

*Тимченко А.И., канд. техн. наук; Тимченко Д.И., канд. техн. наук;  
Назаров А.И., канд. техн. наук; Давидянц Е.А.*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ КОМБИНИРОВАННОГО СПОСОБА БЕСТОРМОЗНОЙ ПРИРАБОТКИ ДВС**

**Введение.** Важнейшей проблемой, возникающей в процессе эксплуатации многотысячного парка автомобилей, является эффективное использование ресурса устанавливаемых на них двигателей.

Основной путь продления срока службы автомобильных двигателей – их своевременный и качественный ремонт, в том числе капитальный.

Операциями, завершающими капитальный ремонт двигателя, являются его обкатка и контрольные испытания.

Во время послеремонтной обкатки обеспечивается приработка трущихся пар двигателя, в процессе которой достигается определенная шероховатость поверхностей, с оптимальными значениями для конкретной пары трения, независимо от того, какой она была у деталей до сборки [1]. Никакие чистовые доводочные процессы (например, суперфиниширование) не в состоянии заменить или исключить послеремонтную обкатку.

Послеремонтная обкатка может также служить для оценки качества выполненного ремонтного воздействия.

Как правило, обкатку проводят на специальных стационарных тормозных стендах. Целесообразность именно стендовой приработки обуславливается возможностью моделировать в широких пределах и с большой степенью точности как скоростные, так и нагрузочные режимы работы двигателя, что затруднено при эксплуатационной обкатке его непосредственно на автомобиле.

**Постановка проблемы.** В последние годы в практике ремонтного обслуживания применяется прогрессивный агрегатный метод, который предусматривает восстановление узлов на специализированных ремонтных предприятиях с последующей их установкой на двигатель непосредственно в условиях автотранспортных предприятий (АТП). Соответственно и обкаточные испытания должны проводиться в условиях АТП, большинство из которых не имеет стационарных тормозных, обкаточных стендов, что объясняется относительным дефицитом и дороговизной этих установок, необходимостью иметь дополнительные площади для их размещения, невозможностью в условиях АТП обеспечить постоянную их загрузку.

Целью работы является разработка методики послеремонтной бестормозной приработки двигателей в условиях АТП, максимально приближенной к стендовой.

Цель достигается на примере дизелей автомобилей КамАЗ.

**Анализ последних достижений и публикаций.** В литературе описаны ряд достаточно простых, не требующих сложного и дорогостоящего оборудования, бестормозных методов обкатки автотракторных двигателей [2, 3]. Однако выбор способа бестормозного нагружения при обкатке должен быть согласован с типом ДВС, особенностями его конструкции, учитывать рекомендуемые техническими условиями на капитальный ремонт обкаточные режимы работы.

Наиболее известный способ бестормозного нагружения ДВС (принятый в работе за основу) состоит в отключении части цилиндров и использовании их в качестве эффективной нагрузки для работающих цилиндров.

Суммарное уравнение баланса мощности при данном способе бестормозного нагружения имеет вид

$$Z_p N'_{i_1} = Z_p N_{m.p_1} + Z_e N_{m.e_1}, \quad (1)$$

где  $Z_p$  и  $Z_e$  – соответственно число работающих и выключенных цилиндров;  $N'_{i_1}$  – индикаторная мощность одного работающего цилиндра в условиях бестормозной нагрузки выключением части цилиндров, кВт;  $N_{m.p_1}$  и  $N_{m.e_1}$  – мощность механических потерь соответственно одного работающего и одного выключенного цилиндра, кВт.

Из выражения (1) может быть получена зависимость для определения внешней эффективной нагрузки при бестормозном нагружении отключением цилиндров

$$Z_e N'_{e_1} = Z N_{e_1} \frac{Z_e}{Z - Z_e} \left( \frac{1}{\eta_m} - 1 \right), \quad (2)$$

где  $N_{e_1}$  – эффективная мощность одного цилиндра на полной подаче топлива, кВт;  $Z$  – общее число цилиндров двигателя, шт.;  $\eta_m$  – механический коэффициент полезного действия (КПД) ДВС.

При данном способе бестормозного нагружения ДВС возможно отключение произвольного количества цилиндров при условии  $Z_p \geq 1$ .

Однако оптимальное время на приработку и, соответственно, оптимальная динамика износа двигателя (за время приработки) обеспечивается при данном способе нагружения только при условии  $Z_p = Z_e$  в виду того, что приработке под нагрузкой подвергается только работающая группа цилиндров.

