

## ОЦЕНКА РЕСУРСА ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН

Кривошапов С.И., к.т.н., доц.

*Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет*

*Указаны недостатки законодательной базы по определению ресурса машин, действующие на Украине. Изложены основные принципы аналитического определения пробега до капитального ремонта транспортных машин. Разработанная математическая модель учитывает реальные дорожных и транспортных условий эксплуатации машин.*

**Ключевые слова:** автомобиль, эксплуатационные свойства, расход топлива, ресурс, математическое моделирование, силовые агрегаты

**Введение.** Дорожно-транспортное средство – сложная техническая система, которая теряет свои качества в процессе эксплуатации, однако может восстанавливать утраченные качества при техническом обслуживании и ремонте машин. На эффективность эксплуатации машин влияет степень надежности основных силовых агрегатов, которая состоит из безотказности, долговечности, ремонтпригодности и сохраняемости. Ресурс машины является одним из основных показателей долговечности машины. С увеличением ресурса доля стоимости транспортного средства на единицу выполненной транспортной работы сокращается.

**Анализ литературных источников.** В 1998 году приказом № 102 Министерством транспорта на Украине введено в действие «Положение про техническое обслуживание и ремонт дорожных транспортных средств автомобильного транспорта» [1]. К сожалению, в этом нормативном документе исключили информацию о нормативных значениях пробега автомобиля до капитального ремонта. Отсутствие данного норматива не позволяет оценить длительность технологического цикла, и как следствие, снижает точность управления технической службой предприятия.

Проф. Говорушенко Н.Я. предложил оценивать ресурс по износу цилиндропоршневой группы двигателя автомобиля [2]. Пробег автомобиля до капитального ремонта определяется по формуле:

$$L_{кр} = \frac{8.7 \cdot 10^3 \cdot S_n \cdot D_n \cdot \rho_m \cdot X_n \cdot \delta_{max} \cdot V_a}{A_n \cdot n + B_n \cdot n^2 + C_n \cdot n^3 + A_p \cdot P_e}, \quad (1)$$

где  $S_n$  - ход поршня, м;  $D_n$  - диаметр цилиндра, м;  $\rho_m$  - плотность материала цилиндра, г/см<sup>3</sup>;  $X_n$  - количество цилиндров;  $\delta_{max}$  - макси-

мальный износ цилиндра, мм;  $V_a$  - скорость автомобиля, км/ч;  $A_n$ ,  $B_n$ ,  $C_n$  и  $A_p$  - эмпирические коэффициенты;  $n$  - частота вращения коленчатого вала двигателя, мин<sup>-1</sup>;  $P_e$  - среднее эффективное давление, кПа.

Значения эмпирических коэффициентов, входящих в формулу (1), для двигателя ЗИЛ-130 равны  $A_n = 0.19 \cdot 10^{-4}$ ,  $B_n = -3.6 \cdot 10^{-7}$ ,  $C_n = 0.28 \cdot 10^{-10}$  и  $A_p = 0.52 \cdot 10^{-3}$ . Для других двигателей значения эмпирических коэффициентов не определены, что снижает ценность данной методики.

**Цели и задачи исследования.** Целью данного исследования является дальнейшее совершенствование методики расчета ресурса транспортных машин. Для этого необходимо получить удобные аналитические зависимости параметров интенсивности изменения технического состояния силового агрегата машины, зависящие от конструктивных и эксплуатационных факторов.

**Составление математической модели определения ресурса.** Согласно исследованиям [3] установлены графические характеристики изменения скорости изнашивания в зависимости от скоростного и нагрузочного режимов работы двигателя, которые схематично представлены на рис. 1. Такую характеристику можно описать следующей полиномиальной зависимостью:

$$\gamma = A_n \cdot n + B_n \cdot n^2 + A_p \cdot P_e. \quad (2)$$

Тогда формула (1) в упрощенном виде преобразуется в вид:

$$L_{кр} = \frac{8.7 \cdot 10^3 \cdot S_n \cdot D_n \cdot \rho_m \cdot X_n \cdot \delta_{max} \cdot V_a}{A_n \cdot n + B_n \cdot n^2 + A_p \cdot P_e}. \quad (3)$$

