

Научная статья
УДК 621.436

Переходные процессы поршневых двигателей с различной формой внешней скоростной характеристики

Владимир Анатольевич Марков¹, Филипп Борисович Барченко²,
Всеволод Анатольевич Неверов³, Матвей Ильич Шлёнов⁴,
Эдуард Андреевич Савастенко⁵

^{1,2,3,4}Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана,
Москва, Россия

⁵Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ),
Москва, Россия

¹vladimir.markov58@yandex.ru

²barchenko@bmstu.ru

³sevasxp@mail.ru

⁴matvey-job@mail.ru

⁵e.d.u.a.r.d@inbox.ru

Аннотация. На сегодняшний день основными характеристиками поршневых двигателей остаются мощностные и динамические показатели. При этом динамические качества автомобиля в целом в значительной степени определяются формой внешней скоростной характеристики (ВСХ) двигателя. Рассмотрены возможности изменения формы ВСХ двигателя путем корректирования топливоподачи на различных режимах. Описан метод улучшения мощностных и динамических показателей путем перевода четырехтактного двигателя на работу по двухтактному циклу на режимах с низкими частотами вращения. Проведен анализ результатов расчетных исследований переходных процессов двигателей с различной формой внешней скоростной характеристики. С помощью разработанной авторами математической модели смоделирован переходный процесс разгона двигателя типа КамАЗ-740 в диапазоне частот вращения двигателя от 800 до 2200 мин⁻¹ (увеличение скоростного режима в 2,75 раза) при корректировании топливоподачи. Показано, что увеличение подачи топлива двигателя типа КамАЗ-740 на режиме максимального крутящего момента примерно в 1,5 раза (рост коэффициента приспособляемости по крутящему моменту с 1,05 до 1,50) сокращает время разгона двигателя с 8,2 до 5,4 с (на 34%). Проведенное фирмой Ricardo моделирование разгона автомобиля с двигателем типа 2/4 Sight (переход на двухтактный цикл на максимальной нагрузке в области низкой частоты вращения) показало, что при разгоне транспортного средства с 80 до 120 км/ч (увеличение скорости автомобиля в 1,5 раза) время разгона сократилось с 8,1 до 6,7 с (на 17%) по сравнению с автомобилем со штатной комплектацией.

Ключевые слова: поршневой двигатель, дизельный двигатель, динамические показатели, внешняя скоростная характеристика.

Для цитирования: Марков В.А., Барченко Ф.Б., Неверов В.А., Шлёнов М.И., Савастенко Э.А. Переходные процессы поршневых двигателей с различной формой внешней скоростной характеристики // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. 2023. №1(35).

Original article

Transient processes of piston engines with various forms of external speed characteristic

Vladimir A. Markov¹, Philip B. Barchenko², Vsevolod A. Neverov³,
Matvey I. Shlenov⁴, Eduard A. Savastenko⁵

^{1,2,3,4}Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

⁵Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), Moscow, Russia

¹vladimir.markov58@yandex.ru

²barchenko@bmstu.ru

³sevasxp@mail.ru

⁴matvey-job@mail.ru

⁵e.d.u.a.r.d@inbox.ru

Abstract. Power and dynamic indicators remain the main indicators of piston engines. At the same time, the dynamic qualities of the car are largely determined by the shape of the external speed characteristics of the engine. The possibilities of changing the shape of the external speed characteristics of the engine by adjusting the fuel supply in these modes are considered. A method is described for improving power and dynamic performance by converting a four-stroke engine to work on a two-stroke cycle in modes with low rotational speeds. The analysis of the results of computational studies of transient processes of engines with different forms of external speed characteristics is carried out. Using the mathematical model developed by the authors, a simulation of the transient acceleration process of a KamAZ-740 engine in the engine speed range from 800 to 2200 min⁻¹ (an increase in the speed mode by 2.75 times) was carried out when adjusting the fuel supply. It is shown that an increase in the fuel supply of a KamAZ-740 engine in the maximum torque mode by about 1.5 times (an increase in the torque adaptability coefficient from 1.05 to 1.50) reduces the engine acceleration time from 8.2 to 5.4 seconds (by 34%). The simulation of acceleration of a car with a 2/4 Sight engine carried out by Ricardo (with its transfer to a two-stroke cycle at speed modes lower than the maximum torque speed mode) showed that when the vehicle was accelerated from 80 to 120 km/h (an increase in the speed of the car by 1.5 times), the time of such acceleration was reduced from 8.1 to 6.7 seconds (by 17%) compared to a car with a standard configuration.

