

УДК 629.3.081.3

В. В. НЕВЗОРОВ, старший преподаватель, В. М. ОВЧИННИКОВ, кандидат технических наук, заведующий научно-исследовательским центром экологии и энергосбережения на транспорте, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

ВЛИЯНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЦИЛИНДРОПОРШНЕВОЙ ГРУППЫ И КАЧЕСТВЕННОГО СОСТАВА ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ БЕЗРАЗБОРНОГО ЭКСПРЕСС-ВОССТАНОВЛЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Определены параметры оценки эффективности безразборного экспресс-восстановления эксплуатирующихся двигателей внутреннего сгорания АТС. Проведено исследование наличия взаимосвязи между значениями диагностических параметров, характеризующих техническое и экологическое состояние двигателя внутреннего сгорания и эффективностью восстановления. Введены расчетные показатели, характеризующие состав отработавших газов и состояние цилиндропоршневой группы. Установлена тесная корреляционная связь между параметром эффективности безразборного восстановления и показателем относительной токсичности отработавших газов.

В настоящее время разрабатываются различные составы, позволяющие в процессе эксплуатации, не производя полной разборки узлов и агрегатов, частично восстанавливать изношенные поверхности трения с одновременным повышением их износостойкости и других технико-экономических показателей. К таким составам можно отнести самые различные восстановители: металлоплакирующие и металлокерамические материалы, металлизанты и реметаллизанты, кондиционеры и рекондиционеры, действие которых основано на введении в зазоры трущихся деталей специальных технологических сред, содержащих соединения металлов, полимеризующиеся, органические и другие поверхностно-активные вещества [1, 2, 9].

Все эти составы различаются по условиям и способам применения. Одни составы добавляют к маслам, топливу или пластичным смазкам, другие вводят через карбюраторы и впускные коллекторы в виде аэрозолей и присадок к топливно-воздушным смесям, а третьи вводятся непосредственно в зону трения, например, в цилиндропоршневую группу (ЦПГ).

Анализ свойств наиболее известных методов безразборного восстановления узлов трения показал высокую эффективность и стабильность результатов использования ремонтно-восстановительных составов (РВС) на основе серпентинитов. Однако в изученных работах недостаточно освещены критерии оценки эффективности восстановления, не определены критические значения структурных или диагностических параметров для принятия решения о безразборном восстановлении. В работах описываются единичные случаи восстановления, но не отражены данные масштаб-

ных ресурсных натурных испытаний на двигателях внутреннего сгорания (ДВС) автомобилей [1, 2, 9].

С учетом того, что в самых тяжелых условиях в двигателе работает ЦПГ (высокая температура, большие циклические нагрузки), принято производить оценку эффективности проведения восстановительных мероприятий по изменению ее технического состояния, контролируемого с использованием различных диагностических параметров. В большинстве описанных случаев в качестве основного диагностического метода используется вакуумнокомпрессионный анализ состояния ЦПГ [1–3, 7, 9].

Детали ЦПГ выполняют основные функции реализации рабочего процесса двигателя, изменения функциональных параметров которого могут быть вызваны как внешними, так и внутренними причинами, например, отложения в виде нагара, лака и кокса в канавках компрессионных колец, которые приводят к потере их подвижности и, как следствие, – чрезмерному расходу масла и полировке цилиндра абразивным компонентом нагара [3, 7–9].

На основании данных, полученных на промышленных предприятиях Гомельской области, установлены характерные неисправности автомобилей, устранение которых сопровождалось обязательной постановкой на ремонт и, как следствие, простоем. Установлено, что критичными агрегатами по условию надежности, вследствие сложности и высокой технологичности, является двигатель и его навесное оборудование. Среди них по соотношению числа отказов ДВС ЦПГ занимает второе место (14 %) после топливоподающей аппаратуры (ТПА) (17 %) [4].

Проведенные исследования выявили влияние качественного состава ОГ на закоксованность ЦПГ. Для этого была разработана методика оценки состояния каждого конкретного цилиндра без-

разборным способом с использованием анализатора герметичности цилиндров (АГЦ). Данная методика применима и для оценки эффективности безразборного экспресс-восстановления с учетом влияния качественного состава ОГ на процесс восстановления [4, 6–8, 11].