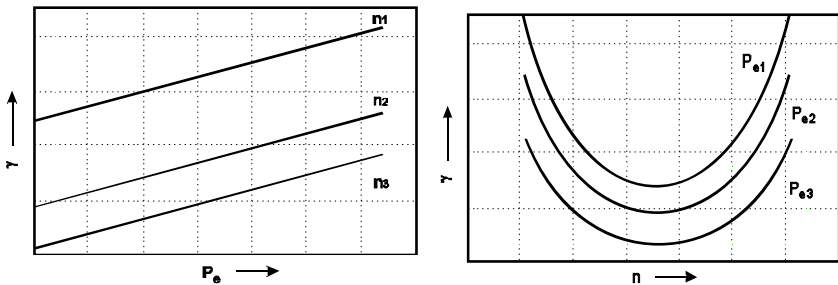


Рис.1. Зависимость скорости изнашивания ЦПГ ( $\gamma$ ) от среднего эффективного давления ( $P_e$ ) и оборотов коленчатого вала ( $n$ ) двигателя

В работе [4] доказано, что между ресурсом силового агрегата автомобиля и нормой эксплуатационного расхода топлива установлена пропорциональная зависимость. Тогда:

$$L_{кр} \cdot H = const. \quad (4)$$

В работе [2] предложена формула расчета базовой нормы расхода топлива в л/100 км:

$$H = \frac{1}{\eta_i} \left[ A \cdot i_k + B \cdot i_k^2 \cdot V_a + C \cdot (G_a \cdot \psi + 0.077 \cdot kF \cdot V_a^2) \right] \text{ л/100 км}, \quad (5)$$

где  $\eta_i$  – индикаторный КПД двигателя;  $G_a$  – вес автомобиля в нормированном состоянии, Н;  $\psi$  – суммарное дорожное сопротивление;  $kF$  – фактор обтекаемости, Н·с<sup>2</sup>·м<sup>-2</sup>;  $i_k$  – передаточное число коробки передач;  $A, B, C$  – коэффициенты.

Коэффициенты  $A, B$  и  $C$ , зависящие от конструктивных параметров автомобиля и качества топлива, и могут быть рассчитаны по следующим формулам

$$A = \frac{7.95 \cdot a_m \cdot V_h \cdot i_0}{H_n \cdot \rho_m \cdot r_k}, \quad B = \frac{0.69 \cdot b_m \cdot V_h \cdot S_n \cdot i_0^2}{H_n \cdot \rho_m \cdot r_k^2}, \quad C = \frac{100}{H_n \cdot \rho_m \cdot \eta_{mp}}, \quad (6)$$

где  $a_m$  и  $b_m$  – коэффициенты механических потерь в двигателе;  $H_n$  – низшая теплота сгорания топлива, кДж/кг;  $\rho_m$  – плотность топлива, г/см<sup>3</sup>;  $V_h$  – рабочий объем цилиндров двигателя, л;  $i_0$  – передаточное число главной передачи;  $r_k$  – динамический радиус колеса, м.

Суммарный расход топлива за время нахождения машины в эксплуатации, т.е. до достижения предельного состояния, можно рассчитать по формуле

$$Q_\Sigma = \frac{L_{кр} \cdot H}{100}. \quad (7)$$

Тогда  $const$  в формуле (4) равна  $L_{кр} \cdot H = 100 \cdot Q_\Sigma$ . С учетом формул (3) и (5) получим следующее уравнение

$$\frac{8.7 \cdot 10^3 \cdot S_n \cdot D_n \cdot \rho_m \cdot X_n \cdot \delta_{max} \cdot V_a \cdot (A \cdot i_k + B \cdot i_k^2 \cdot V_a + C \cdot P_k)}{100 \cdot Q_\Sigma \cdot \eta_i \cdot (A_n \cdot n + B_n \cdot n^2 + A_p \cdot P_e)} = 1. \quad (8)$$