Keywords: piston engine, diesel engine, dynamic indicators, external speed characteristic.

For citation: Markov V.A., Barchenko F.B., Neverov V.A., Shlenov M.I., Savastenko E.A. Transient processes of piston engines with various forms of external speed characteristic. *Avtomobil'. Doroga. Infrastruktura*. 2023. №1 (35).

Введение

Важнейшим требованием, предъявляемым к транспортным средствам с поршневыми двигателями, является обеспечение требуемых динамических показателей двигателя и транспортного средства в целом [1]. Это обусловлено тем, что ДВС используются в условиях переменных нагрузок. В свою очередь, данный факт требует мобильности от двигателя в плане перехода от одного режима к другому. Высокие динамические показатели ДВС способствуют сокращению времени перехода от одного режима к другому при разгоне и торможении. Таким образом это повышает маневренность автомобиля. К показателям, определяющим динамические свойства поршневых двигателей, относятся: заброс частоты вращения в переходном процессе и длительность этого процесса [2, 3]. Параметром, характеризующим динамические показатели транспортного средства, является его приемистость – время разгона автомобиля до требуемой скорости [4, 5].

Как известно, электромобили обладают более высокими динамическими показателями, но полный переход на электродвигатели в ближайшее время невозможен [6]. Поэтому на сегодняшний день более актуальным вопросом является улучшение динамических характеристик поршневых двигателей [7-11]. Одним из основных направлений такого совершенствования названных показателей является оптимизация формы внешней скоростной характеристики (ВСХ) [2, 12-15]. ВСХ (характеристика с максимальным крутящим моментом всех скоростных режимах работы двигателя) определяет динамические показатели ДВС и транспортного

средства в целом. Чем выше располагается ВСХ (чем больше крутящий момент на режимах ВСХ), тем лучшую приемистость имеет транспортное средство. Целями настоящего исследования являлись анализ путей формирования требуемой ВСХ и оценка их влияния на динамические показатели двигателя и транспортного средства.

Формирование требуемой внешней скоростной характеристики путем корректирования топливоподачи

ВСХ двигателя внутреннего сгорания имеет минимальный параметр α (коэффициент избытка воздуха), в таком случае участки коррекции топливоподачи будут либо отрицательными (частота вращения коленчатого вала меньше частоты вращения коленвала при максимальном крутящем моменте ($n < n_{MD\ M_{max}}$), рис. 1) или положительными (частота вращения больше частоты вращения коленвала при максимальном крутящем моменте ($n > n_{MD\ M_{max}}$) [2, 16]. На внешней скоростной характеристике на участке положительной коррекции цикловая подача топлива задаётся исходя из мощностных параметров двигателя (N_e – эффективная мощность и M_k – крутящий момент). А нормирование по уровню дымности отработанных газов является определяющим для участка отрицательной топливоподачи. Таким образом цикловая подача топлива определяет форму внешней скоростной характеристики. Для автомобильных дизелей, которые работают в условиях постоянного изменения нагрузок, важно обеспечить значения коэффициента приспособляемости (k_M) по крутящему моменту, определяемому в виде (рис. 1):