Целью работы является получение данных для разработки технологических основ прогнозирования эффективности безразборного экспресс-восстановления транспортных двигателей при помощи РВС с учетом первоначального технического состояния ЦПГ и качественного состава отработавших газов. Это позволит оптимизировать использование технологии экспресс-восстановления, повысить эффективность применения метода и исключить необоснованные полные комплекты ремонты, увеличить срок эксплуатации ДВС автомобилей.

Для оценки эффективности безразборного восстановления ДВС ремонтно-восстановительными составами на основе серпентинита использованы средние показатели изменения максимального давления в цилиндрах в конце такта сжатия p_c за контрольный цикл.

$$\Delta \bar{p} = \frac{\sum_{i=0}^n (p_{i+1} - p_i)}{n} \quad (1)$$

или

$$\Delta \bar{p}' = \frac{\sum_{i=0}^n (p_{i+1} - p_0)}{np_0} \cdot 100\%, \quad (2)$$

где p_i – среднее значение p_c двигателя при i -том периодическом контроле; p_0 – значение p_c двигателя до безразборного восстановления; n – количество периодических контрольных измерений.

Измерения p_c производились перед безразборным восстановлением, через 50 км пробега, а далее интервал периодического контроля был увеличен до 700 км. Давление измерялось при открытой дроссельной заслонке трижды для каждого цилиндра, в диагностическую карту автомобиля заносилось среднее значение p_c .

Для оценки динамики изменения p_c предложено использовать средние значения, полученные при периодическом контроле по двигателю в целом

$$\bar{p}_c = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k p_{ij}}{m}, \quad (3)$$

где p_{ij} – значение p_c двигателя i -го цилиндра при j -том измерении, МПа; m – количество цилиндров двигателя внутреннего сгорания; k – количество измерений p_c в каждом цилиндре.

Измерения токсичности отработавших газов автомобилей осуществлялось одновременно с ди-

агностикой цилиндропоршневой группы [5]. Установлено, что наряду с увеличением p_c у большинства исследуемых двигателей наблюдались случаи стабилизации данного параметра на длительный период, а в некоторых случаях – даже незначительное уменьшение исследуемого параметра (рисунок 1).

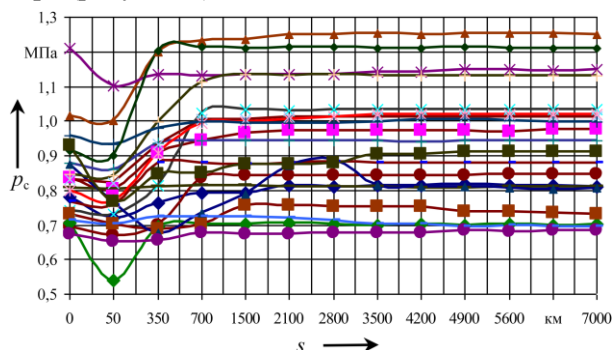


Рисунок 1 – Динамика изменения p_c в зависимости от пробега автомобиля при безразборном экспресс-восстановлении

У ряда автомобилей контрольной группы при проведении безразборного восстановления зафиксировано увеличение максимального давления в конце такта сжатия p_c на 7–33 %. В то же время у части двигателей введение ремонтно-восстановительного состава вызвало незначительное изменение p_c на 1–3,5 %, а в некоторых случаях привело к нулевому или отрицательному результату, понизив p_c на 1–9 % (рисунок 2).

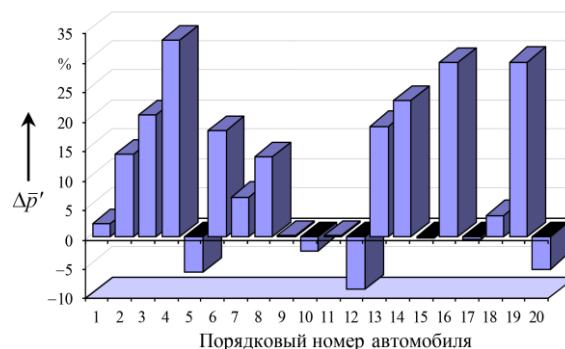


Рисунок 2 – Средние показатели изменения p_c за контрольный цикл после введения ремонтно-восстановительного состава

Начальный период безразборного восстановления двигателей автомобилей, входящих в контрольную группу, происходил при различных значениях внешних факторов (атмосферное давление, температура воздуха, влажность). Можно предположить, что основное влияние на эффективность безразборного восстановления оказывают состояние ЦПГ и параметры рабочих процессов конкретного ДВС. Поэтому проведено исследование наличия взаимосвязи между значениями диагностических параметров, характеризующих состояние ДВС и эффективностью безразборного восстановления [4, 11].

