

УДК.629.28

## СТОИМОСТНАЯ ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ КАЧЕСТВА КАПИТАЛЬНОГО РЕМОНТА ДВИГАТЕЛЕЙ

Дудукалов Ю.В., к.т.н.,

Торяник С.А., инж.,

Цыбульский В.А., к.т.н.,

Рыбалко И.В., к.т.н.

*Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет*

Тел. (619) 42-04-42

**Аннотация** – предложена методика стоимостной оценки качества капитального ремонта двигателей с учетом улучшения их эксплуатационных характеристик, включая экологические показатели по вредным выбросам.

**Ключевые слова** - качество, ремонт, двигатель, эксплуатация, характеристика, эффективность.

*Введение.* В автомобилестроении приняты законодательные акты на ограничение вредных выбросов (ВВ) (оксиды углерода, оксиды азота, канцерогенные вещества и т.д.) [1]. Показатели выбросов двигателей внутреннего сгорания (ДВС) являются основными требованиями при сертификации, объектом тщательной проверки при техническом осмотре и испытаниях.

В ходе технического обслуживания и ремонта (ТОиР) ДВС достигается улучшение их эксплуатационных характеристик, а при капитальном ремонте (КР) - наиболее полное восстановление первоначального ресурса.

Для определения экономической эффективности ТОиР ДВС целесообразно учитывать изменение эксплуатационных затрат, в том числе экологическую составляющую при снижении ВВ после КР.

*Анализ последних публикаций.* Уровень ВВ должен стать одним из приоритетных технико-экономических показателей функционирования ДВС [2,3].

Проблема экологической чистоты ДВС усугубляется тем, что конкретные мероприятия по снижению ВВ вступают в противоречие с экономической необходимостью ограничения стоимости КР ДВС, ресурсосбережения и т.д. Для преодоления этого противоречия требу-

ются критерии и методики расчета комплексной экологической и экономической эффективности КР ДВС. При этом критерии методика должна учитывать интересы общества в снижении ВВ ДВС [4].

При выполнении КР наблюдается качественное и количественное воздействие на выбросы компонентов различного токсичного действия. Так, выполнение КР дизельных ДВС уменьшает выбросы оксидов азота, снижает выбросы твердых частиц и других вредных компонентов.

Основными дифференциальными критериями при оценке эффективности КР ДВС [2] обычно являются:

- изменение затрат на эксплуатацию двигателя после КР (расход топлива, масла и т.д.);
- снижение уровня ВВ после КР ДВС;
- себестоимость КР ДВС и срок окупаемости затрат на КР.

Необходима комплексная экономическая оценка эффективности выполнения КР, которая сможет учесть в стоимостном выражении и эксплуатационную, и экологическую составляющие.

*Цель и задачи исследования.* Целью исследования является оценка экономической эффективности капитального ремонта ДВС, включающая эксплуатационные затраты и экологический ущерб.

Для достижения указанной цели необходимо решить следующие задачи:

- оценить затраты на эксплуатацию ДВС после выполнения КР с учётом экологического ущерба;
- определить комплексную оценку экономической эффективности КР ДВС.

**Основная часть. Оценка затрат при эксплуатации ДВС после КР**

Возможные суммарные эксплуатационные затраты и экономический ущерб от ВВ  $Z(t)$  за принятый интервал времени могут быть определены такими основными составляющими:

$$Z(t) = yM(t) + C^T G^T(t) + C_{кр}, \quad (1)$$

где  $y$  – константа, переводящая условную оценку выбросов в денежную, грн/усл.кг [5];

$M(t)$  – суммарная масса ВВ за принятый интервал времени, усл.кг;

$C^T$  – цена топлива, грн/кг;

$G^T(t)$  – суммарный расход топлива ДВС за принятый интервал времени, кг;

$C_{кр}$  – себестоимость выполнения КР ДВС, грн.

Рассмотрим интервал времени от момента выполнения КР ДВС  $T_{кр}$  и последующей его эксплуатации. При линейной зависимости  $M(t)$  и  $G^T(t)$  суммарные затраты  $Z(t)$  также линейно возрастают.

На рис. 1 приведенные зависимости:

$Z_1$  - суммарные затраты, которые возникают, например, при повышенном содержании ВВ, поскольку эксплуатация ДВС продолжается без проведения КР;

$Z_2$  и  $Z_{2 \text{ экол}}$  - суммарные затраты, которые возможны после выполнения КР в момент времени  $T_{\text{КР}}$ , причем для  $Z_{2 \text{ экол}}$  экономический ущерб от ВВ ниже, чем для  $Z_2$ , при равной себестоимости  $C_{\text{кр}}$  и одинаковых эксплуатационных затратах.