$$k_M = M_{д\ M\ max} / M_{д\ ном} .$$

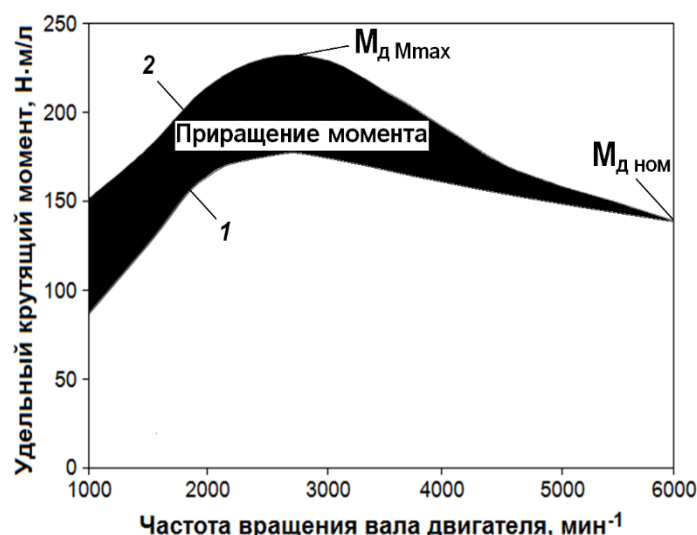


Рис. 1. Крутящий момент двигателя на режимах ВСХ без корректирования топливоподачи (1) и с корректированием топливоподачи (2)

С понижением частоты вращения цикловая подача топлива увеличивается на 10-50% на участке положительной коррекции (коэффициент приспособляемости $k_M = 1,1-1,5$) [2]. Достижение необходимого уровня запаса крутящего момента способствует уменьшению переключений коробки передач. Данный фактор способствует уменьшению возможности перехода в зону работы на участок отрицательной коррекции ВСХ при кратковременных перегрузках с пониженной мощностью, увеличенным потреблением топлива и повышенными выбросами вредных частиц.

Для оценки влияния ВСХ на динамические характеристики дизельного двигателя КамАЗ-740 (8 ЧН 12/12) разработана математическая модель САР комбинированного двигателя. Основные параметры исследуемого двигателя представлены на рис. 2 [16]. Данная математическая модель основана на дифференциальных уравнениях и состоит из основных узлов дизеля с газотурбинным наддувом: цилиндро-поршневая группа, турбокомпрессор, впускной и выпускной трубопровод [2]. С помощью нелинейных функциональных зависимостей определялись значения параметров

двигателя. В существующую модель добавлены уравнениями, описывающие регулятор частоты вращения. Модель содержит уравнения датчика частоты вращения, ЭБУ и исполнительного механизма, воздействующего на рейку ТНВД [2].