Анализ средних показателей изменения p_c за контрольный цикл с учетом параметра эффективности проведенного безразборного восстановления позволил разбить контрольную группу авто-

мобилей на подгруппы. Результаты проведенного анализа представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Разделение контрольной группы автомобилей на подгруппы

Параметр	Подгруппа				
	I	II	III	IV	V
Диапазон изменения $\Delta\bar{p}'$, %	33–23	21–17	14–4	1–3	(–1)–(–9)
Количество автомобилей в подгруппе n , шт.	4	4	3	5	4

В качестве переменных, влияние которых на эффективность безразборного восстановления необходимо установить принимаем:

1) ρ – показатель относительной токсичности – сумма средних значений по каждому показателю токсичности отработавших газов (ОГ), отнесенных к максимально допустимому значению

$$\rho_i = \frac{\bar{p}_{COi}}{\rho_{COmax}} + \frac{\bar{p}_{CHi}}{\rho_{CHmax}}, \quad (4)$$

где \bar{p}_{COi} – среднее значение содержания оксида углерода в ОГ при i -том измерении, %; ρ_{COmax} – максимально допустимое значение содержания оксида углерода в ОГ, %; \bar{p}_{CHi} – среднее значение содержания углеводородов в ОГ при i -том измерении, ppm; ρ_{CHmax} – максимально допустимое значение содержания углеводородов в ОГ, ppm;

2) β – индекс относительного износа ЦПГ, косвенно характеризующий её состояние – это отношение значения p_c , полученного при первичной диагностике, перед применением ремонтно-восстановительного состава к номинальному значению по данным завода-изготовителя или регулировочным данным,

$$\beta_i = \frac{p_{ci}}{p_{cном}}, \quad (5)$$

где p_{ci} – измеренное значение давления в конце такта сжатия, МПа; $p_{cном}$ – номинальное значение давления в конце такта сжатия, МПа.

Результаты расчета введенных показателей представлены на графиках зависимости параметра эффективности безразборного восстановления двигателя внутреннего сгорания (рисунок 3) от показателя относительной токсичности и индекса относительного износа ЦПГ (рисунок 4).

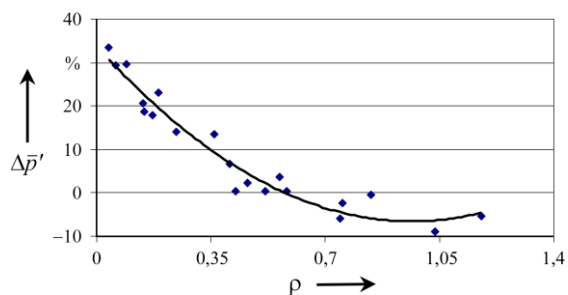


Рисунок 3 – Зависимость параметра эффективности безразборного восстановления ДВС $\Delta\bar{p}'$ от показателя относительной токсичности ОГ ρ

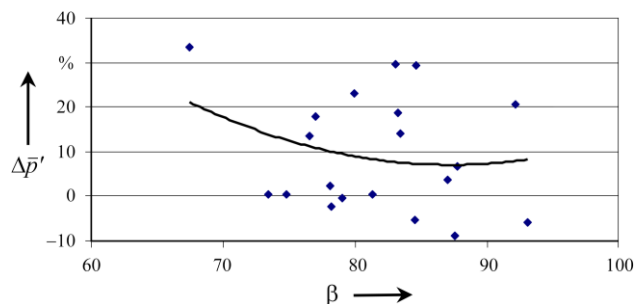


Рисунок 4 – Зависимость параметра эффективности безразборного восстановления ДВС $\Delta\bar{p}'$ от индекса относительного износа ЦПГ β

С помощью критерия согласия Пирсона проверим гипотезу о соответствии данных нормальному закону распределения.

