья предлагает методику расчета остаточного ресурса по математической модели процесса износа с учетом характера и условий эксплуатации автомобиля. Методика определения остаточного ресурса содержит три части.

1. Алгоритм определения текущего значения относительного коэффициента суммарного сопротивления движению по показаниям штатных или дополнительно устанавливаемых датчиков. Расчет текущего значения относительного коэффициента суммарного сопротивления движению выполняется циклически, начиная с момента начала движения автомобиля. Длительность цикла должна быть детерминирована и определяется вычислительными возможностями бортовой системы диагностики и контроля по следующему алгоритму.

По данным одометра рассчитать пройденный путь L и среднюю скорость V_{cp} на временном интервале t , соответствующему промежутку от момента предыдущего расчетного цикла до текущего момента времени.

По данным расходомера рассчитать средний расход топлива Q_{cp} на временном интервале t .

Вычислить относительный коэффициент суммарного сопротивления движению как отношение среднего расхода топлива к средней скорости с учетом коэффициента связи, характерного для каждого типа транспортного средства по формуле $\psi_{cp} = n \frac{Q_{cp}}{V_{cp}}$, где ψ_{cp} – относительный коэффициент суммарного сопротивления движению; n – коэффициент связи. Коэффициент связи n определяется по формуле $n = \frac{\psi_{gg} \cdot V_Q}{Q_{кр}}$, где ψ_{gg} – коэффициент сопротивления движению динамометрической дороги на скорости V_Q ;

$Q_{кр}$ – контрольный расход топлива, л/100 км, полученный по результатам испытаний при определении топливной характеристики; V_Q – скорость, соответствующая $Q_{кр}$, км/ч.

2. Для определения изношенности агрегатов с учетом условий эксплуатации необходима математическая модель износа [5], которая определяет зависимость относительной интенсивности износа агрегата от коэффициента суммарного сопротивления движению для каждого агрегата. Для разработки такой модели необходимо определение зависимости износа от условий эксплуатации [6], которую можно получить с помощью пробеговых испытаний. Сравнение геометрических размеров деталей автомобиля на начальном и конечном этапах пробеговых испытаний дает возможность определить износ этих деталей, произошедший за период проведения этих испы-

таний. Результаты измерения размеров могут быть сгруппированы поагрегатно, после чего возможно рассчитать интегральный параметр износа для каждого агрегата. Дополнительно сопоставление изменений уровня вибрации агрегатов автомобиля с величиной износа позволяет рассчитать зависимость между уровнем вибрации и износом агрегата. Результат такого сопоставления позволяет определять износ агрегата по уровню вибрации в любые моменты времени между началом и окончанием пробеговых испытаний.

Сопоставляя график испытаний (режим движения, дорожные условия для известного времени) и относительный коэффициент суммарного сопротивления движению с изменением уровня вибрации агрегатов автомобиля в ходе пробеговых испытаний, можно рассчитать зависимость интенсивности износа от относительного коэффициента суммарного сопротивления движению для каждого агрегата. Математическая модель износа [7] агрегатов автомобиля позволяет рассчитать относительную интенсивность износа заданного агрегата по относительному коэффициенту суммарного сопротивления движению. Зависимость интенсивности износа от относительного коэффициента суммарного сопротивления движению определялась путем сопоставления результатов измерения износа основных деталей и изменения уровня вибрации агрегатов [8] с изменением коэффициента суммарного сопротивления движению в различных дорожных условиях и режимах движения автомобиля.

Математическая модель представлена набором функций вида:

$$I_i = f_i(\psi),$$

где I_i – относительная интенсивность износа агрегата, %/км; ψ – относительный коэффициент суммарного сопротивления движению. Рассчитанное по математической модели значение текущей относительной интенсивности износа I_i используется в дальнейшем для определения суммарного износа агрегата S_a и расчета остаточного ресурса L_{oa} .

3. Алгоритм определения остаточного ресурса агрегата по интенсивности износа и пробегу.

При зависимости интенсивности износа от относительного коэффициента суммарного сопротивления движению появляется возможность оценки износа каждого агрегата. Относительный коэффициент суммарного сопротивления движению возможно определять по показаниям штатных и/или дополнительных датчиков. Исходными данными для остаточного ресурса агрегата является текущее значение относительной интенсивности износа I_i и значение суммарного износа агрегата S_a . Суммарный износ агрегата S_a рассчитывается как сумма произведений текущего значения относительной интенсивности износа агрегата I_i на длительность соответствующего интервала времени t_i , для которого получено значение интенсивности износа:

$$S_a = \sum t_i \cdot I_i.$$

Остаточный ресурс L_o можно рассчитать по величине суммарного износа S_a по формуле:

$$L_{oa} = \frac{L_{\phi}}{S_a} \cdot (1 - S_a),$$

где L_{oa} – остаточный ресурс агрегата, км; L_{ϕ} – пробег автомобиля на момент расчета остаточного ресурса.

Таким образом, основываясь на предложенной методике, можно сформулировать алгоритм определения остаточного ресурса:

– по показаниям датчиков необходимо периодически определять режим движения и дорожные условия, после чего рассчитывать текущий коэффициент суммарного сопротивления движению;

– на каждом цикле расчета с помощью математической модели износа по относительному коэффициенту суммарного сопротивления движению необходимо рассчитывать относительную интенсивность износа агрегатов автомобиля в текущий момент времени;

– интегрируя относительную интенсивность износа по времени, можно рассчитать суммарный износ и остаточный ресурс для каждого агрегата.

Библиографический список

1. Румянцев, С.И. Техническое обслуживание и ремонт автомобилей / С.И. Румянцев, А.Ф. Синельников, Ю.Л. Штоль. – М.: Высшая школа, 1989. – 272 с.
2. Денисов, А.С. Основы формирования эксплуатационно-ремонтного цикла автомобилей / А.С. Денисов. – Саратов: Саратов. гос. техн. ун-т, 1999. – 352 с.
3. Хабибуллин, Р.Г. Изучение влияния факторов на изменение технического состояния автомобильной техники / Р.Г. Хабибуллин, И.В. Макарова, Э.М. Мухаметдинов // *Материалы научно-технической конференции «Современные технологии в машиностроении и автомобилестроении»*, 2005. – С. 80–83.
4. Денисов, А.С. Корректирование ресурса двигателей в зависимости от сочетания эксплуатационных факторов / А.С. Денисов, В.Н. Басков // *Двигателестроение*. – 1984. – С. 30–33.
5. Авдонькин, Ф.Н. Закономерности изменения технического состояния подшипников коленчатого вала / Ф.Н. Авдонькин, А.С. Денисов // *Надежность машиностроительных изделий: науч. тр. ВИММЕСС. Т. XVII, сер. 7.* – 1975. – С. 115–121.
6. Денисов, А.С. Изменение технического состояния двигателей КамАЗ-740 в процессе эксплуатации / А.С. Денисов, А.М. Крупенин // *Повышение эффективности использования автомобильного транспорта: межвуз. науч. сб.* – 1982. – С. 18–25.
7. Korobotov D.V., Martyanov A.S., Solomin E.V. Development of control algorithms in Matlab/Simulink // *Procedia Engineering: International Conference on Industrial Engineering (ICIE-2015)*. 2015. Pp. 922–926.

8. Данилов, И.К. Планирование ремонтных циклов ДВС имитационными моделями и сетями Петри / И.К. Данилов, А.С. Денисов // Динамика технологических систем. Сб. трудов VII Междунар. науч. техн. конф. – Саратов, 2004. – С. 107–111.

[К содержанию](#)