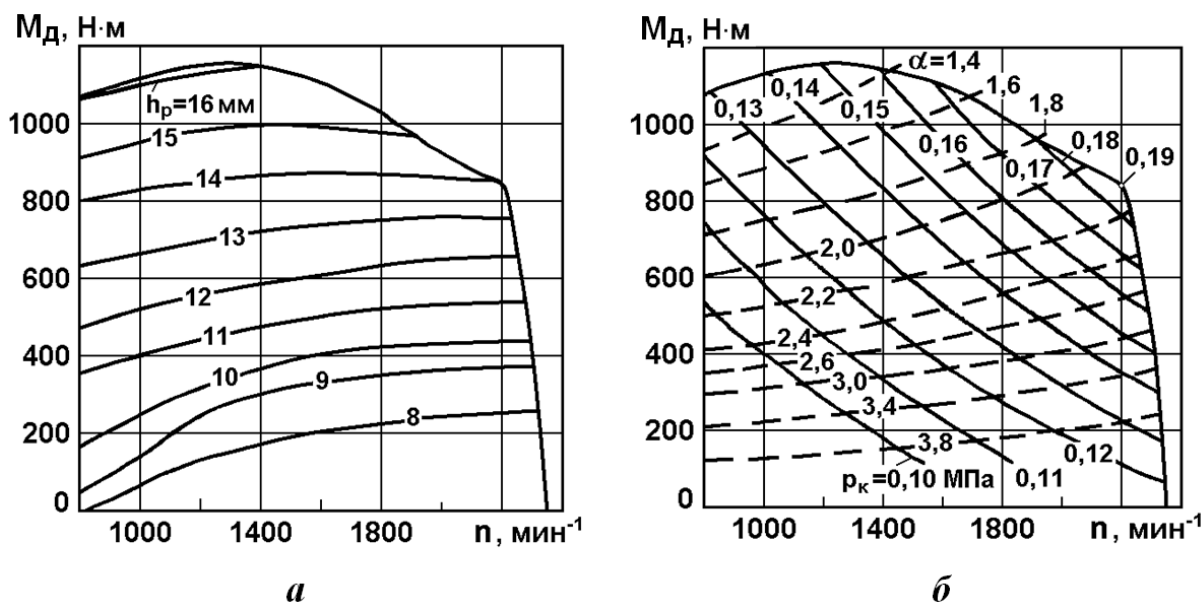


Рис. 2. Универсальные характеристики дизельного двигателя КамАЗ-740: а – положения h_p топливной рейки; б – давления наддува p_k и коэффициента избытка воздуха α .

Математическая модель была разработана и использована с целью расчёта переходных процессов системы автоматического регулирования частоты вращения дизельного двигателя КамАЗ-740. Исследованы переходные режимы разгонов дизеля при постоянной настройке потребителя $N = \text{const}$ (постоянный момент сопротивления потребителя $M_c = \text{const}$, рис. 3). При разгоне автомобиля происходит переключение передач трансмиссии, поэтому меняется настройка потребителя N (изменение момента сопротивления потребителя $M_c = \text{var}$). В работе моделировалась динамика разгона автомобиля из точки F регуляторной характеристики 3 (рис. 3) в точку A предельной регуляторной характеристики 2 на определённой фиксированной передаче. Изучено влияние конфигурации внешней скоростной характеристики на показатели исследуемого дизеля на режиме

разгона с $h_p = 9,5$ мм при $n = 800$ мин⁻¹ до режима $h_p = 14,0$ мм при $n = 2200$ мин⁻¹.

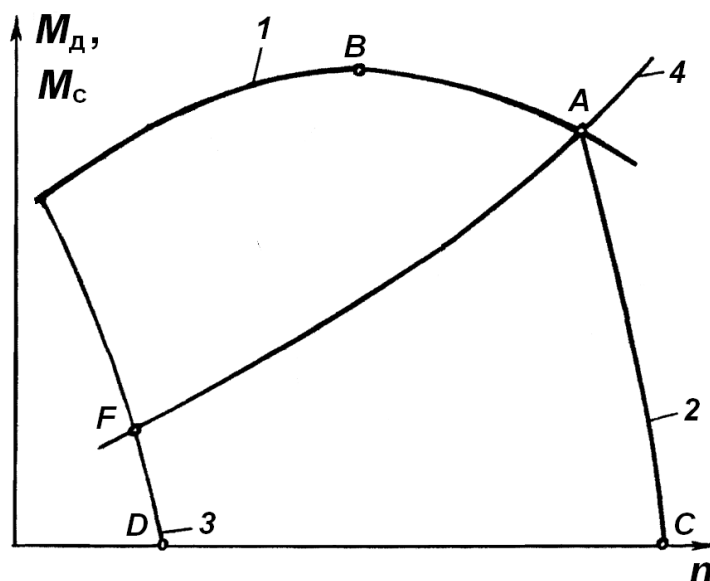


Рис. 3. Характеристики моментов двигателя M_d и сопротивления M_c : 1 – BCX; 2 и 3 – предельная и частичная регуляторные характеристики; 4 – характеристика M_c ; A и B – режимы номинальный и максимального крутящего момента; C и D – режимы холостого хода