Кроме того, при выполнении данного условия можно достигнуть наилучшей равномерности работы цилиндров ДВС, что объясняется сохранением условия равенства угловых интервалов между вспышками в цилиндрах. Правда, сам угловой интервал, в этом случае, увеличивается с  $\theta = 90^\circ$  до  $\theta = 180^\circ$ . Так, для двигателей автомобиля КамАЗ – 740 с порядком работы цилиндров 1 – 5 – 4 – 2 – 6 – 3 – 7 – 8 для нагружения и сохранения равенства угловых интервалов между вспышками в цилиндрах следует отключать следующие группы цилиндров: 1 – 4 – 6 – 7 или 5 – 2 – 3 – 8.

Отметим, что наибольшую бестормозную нагрузку можно достигнуть в режиме работы двигателя на одном цилиндре при выключении остальных. Это возможно в том случае, когда мощность механических потерь двигателя меньше или равна индикаторной мощности одного работающего цилиндра на полной подаче топлива. Так, для двигателя КамАЗ – 740 возможна устойчивая работа на двух цилиндрах ( $Z_{p_{\min}} = 2$ ) при условии, что механический КПД  $\eta_m \geq 0,75$  на режиме максимальной эффективной мощности  $N_{e_{\max}}$ .

В (табл. 1) приведены результаты расчета нагрузочной способности бестормозного цикла с отключением половины цилиндров ( $Z_p = Z_e$ ) и рекомендуемые заводом–изготовителем для дизеля КамАЗ – 740 обкаточные режимы.

Бестормозная нагрузка, полученная способом отключения части цилиндров при условии  $Z_p = Z_e$  двигателя КамАЗ – 740

Стадия приработки	Частота вращения коленчатого вала, п мин <sup>-1</sup>	Нагрузка тормозная обкаточная на 8 цилиндров $N_e$ , кВт	Нагрузка тормозная обкаточная на 4 работающих цилиндра, $N_e$ кВт	Бестормозная нагрузка при отключении 4 <sup>х</sup> цилиндров, кВт	Недостаточная нагрузка «-» и избыточная «+», кВт
1	2	3	4	5	6
Холодная	600	-	-	-	-
	800	-	-	-	-
	1000	-	-	-	-
	1200	-	-	-	-
	1400	-	-	-	-
Горячая без нагрузки	1400	-	-	-	-
Горячая под нагрузкой	1600	22,05	11,03	26,64	15,61
	1800	44,10	22,05	31,25	9,2
	2000	66,15	33,08	36,46	3,38
	2200	88,20	44,10	41,60	- 2,5
	2400	110,25	55,13	46,88	- 8,25
	2600	132,30	66,15	51,44	- 14,71

**Основная часть.** Анализ приведенных данных показывает, что:

- отключение половины цилиндров недостаточно для создания необходимой загрузки работающих цилиндров;

- для обеспечения обкатки дизеля КамАЗ - 740 с соблюдением режимов нагрузки, предусмотренных заводом-изготовителем, необходимо изыскать возможность догружения работавших цилиндров.

Следует отметить, что расчет нагрузочных режимов носит предварительный характер и требует экспериментального уточнения, в частности значений механического КПД ( $\eta_m$ ) дизеля КамАЗ – 740 при различных значениях частот вращения коленчатого вала и времени приработки.

В работе [3] указывается на возможность догружения работающих цилиндров ДВС за счет осуществления индикаторных нагрузочных циклов. Отмечается, что наибольшей нагрузочной способностью обладает видоизмененный компрессорный цикл, к недостаткам которого можно отнести, техническую сложность его осуществления непосредственно на двигателе из-за необходимости применения громоздких, металлоемких дополнительных клапанных механизмов.

В данной работе предлагается использовать в качестве догрузочного – индикаторный нагрузочный цикл с дросселированием газов на выпуске в неработающих цилиндрах.

Для осуществления этого нагрузочного цикла требуются несложные приспособления, позволяющие к тому же обходиться без остановки дизеля для перенастройки режима обкатки.

Конструктивно устройство для дросселирования газов на выпуске предлагается выполнить в виде сменного набора диафрагм с различными диаметрами проходного сечения (под различные значения нагрузки), которые устанавливаются на головке цилиндров в месте крепления выхлопного патрубка.

В связи с этим расчет нагрузочного цикла с дросселированием газов на выпуске в неработающих цилиндрах фактически заменяется определением диаметра диафрагм, который должен обеспечивать заданную догрузку цилиндра.