Результаты расчета и статистической обработки данных сведены для параметра относительной токсичности в таблицу 2 и таблицу 3 – для индекса износа ЦПГ.

Таблица 2 – Результаты расчета для параметра относительной токсичности $\bar{\rho}_i$

$\bar{\rho}_i$	$\Delta\bar{p}'_i$, %	p_i	S_i	m_i	m'_i	$(m_i - m'_i)^2$	$\frac{(m_i - m'_i)^2}{m'_i}$
0,08	28,8	0,18	2,89	4	3,6	0,102	0,0278
0,18	17,8	0,19	1,53	4	3,8	0,025	0,0065
0,44	7,9	0,14	2,67	3	2,8	0,044	0,0158
0,47	0,6	0,23	0,94	5	4,6	0,026	0,0056
0,91	-5,7	0,19	1,14	4	3,9	0,006	0,0016
$\chi^2_{расч}$							0,0575

Чем больше разность между наблюдаемыми и теоретическими частотами, тем больше величина критерия Пирсона. Чтобы отличить существенные значения от значений, которые могут возникнуть в результате случайности выборки, рассчитанное значение сравнивается с табличным при соответствующем числе степеней свободы и заданном уровне значимости α . Уровень значимости выбирается таким образом, что $P(\chi^2_{расч} \geq \chi^2_{табл}) = \alpha$. Значения $\chi^2_{табл}$ находятся по таблице при соответствующем числе степеней свободы ν и заданном уровне значимости α [10, 12].

Число степеней свободы рассчитывается по формуле $\nu = k - r - 1 = 5 - 1 - 1 = 3$, где k – число интервалов, на которые разбита выборка данных, r – число параметров теоретического распределения, оцениваемых на основании выборки.

Так как рассчитанный критерий $\chi^2_{расч} = 0,0575$ не превышает максимально возможную величину расхождений эмпирических и теоретических частот $\chi^2_{табл} = 0,185$ при числе степеней свободы $\nu = 3$, и доверительной вероятности на уровне 0,98, то можно утверждать, что гипотеза о близости

сти эмпирического распределения $\Delta\bar{p}'(\rho)$ нормальному закону подтверждается.

Таблица 3 – Результаты расчета для индекса относительного износа ЦПГ β_i

β_i	$\Delta\bar{p}'_i, \%$	\bar{p}_i	S_i	m_i	m'_i	$(m_i - m'_i)^2$	$\frac{(m_i - m'_i)^2}{m'_i}$
0,787	28,85	0,92	2,89	4	5,37	1,876	0,349
0,833	17,80	0,96	1,53	4	2,46	2,371	0,964
0,837	7,92	0,93	2,67	3	2,39	0,372	0,155
0,843	0,64	0,93	0,94	5	6,11	1,232	0,201
0,858	-5,73	0,98	1,14	4	3,15	0,722	0,226
$\chi^2_{\text{расч}}$							1,900

Так как рассчитанный критерий $\chi^2_{\text{расч}} = 1,9$ не превышает максимально возможную величину расхождений эмпирических и теоретических частот $\chi^2_{\text{табл}} = 2,37$ при числе степеней свободы $\nu = 3$, можно утверждать, что гипотеза о близости эмпирического распределения $\Delta\bar{p}'(\beta)$ нормальному закону подтверждается с вероятностью 0,60.

Параметрический корреляционный анализ является наиболее распространенным и точным видом анализа для выявления и оценки связи между различными факторами. Так как распределение данных в выборке близко к нормальному закону, то можно выявить наличие связей между переменными ρ , β и $\Delta\bar{p}'$ при помощи индикаторов связи. Таким индикатором может служить эмпирическое корреляционное отношение η (коэффициент корреляции Пирсона), который используется в качестве показателя степени тесноты связи при наличии криволинейной зависимости между признаками.