При расчетных исследованиях диапазон коэффициента приспособляемости изменялся в диапазоне $k_M = 1,05-1,50$. Рассмотрено 4 вида участка характеристики положительной коррекции. На каждом режиме с частотой вращения $n_{ном} = 2200$ мин⁻¹ рейка топливного насоса имела положение $h_p = 14,0$ мм. В случае режима максимального крутящего момента частота вращения коленчатого вала была $n_{Mmax} = 1400$ мин⁻¹. Значения положений топливной рейки и соответствующие им коэффициенты приспособляемости были равны:

- $h_p = 16,7$ мм ($k_M = 1270/850 = 1,50$);
- $h_p = 16,0$ мм ($k_M = 1150/850 = 1,35$);
- $h_p = 15,1$ мм ($k_M = 1020/850 = 1,20$);
- $h_p = 14,2$ мм ($k_M = 890/850 = 1,05$).

На рисунке 4 видно, что длительность переходного процесса (t_n) уменьшается с 8,2 до 5,4 с при увеличении коэффициента приспособляемости (k_M) от 1,05 до 1,50 (погрешность частоты вращения составляет $n_\varepsilon = 1,5 \%$).

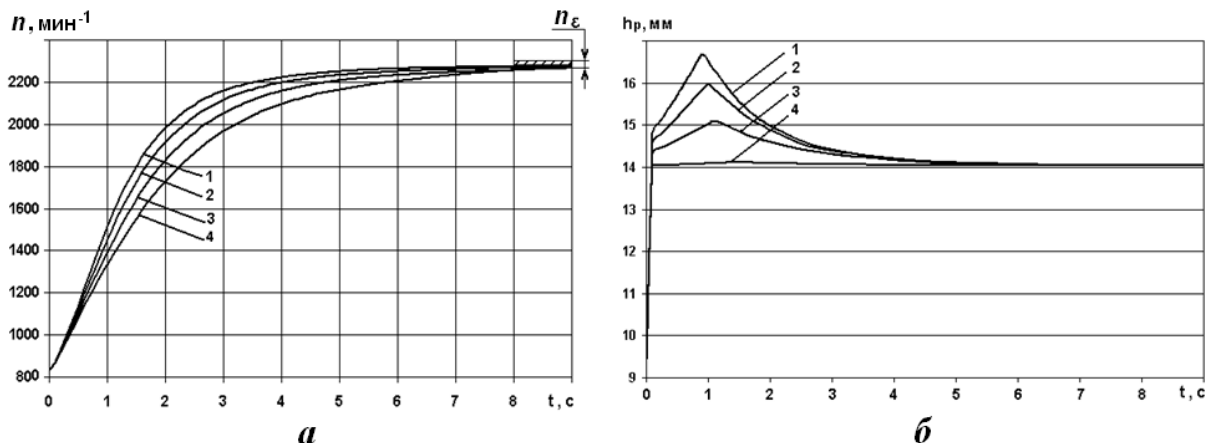


Рис. 4. Параметры дизеля типа КамАЗ-740 в переходном процессе его разгона:
 а – частота вращения дизеля n ; б – положение дозирующей рейки h_p ; 1 – $k_M = 1,50$;
 2 – $k_M = 1,35$; 3 – $k_M = 1,20$; 4 – $k_M = 1,05$

Формирование требуемой ВСХ путем перевода 4-тактного на 2-тактный рабочий цикл двигателя на низких частотах вращения

Поршневые ДВС классифицируются по различным показателям, один из основных – тактность двигателя. [1]. На сегодняшний день на автомобильном транспорте используются четырёхтактные двигатели. Эти четыре такта (впуск, сжатие, рабочий ход, выпуск) происходят за 2 оборота коленвала. В двухтактных ДВС все эти такты происходят за 1 оборот коленчатого вала двигателя [1]. Таким образом пока четырёхтактный ДВС совершит работу за определённый промежуток времени, двухтактный двигатель совершит в два раза больше работы, а значит и мощности. Однако ввиду потерь и уменьшенного рабочего хода мощность возрастёт около 1,5 раза. Это полезное свойство двухтактных двигателей может быть использовано для повышения мощностных характеристик автомобильного транспорта. В конце прошлого века было создано большое количество патентов и изобретений, позволяющих переключаться с 4-тактного режима на 2-тактный цикл в процессе работы двигателя [17-19].