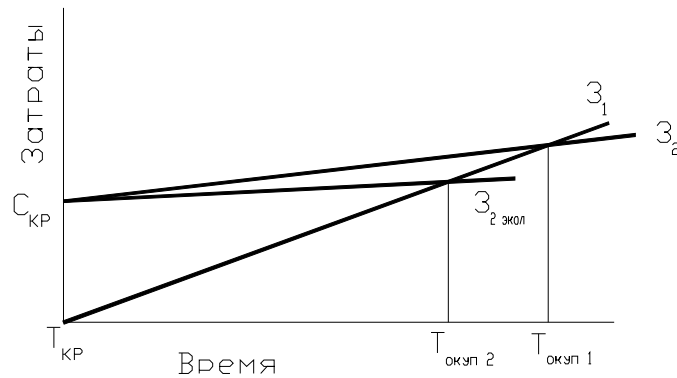


Рис. 1. Изменение периода окупаемости затрат на КР ДВС

Таким образом, показано, что с учетом изменения экологической составляющей при эксплуатации ДВС период окупаемости затрат на КР сокращается с  $T_{\text{окуп 1}}$  до  $T_{\text{окуп 2}}$ .

Для рассмотрения примем годовой интервал времени. Преобразуем (1) путем деления всех слагаемых на годовой объем работы двигателя в кВт·час для перехода к величинам, которые обычно используются как характеристики экономичности и экологической чистоты ДВС.

Годовые затраты на ремонт и эксплуатацию ДВС, экономических ущербов от ВВ без проведения КР и после КР, грн/кВт·ч :

$$\begin{aligned} z_1 &= um_1 + C^T \cdot g_{e_1}^T \\ z_2 &= um_1 + C^T \cdot g_{e_2}^T + C_{\text{кр удельн}} \\ z_{2 \text{ экол}} &= um_2 + C^T \cdot g_{e_2}^T + C_{\text{кр удельн}} \end{aligned} \quad (2)$$

где  $m_1, m_2$  – приведенная удельная годовая масса ВВ без КР и после КР, усл.кг/ кВт·ч;

$g_{e_1}^T, g_{e_2}^T$  – средний эксплуатационный удельный эффективный расход топлива без КР и после КР, кг/кВт·ч;

$C_{\text{кр удельн}}$  – удельная себестоимость КР, грн/кВт·ч.

$m_1, m_2$  – приведенная удельная масса вредных выбросов, усл. кг/кВт·ч;

$C_{КР\text{ удельн}}$  – удельная себестоимость, определенная по годовой работе ДВС как отношение себестоимости к работе, выполняемой годовой интервал времени, грн/кВт-ч.

### Оценка экологического фактора в затратах на эксплуатацию ДВС

Приведенная к оксиду углерода масса ВВ в (1) и (2) вычисляется по формуле, усл. кг/год [6]:

$$M = \sum_{i=1}^n E_i A_i, \quad (3)$$

где  $E_i$  – выброс  $i$ -того компонента выхлопных газов, кг/год;

$A_i$  – показатель относительной агрессивности  $i$ -того компонента, усл. кг.

В общем случае с участием выбранных критериев экономическую эффективность проведения КР ДВС можно выразить в стоимостном выражении следующей формулой:

$$\mathcal{E} = y(M_1 - M_2) + C(G_1^T - G_2^T) - C_{кр}, \quad (4)$$

$M_1, M_2$  – масса ВВ без проведения КР и после выполнения КР, усл.кг;

$G_1^T, G_2^T$  – годовой расход топлива без проведения КР и после выполнения КР ДВС, кг/год.

В приведенных величинах

$$\mathcal{E} = y(m_1 - m_2) + C_T(g_{e_1}^T - g_{e_2}^T) - C_{кр}, \quad (5)$$

Годовая относительная экономическая эффективность определяется [6]:

$$\bar{\mathcal{E}} = \frac{z_1 - z_2}{z_1} = 1 - \frac{z_2}{z_1}. \quad (6)$$

Зависимость (6) является безразмерным показателем. Если выполнение КР за год окупается и эффективно ( $z_1 > z_2$ ), то относительная экономическая эффективность положительна, но меньше единицы. Если выполнение не эффективно ( $z_1 < z_2$ ), относительная эффективность отрицательна. Если же затраты на выполнение КР, на топливо и величины предотвращенного ущерба от ВВ равны ( $z_1 = z_2$ ), то годовая относительная эффективность равна нулю.