Расчет коэффициента корреляции Пирсона основан на известной теореме сложения дисперсий, когда общая дисперсия признака σ_0^2 может быть разложена на две составляющие:

– межгрупповую дисперсию δ^2 , которая характеризует колеблемость результативного признака, положенного в основу группировки,

$$\delta^2 = \frac{\sum_{i=1}^k (\Delta\bar{p}'_i - \Delta\bar{p}'_0)^2 n_i}{\sum_{i=1}^k n_i}, \quad (6)$$

где $\Delta\bar{p}'_i$ – средние значения признака в соответствующих группах; $\Delta\bar{p}'_0$ – общая средняя для всей совокупности; n – число наблюдений в группах; k – число выделенных групп;

– среднюю из внутригрупповых дисперсий $\bar{\sigma}^2$, которая оценивает часть вариации результативного признака эффективности безразборного восста-

новления, обусловленного действием других случайных величин,

$$\bar{\sigma}^2 = \frac{\sum_{j=1}^k \sigma_j^2 n_j}{\sum_{j=1}^k n_j}, \quad (7)$$

где σ_j^2 – дисперсия результирующего признака в соответствующей группе.

Общая дисперсия равна $\sigma_0^2 = \delta^2 + \bar{\sigma}^2$ [8, 10, 12].

Зная общую и межгрупповую дисперсии, можно оценить ту долю, которую составляет вариация под воздействием фактора токсичности ОГ двигателя или состояние ЦПГ, в общей вариации результативного параметра эффективности безразборного восстановления.

Результаты расчета межгрупповой дисперсии представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Расчет межгрупповой дисперсии

Подгруппы автомобилей сформированные по признаку		Количество автомобилей в подгруппе n_i , шт.	Среднее значение $\Delta\bar{p}'_i$ в подгруппе, %	$(\Delta\bar{p}' - \Delta\bar{p}'_0)^2 n_i$
\bar{p}_i	β_i			
0,08	0,787	4	28,85	1437,02
0,18	0,833	4	17,80	249,89
0,44	0,837	3	7,92	11,71
0,47	0,843	5	0,64	428,37
0,91	0,858	4	-5,73	976,69
Итого		20	9,986	3103,68

Межгрупповая дисперсия $\delta^2 = 155,2$. Величина общей дисперсии $\delta_0^2 = 359,7$. Величина корреляционного соотношения $\eta = 0,754$.

Следовательно, существует сильная корреляционная связь между анализируемыми показателями. Значимость рассчитанного корреляционного отношения оценивается с помощью дисперсионного отношения

$$F_{\text{расч}} = \frac{\sum_{i=1}^k (\Delta\bar{p}'_i - \Delta\bar{p}'_0)^2 n_i}{k-1} / \frac{\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (\Delta\bar{p}'_{ij} - \Delta\bar{p}'_i)^2}{n-k}, \quad (8)$$

где $\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (\Delta\bar{p}'_{ij} - \Delta\bar{p}'_i)^2 = 2851,23$ – величина, рассчитанная по данным таблиц 1–4.

$F_{\text{расч}} = 12,16$, тогда как $F_{\text{табл}} = 3,06$ при $\alpha = 0,05$ и числе степеней свободы $\nu_1 = k - 1 = 5 - 1 = 4$ и $\nu_2 = n - k = 20 - 5 = 15$ [8, 10, 12].

Расчетное значение критерия Фишера $F_{\text{расч}}$ больше $F_{\text{табл}}$, что позволяет с вероятностью 95 % сделать вывод о существенной корреляционной связи между параметром эффективности безразборного восстановления ДВС и показателем от-

носительной токсичности отработавших газов [8, 10, 12].

Таким образом, проведенные исследования позволили установить, что:

– основное влияние на эффективность экспресс-восстановления ЦПГ двигателя оказывает качественный состав ОГ;

– техническое состояние ЦПГ, характеризующее индексом относительного износа β , в меньшей степени влияет на эффективность экспресс-восстановления, но может служить критерием для принятия решения о применении технологии безразборного восстановления;

– эксплуатация ДВС с повышенным содержанием оксида углерода и углеводородов в ОГ приводит ухудшению динамики безразборного экспресс-восстановления ЦПГ;

– мониторинг состояния ТПА и качественного состава ОГ даст возможность оптимизировать использование технологии экспресс-восстановления, повысить эффективность применения метода, что позволит определить комплекс диагностических, корректирующих и восстановительных мероприятий, способных минимизировать негативное влияние качественного состава ОГ на работоспособность ДВС.