Опыт показывает, что у двигателей прошедших капитальный ремонт, в зависимости от качества последнего, мощность механических потерь изменяется в широких пределах. Согласно результатам исследования, полученным в работах [1, 4], динамика изменения мощности механических потерь во времени после этапа холодной приработки носит линейный характер. При этом значения мощности механических потерь ( $N_m$ ), а, следовательно, и механического КПД ( $\eta_m$ ) изменяются незначительно за весь период дальнейшей приработки (этапы холостого хода и приработки под нагрузкой). В связи с этим предлагается начальную холодную приработку для всех дизелей КамАЗ – 740 проводить до определенного принятого значения ( $N_m$ ), после чего выполнять горячую бестормозную обкатку по установленным режимам.

При такой последовательности обкатки значительно упрощается расчет степени бестормозного нагружения ДВС и повышается его точность.

Расчетная зависимость для определения диаметров дросселирующих диафрагм может быть получена из уравнения Бернулли [5]

$$\frac{\omega^2}{2g} - \frac{\omega_0^2}{2g} + Z - Z_0 + \frac{P}{\gamma} - \frac{P_0}{\gamma} = 0, \quad (3)$$

где  $\omega_0$  и  $\omega$  – соответственно скорости газового потока до и после диафрагмы, м/с.,  $P_0$  и  $P$  – соответственно давления до и после диафрагмы, МПа;  $\gamma_0$  и  $\gamma$  – удельный вес газа (принимается допущение о том, что удельный вес не изменяется при прохождении диафрагмы), Н/м<sup>3</sup>;  $Z_0 = Z$  – разность уровней до и после диафрагмы, м;  $g = 9,81$  – ускорение силы тяжести, м/с<sup>2</sup>.

Кроме уравнения энергии (3), для газового потока выполняется условие неразрывности [5]

$$F \cdot \omega \cdot \gamma = F_0 \cdot \omega_0 \cdot \gamma_0, \quad (4)$$

где  $F_0$  и  $F$  – соответственно сечения газового потока до и после диафрагмы, м<sup>2</sup>.

После ряда преобразований окончательно расчетная зависимость для определения диаметров дросселирующих диафрагм, в мм, примет вид

$$D_\partial = 10^{-3} \cdot \sqrt{\frac{4\omega_2 \cdot F_2}{\pi \cdot \mu \cdot \sqrt{\frac{2g \cdot (P_2 - P_5)}{\gamma} + \omega_2^2 - \left(\frac{\omega_2 \cdot F_2}{F_4}\right)^2}}}, \quad (5)$$

где  $\mu = 0,67$  – коэффициент расхода [1];  $P_2$  и  $P_5$  – соответственно давление (абсолютное) на выпуске из цилиндра и давление газа в выпускном коллекторе (противодавление), МПа;  $F_2$  и  $F_4$  – соответственно площадь цилиндра и площадь выпускного канала, м<sup>2</sup>;  $\omega_2$  – скорость поршня (газа в цилиндре), м/с.

При этом значения абсолютного давления (в МПа) в цилиндре на выпуске могут быть определены из уравнения нагрузочного среднего индикаторного давления цикла с дросселированием на выпуске [3]

$$P_{н.ц.} = P_2 \left\{ 1 - \frac{1}{(\varepsilon - 1)(n - 1)} \cdot \left[ 1 - \frac{1}{\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{n-1}{n}}} \right] - \frac{P_1}{P_2(\varepsilon - 1)} \cdot \left[ \varepsilon - \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{1}{n}} \right] \right\}, \quad (6)$$

где  $P_1$  - абсолютное давление на впуске, МПа;  $P_2$  - абсолютное давление на выпуске, МПа.

Значения диаметров дросселирующих диафрагм, соответствующие недостающим нагрузкам, приведены в (табл. 2).