### Методика комплексной оценки эффективности КР ДВС

Зная текущие уровни цен на различные виды топлива, себестоимость различных видов ремонта, запасных частей, удельный экономический ущерб от ВВ, можно выразить абсолютную годовую экономическую эффективность на данный момент времени в виде (грн/год).

$$\mathcal{E} = \bar{\mathcal{E}}(yM_1 + C_T G_1^T) \quad (7)$$

Из (7) видно, что выжение в скобках является неизменным для данного двигателя до проведения КР и, следовательно, экономическая эффективность прямо пропорциональна величине  $\bar{\mathcal{E}}$ .

Для удобства расчетов введем следующие относительные величины:

$\bar{e}_i = e_{2i} / e_{1i}$  – относительный выброс  $i$ -го токсичного компонента;

$e_{1i}, e_{2i}$  – эксплуатационные выбросы токсичных веществ с отработавшими газами, кг/кВт-ч;

$\bar{\eta}_e = \frac{\eta_{e2}}{\eta_{e1}}$  – отношение эксплуатационных эффективных к.п.д двигателя.

гателя.

С учетом этих показателей получим выражение для приведенных удельных масс ВВ, усл. кг/кВт-ч:

$$m_1 = \sum_{i=1}^n e_{1i} \cdot A_i, \quad m_2 = \sum_{i=1}^n e_{2i} \cdot A_i = \sum_{i=1}^n \bar{e}_i \cdot e_{1i} \cdot A_i, \quad (8)$$

тогда

$$\bar{m} = \frac{m_2}{m_1} = \frac{\sum_{i=1}^n \bar{e}_i \cdot e_{1i} \cdot A_i}{\sum_{i=1}^n e_{1i} \cdot A_i}; \quad (9)$$

$$g_{e2}^T = \frac{g_{e1}^T}{\eta_e}; \quad (10)$$

$$C_{\text{КР удельн}} = C_{\text{ДВС удельн}} \cdot \bar{C}. \quad (11)$$

Формула (10) получена из предположения, что двигатель в любом случае должен производить одну и ту же полезную работу, и является отражением закона сохранения энергии.

Подставив (8) – (11) и выполнив соответствующие преобразования, получим:

$$\bar{\mathcal{E}} = 1 - \frac{y \bar{m} \cdot m_1 + C_T g_{e1}^T \cdot \frac{1}{\eta_e} + \bar{C} \cdot C_{\text{ДВС удельн}}}{y m_1 + C_T g_{e1}^T} \quad (12)$$

Обозначим:

$K = \frac{C_T}{y}$  – отношение цены 1 кг топлива к ущербу от выброса 1

усл.кг ВВ;

$$q = \frac{y}{C_{\text{ДВС удельн}}} - \text{отношение ущерба от выброса 1 усл.кг ВВ к}$$

удельной себестоимости ДВС.

Тогда

$$\bar{\mathcal{E}} = 1 - \frac{q(\bar{m}m_1 + Kg_{el}^T \cdot \frac{1}{\eta_e}) + \bar{C}}{q(m_1 + Kg_{el}^T)}. \quad (13)$$

Анализ вклада отдельных составляющих величин  $\mathcal{Z}_1$ , которые являются суммой затрат на производство и эксплуатацию двигателя без выполнения КР с учетом экономического ущерба от ВВ.

После ремонта дизеля выбросы оксидов азота снизились на 30%, твердых частиц на 50%, приведенный выброс на 30%, эффективный КПД двигателя возрос на 10%.

Как показали расчеты (табл.1), в 1 варианте относительная годовая экономическая эффективность положительна, и не должна превосходить  $\bar{\mathcal{E}} = 1,2$ , чтобы окупаемость не превышала 1 год (рис. 2). Для 2 варианта относительная годовая экономическая эффективность меняет знак, что подтверждает низкое качество выполненного ремонта, поскольку  $\frac{1}{\eta_e} = 1,0$  и КПД двигателя не повысился, хотя ВВ уменьшены.

Таблица 1

Результаты расчетов для двигателя КамАЗ-740

Условное обозначение	Исходные данные для расчета	Результаты	
1	$\bar{m} = 0,7; \frac{1}{\eta_e} = 0,9$	$\bar{C} = 0,1$	$\bar{\mathcal{E}} = 0,116$
		$\bar{C} = 0,5$	$\bar{\mathcal{E}} = 0,067$
		$\bar{C} = 1,0$	$\bar{\mathcal{E}} = 0,0194$
2	$\bar{m} = 0,5; \frac{1}{\eta_e} = 1,0$	$\bar{C} = 0,1$	$\bar{\mathcal{E}} = 0,031$
		$\bar{C} = 0,5$	$\bar{\mathcal{E}} = -0,007$
		$\bar{C} = 1,0$	$\bar{\mathcal{E}} = -0,056$