Введем обозначение  $\Omega = \frac{8.7 \cdot 10^3 \cdot S_n \cdot D_n \cdot \rho_m \cdot X_n \cdot \delta_{max}}{100 \cdot Q_\Sigma \cdot \eta_i}$ . Тогда уравнение (8) примет следующий вид

$$\Omega \cdot V_a \cdot (A \cdot i_k + B \cdot i_k^2 \cdot V_a + C \cdot P_k) = (A_n \cdot n + B_n \cdot n^2 + A_p \cdot P_e). \quad (9)$$

Воспользуемся принципом подобия, согласно которого полученное равенство будет иметь решения, если каждые члены правого и левого выражения будут равны. Тогда значение коэффициентов  $A_n$ ,  $B_n$  и  $A_p$  можно определить так

$$A_n = \Omega \cdot \frac{A \cdot i_k \cdot V_a}{n}, \quad B_n = \Omega \cdot \frac{B \cdot i_k^2 \cdot V_a^2}{n^2}, \quad A_p = \Omega \cdot \frac{C \cdot P_k \cdot V_a}{P_e}. \quad (9)$$

Поскольку  $n = \frac{2.65 \cdot i_k \cdot i_0 \cdot V_a}{r_k}$  и  $P_e = \frac{12.5 \cdot r_k \cdot P_k}{V_h \cdot i_0 \cdot i_k \cdot \eta_{mp}}$ , тогда формулы

(9) примет следующий вид

$$A_n = \frac{\Omega \cdot A \cdot r_k}{2.65 \cdot i_0}, \quad B_n = \frac{\Omega \cdot B \cdot r_k^2}{7.02 \cdot i_0^2}, \quad A_p = \frac{\Omega \cdot C \cdot V_h \cdot i_0 \cdot i_k \cdot \eta_{mp} \cdot V_a}{12.5 \cdot r_k}. \quad (10)$$

В [2] средневзвешенное передаточное число коробки передач определяется по формуле

$$i_k = \frac{K_c \cdot V_{\max} \cdot i_{kp}}{V_a}, \quad (11)$$

где  $K_c$  - скоростной коэффициент;  $V_{\max}$  - максимальная скорость автомобиля, км/ч;  $i_{kp}$  - передаточное число повышенной (максимальной) передачи.

С учетом формулы (11) значение  $A_p$  из формулы (10) равно

$$A_p = \frac{\Omega \cdot C \cdot V_h \cdot i_0 \cdot \eta_{mp} \cdot K_c \cdot V_{\max} \cdot i_{kp}}{12.5 \cdot r_k}. \quad (12)$$

Выражения (10) и (12) с учетом формул (6) окончательно имеют вид

$$A_n = \frac{3 \cdot a_m \cdot V_h \cdot \Omega}{H_n \cdot \rho_m}, \quad B_n = \frac{0.1 \cdot b_m \cdot V_h \cdot S_n \cdot \Omega}{H_n \cdot \rho_m}, \quad A_p = \frac{8 \cdot V_h \cdot i_0 \cdot K_c \cdot V_{\max} \cdot i_{kp} \cdot \Omega}{r_k \cdot H_n \cdot \rho_m}. \quad (13)$$

Зависимости (13) позволяют рассчитать значения коэффициентов  $A_n$ ,  $B_n$  и  $A_p$ , входящих в формулу (3).

**Анализ.** Произведем сравнение формул (1) и (14) на примере автомобиля ЗИЛ-431410 с двигателем ЗИЛ-130.

На рис. 2 приведены две графические зависимости изменения ресурса машины при разной скорости автомобиля, полученные по двум методам.