Список литературы

1 Балабанов, В. И. Безразборное восстановление трудящихся соединений в автомобилях. Методы и средства / В. И. Балабанов. – М. : Изд-во «Астрель». – 2003. – 61 с.

2 Безразборный сервис автомобильной техники (ресурсосберегающие препараты химии и нанотехнологии) / В. И. Беклемышев [и др.] // Авторемонт. – № 6. – 2006. – С. 10–14.

3 Диагностика цилиндропоршневой группы бензиновых и дизельных двигателей / <http://www.edial.ru/articles/engine-troubleshooting.html>. – Дата доступа 15.09.2010.

4 Невзоров, В. В. Исследование взаимосвязи экологических параметров ДВС с техническими характеристиками ЦПГ / В. В. Невзоров, С. И. Сухопаров, В. М. Овчинников // Вестник Полоцкого государственного университета. Сер. Прикладные науки. Промышленность. – 2007. – № 8. – С. 5–9.

5 ГОСТ 17.2.2.03-87 Охрана природы. Атмосфера. Нормы и методы измерений содержания окиси углерода и углеводородов в отработавших газах автомобилей с бензиновыми двигателями. Требования безопасности. – Введ. 1988–01–01. – М. : Изд-во стандартов, 1988. – 8 с.

6 Алифанов, А. Л. Об эффективности применения предварительной информации при прогнозировании в ремонте и эксплуатации автомобилей / А. Л. Алифанов // Известия вузов. Горн. журнал. – 2000. – № 1. – С. 63–67.

7 Четет, В. А. Диагностика цилиндропоршневой группы (ЦПГ) на предмет износа / В. А. Четет, А. П. Сергачев / ГТМ-ТЕХНОЛОГИЯ (ГТМТ) / <http://www.gtmt.ru/?section=iznos>.

8 Гринцевич, В. И. Экспертная оценка технического состояния автомобилей / В. И. Гринцевич // Вестник Краснояр. гос. техн. ун-та. – 2001. – № 25. – С. 86–89.

9 Бондаренко, Е. В. Повышение эффективности эксплуатации и экологической безопасности автотранспортной системы на основе ресурсосберегающих технологий: автореф. дис. докт. техн. наук: 05.22.10 / Е. В. Бондаренко; Оренбург. гос. ун-т. – Оренбург, 2005. – 35 с.

10 Спирков, С. Н. Теория статистики : учеб. комплекс / С. Н. Спирков. – 3-е изд. – Мн. : Изд-во МИУ, 2005. – 216 с.

11 Невзоров, В. В. Организация мобильного поста экспресс-диагностики технического состояния транспортных средств / В. В. Невзоров, В. М. Овчинников // Современные методы и приборы контроля качества и диагностики состояния объектов : материалы междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 26–27 окт. 2004 г. – Могилев : ГУ ВПО «Белорусско-Российский университет», 2004. – С. 220–221.

12 Байхельт, Ф. Надежность и техническое обслуживание. Математический подход : пер. с нем. / Ф. Байхельт, П. Франкен. – М. : Радио и связь, 1988. – 392 с.

13 Nadeau, J. Mon carburant roult plus vert / J. Nadeau // Environnement Magazine. – 2000. – № 1589. – P. 36–40.

14 Mobiles Konzept für kleine Werkstätten // KFZ-Betrieb: Die Wochenzeitung für Autohaus und Werkstatt. – 2000. – 90, № 42. – P. 36.

Получено 01.11.2010

V. V. Nevzorov, V. M. Ovchinnikov. Influence of the technical state of group and quality composition of workings gases on efficiency of express renewal of transport engines.

Parameters are certain for the estimation of efficiency of the exploited engines. Research is conducted of presence of intercommunication between the values of diagnostic parameters, characterizing the technical and ecological state of engine and by efficiency of renewal. Calculation indexes, characterizing composition of workings gases and state of cilindropiston group, are entered. Close cross-correlation connection is set between the parameter of efficiency of the express renewal and index of relative toxins' of workings gases.