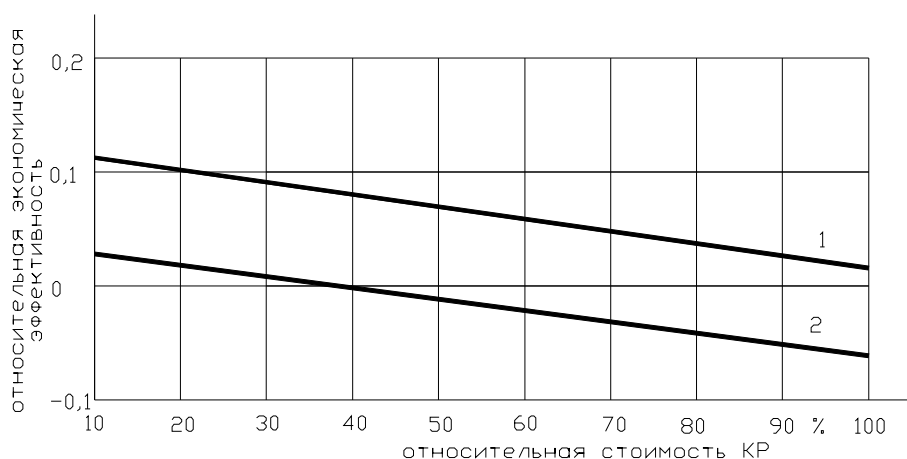


Рис. 2. Залежність годової відносної економічної ефективності від відносної вартості КР двигателя КамАЗ-740

Таким образом, анализ теоретических и экспериментальных исследований результатов ремонтных воздействий позволяет предложить комплексную методику оценки экономической эффективности ТОиР ДВС.

#### *Выводы.*

1. Экономическая эффективность КР ДВС обуславливается суммарными затратами для восстановления и поддержания двигателей в технически исправном состоянии. При достижении предельного состояния ДВС существенно повышаются показатели выбросов ВВ. Следовательно, в оценке эффективности КР следует учитывать этот фактор.

2. Экономическую оценку целесообразности выполнения КР ДВС следует определять с учетом экологического ущерба. Но данные условия усложняются необходимостью поиска оптимальных решений по снижению ВВ к стоимости КР ДВС, ресурсосбережения и т.д.

#### Литература

1. Буланов Л.С. Предельно допустимые выбросы стран Евросоюза / Л.С. Буланов // Автомобильная промышленность. - № 5. - 1999. - С. 15-19.
2. Маслов Н.Н. Качество ремонта автомобилей / Н.Н. Маслов. - Москва: Транспорт, 1975. - 368 с.
3. Технологические основы обеспечения качества машин / [К. С. Колесников, Г. Ф. Баландин, А. М. Дальский и др.]; под общ. ред. К. С. Колесникова. - М.: Машиностроение, 1990. - 256 с.
4. Временная типовая методика определения экономической эффективности осуществления природоохранных мероприятий и оценки экономического ущерба, причиняемого народному хозяйству / [А.С. Быстров, В.В. Варанкин и др.]. - Москва: Экономика, 1996. - 96 с.

5. Звонов В.А. Техничко-экономические и экологические показатели применения метанола как топлива для двигателей внутреннего сгорания / В.А. Звонов, В.И. Черных, Л.С. Заиграев // Экотехнология и ресурсосбережение.- 1995.- № 4.- С. 11 - 18.

6. Кутенев В.Ф. Качество двигателей внутреннего сгорания автотранспортных средств требует экологического и экономического оценивания / В.Ф. Кутенев, В.А. Звонов, Л.С. Заиграев, Л.В. Козлов // Стандарты и качество. – 1997. - № 3. – С. 52- 55.

## **ВАРТІСНА ОЦІНКА ЕКОЛОГІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЯКОСТІ КАПІТАЛЬНОГО РЕМОНТУ ДВИГУНІВ**

Дудукалов Ю. В., Торяник С.А., Цибульський В.А., Рибалко І. В.

**Анотація** - запропонована методика вартісної оцінки якості капітального ремонту двигунів з врахуванням покращення їх експлуатаційних характеристик, включаючи екологічні показники по шкідливим викидам.

## **COST EVALUATION OF THE ECOLOGICAL EFFECTIVENESS OF ENGINE OVERHAUL QUALITY**

Y. Dudukalov, S. Toryanik, I. Rybalko, V. Tsybulskiy

### **Summary**

**The article presents a method of cost evaluation of engine overhaul quality taking into account their servicing characteristics and with special emphasis on the ecological factor.**