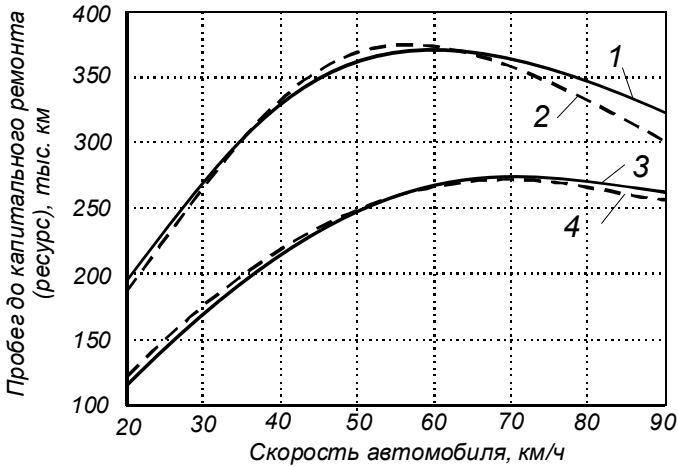


Рис.2. Изменение ресурса автомобиля ЗИЛ-431410, которое получено по формулам (1) /кривая 2 и 4/ и (3) /кривая 1 и 3/

Если в формуле (1) значения коэффициентов  $A_n$ ,  $B_n$ ,  $C_n$  и  $A_p$  необходимо определять экспериментально (кривая 2 и 4), то в выражении (14) значения коэффициентов  $A_n$ ,  $B_n$  и  $A_p$  рассчитываются по формулам (13) (кривая 1 и 4). Характеристики 1 и 2 соответствует порожнему автомобилю, а 3 и 4 - полностью загруженному. Отклонения ресурса машины, которые получены по двум методикам, не превышает 5 %.

Из рис.2 видно также, что ресурс машины зависит от скорости движения и нагрузки, т.е. от дорожных и транспортных условий эксплуатации машины. Поэтому обязательно необходимо корректировать ресурс машины в зависимости от условий эксплуатации, что является значительным недостатком действующей на сегодняшний момент на Украине нормативной базы [1].

**Выводы.** Методика позволила аналитическим способом рассчитать эмпирические коэффициенты, входящие в качестве параметров в характеристику скорости изнашивания ЦПГ. Полученные результаты могут быть использованы при нормировании ресурса транспортных машин, отсутствующие в Положении о ТО и ремонте дорожно-транспортных средств автомобильного транспорта.

#### Список использованных источников

1. Положення про технічне обслуговування і ремонт дорожніх транспор-

- тних засобів автомобільного транспорту [текст] / Міністерство транспорту України. – К.: МТУ, 1998. – 17 с.
2. Говорущенко Н.Я. Системотехника транспорта (на примере автомобильного транспорта) [текст] / Н.Я. Говорущенко, А.Н. Туренко. – Харьков: ХНАДУ, 1999. – 457 с.
  3. Говорущенко Н.Я. Системотехника автомобильного транспорта (расчетные методы исследований) [текст] : Монография / Н.Я. Говорущенко. - Харьков: ХНАДУ, 2011. - 297 с.
  4. Говорущенко Н.Я. Энергетический метод расчета физического ресурса транспортных машин [текст] / Н.Я. Говорущенко, С.И. Кривошапов, С.Н. Мастепан // Вісник ХНАДУ. – Харків: ХНАДУ, 2005. - № 28. – С. 20-23.

## **Анотація**

### **ОЦІНКА РЕСУРСУ ТРАНСПОРТНИХ МАШИН**

**Кривошапов С.І.**

*Вказані недоліки законодавчої бази щодо визначення ресурсу машин, які діють на Україні. Викладено основні принципи аналітичного визначення пробігу до капітального ремонту транспортних машин. Розроблена математична модель враховує реальні дорожні та транспортні умови експлуатації машин.*

*Ключові слова: автомобіль, експлуатаційні властивості, витрата палива, ресурс, математичне моделювання, силові агрегати*

## **Abstract**

### **RESOURCE ESTIMATION OF TRANSPORT MACHINES**

**Krivoshapov S.**

*These shortcomings of the legislative framework for the definition of machine life in Ukraine. The main principles of the analytical determination of mileage to capital renovation transport vehicles. The mathematical model takes into account the actual road and transport of conditions vehicles.*

*Keywords: car, performance characteristics, fuel consumption, resource, mathematical modeling, power trains*