Таблица 2

Значения диаметров дросселирующих диафрагм в зависимости от режима нагружения дизеля автомобиля КамАЗ – 740

Стадия приработки	Частота вращения коленчатого вала, n, мин <sup>-1</sup>	Недостающая нагрузка, N <sub>е</sub> , кВт	Недостающая нагрузка, N <sub>и</sub> , кВт	Абсолютное давление на выпуске P <sub>2</sub> , МПа	Диаметр дросселирующей диафрагмы D <sub>д</sub> , мм.
Горячая под нагрузкой	2200	- 2,5	- 3,23	0,12275223	35,9
	2400	- 8,25	- 10,85	0,19219606	27,0
	2600	- 14,71	- 19,61	0,26217516	25,8

**Выводы.** Основываясь на приведенных в статье исследованиях, можем сделать ряд выводов, главными из которых являются:

– разработана методика бесстендовой бестормозной обкатки дизелей на примере двигателя КамАЗ – 740;

– разработан способ бестормозной обкатки дизелей, в основу которого положено бестормозное комбинированное нагружение, состоящее из отключения части цилиндров при условии  $Z_p = Z_в$  и дополнительное догружение двигателя дросселированием газов на выпуске в неработающих цилиндрах посредством комплекта сменных диафрагм;

– получена зависимость (5) для определения диаметров дросселирующих диафрагм, которые обеспечивают в качестве догрузки – индикаторный нагрузочный цикл с дросселированием газов на выпуске в неработающих цилиндрах.

**Литература:** 1. Гаенко Л.М. Приработка и испытание автомобильных двигателей / Л.М. Гаенко. – М.: Транспорт, 1966. – 112 с. 2. Болбас М.М. Исследование ускоренной приработки карбюраторного автомобильного двигателя на бестормозных нагрузочных режимах: дисс. ... кандидата тех. Наук: / Болбас М.М. Минск, 1970. – 134 с. 3. Ждановский Н.С. Бестормозные испытания тракторных двигателей / Н.С. Ждановский – М.: Машиностроение, 1966. – 132 с. 4. Дюмин И.Е. Повышение эффективности ремонта автомобильных двигателей / И.Е. Дюмин – М.: Транспорт, 1987. – 78 с. 5. Райков И.Я. Испытания двигателей внутреннего сгорания / И.Я. Райков – М.: Высшая школа, 1975. – 89 с.

**Bibliography (transliterated):** 1. Gaenko L.M. Prirabotka i ispytanie avtomobil'nyh dvigatelej / L.M. Gaenko. – M.: Transport, 1966. – 112 s. 2. Bolbas M.M. Issledovanie uskorennoj prirabotki karbjuratornogo avtomobil'nogo dvigatelja na bestormoznyh nagruzochnyh rezhimah: diss. ... kandidata teh. Nauk: / Bolbas M.M. Minsk, 1970. – 134 s. 3. Zhdanovskij N.S. Bestormoznye ispytaniya traktornyh dvigatelej / N.S. Zhdanovskij – M.: Mashinostroenie, 1966. – 132 s. 4. Djumin I.E. Povyshenie jeffektivnosti remonta avtomobil'nyh dvigatelej / I.E. Djumin – M.: Transport, 1987. – 78 s. 5. Rajkov I.Ja. Ispytaniya dvigatelej vnutrennego sgoraniya / I.Ja. Rajkov – M.: Vysshaja shkola, 1975. – 89 s.

Тимченко О.І., Тимченко Д.І., Назаров О.І., Давідянц К.О.

#### ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ РЕАЛІЗАЦІЇ КОМБІНОВАНОГО СПОСОБУ БЕЗГАЛЬМОВОЇ ПРИРОБКИ ДВЗ

Розглянуто можливість реалізації безгальмового способу приробки і випробування дизелів, за допомогою комбінованої схеми навантаження, яка включає до себе: відключення частини циліндрів (за умови  $Z_p = Z_e$ ) і застосування у відключених циліндрах індикаторного циклу навантаження з дроселюванням заряду на випуску.

Тимченко А. И., Тимченко Д.И., Назаров А.И., Давидянц Е.А.

#### ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ КОМБИНИРОВАННОГО СПОСОБА БЕСТОРМОЗНОЙ ПРИРАБОТКИ ДВС

Рассмотрена возможность реализации бестормозного способа приработки и испытания дизелей, посредством комбинированной схемы нагружения, включающей в себя: отключение части цилиндров (при условии  $Z_p = Z_e$ ) и применение в отключенных цилиндрах индикаторного нагрузочного цикла с дроселированием заряда на выпуске.

Tymchenco O.I., Tymchenko D.I., Nazarov O.I., Davidyants K.O.

#### INVESTIGATION OF POSSIBILITY OF COMBINED METHOD IMPLEMENTATION FOR NON-BRAKE ICE RUNNING IN

Possibility of implementation of non – brake bedding – in and test for diesel engines by means of a combined loading scheme comprising disconnection of some cylinders (provided  $Z_p = Z_e$ ), usage of indicative loading cycle with the charge being throttled at exhaust stage in disconnected cylinders has been considered.

---