Наибольших результатов в данной проблеме добилась компания *Ricardo* (Великобритания). Ими был разработан двигатель *2/4 Sight* в 2005 году [20]. За основу был взят двигатель с рабочим объёмом $V_h = 3,5$ л, а точнее один блок цилиндров этого двигателя с рабочим объёмом 2,1 л. В соответствии с предложенной стратегией (рис. 5), основная часть рабочих режимов двигателя осуществляется в 4-тактном цикле. Благодаря этому обеспечиваются оптимальные экономические и экологические показатели, соответствующие современным нормам. При снижении частоты вращения и увеличении нагрузки автоматически происходит переход на 2-тактный цикл. Это обеспечивает высокий крутящий момент и улучшение динамических показателей поршневого двигателя.

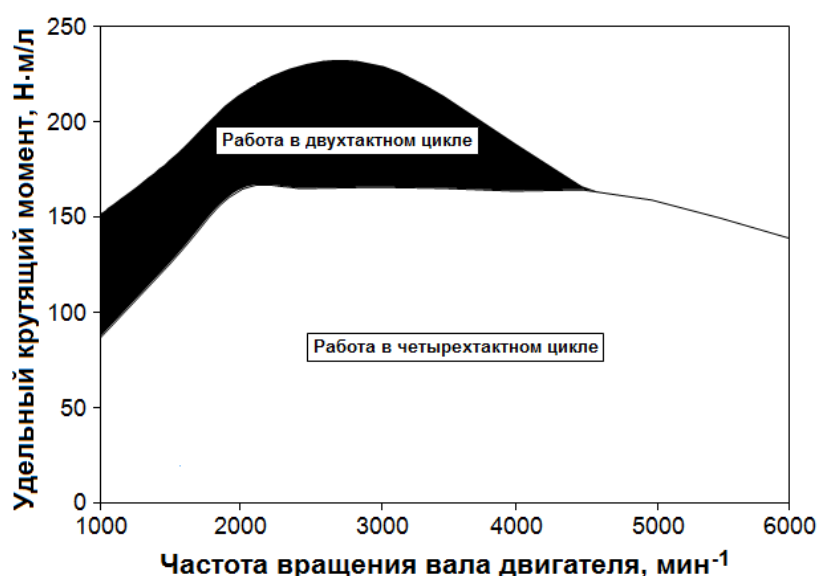


Рис. 5. Стратегия работы двигателя с переключением на 2-тактный цикл

На ВСХ (рис. 6) видно, что значение наибольшего крутящего момента двигателя *2/4 Sight* достигается при $n=2500$ мин⁻¹ при работе в двухтактном цикле. В этот момент происходит переключение на 4-тактный цикл (характеристика №1). При работе двигателя с частичной нагрузкой рабочий цикл осуществляется как у обычного четырехтактного бензинового двигателя.



Рис. 6. Крутящий момент двигателя на режимах ВСХ: 1 – в четырехтактном цикле; 2 – в двухтактном цикле; 3 – с возможностью переключения на четырехтактный цикл

С целью определения динамических показателей автомобиля, оснащённого двигателем 2/4 *Sight*, смоделированы динамические режимы при различных скоростях разгона. Было рассчитано время разгона, а эти показатели сравнивались с базовым двигателем, не оснащённым системой переключения тактности. Результаты моделирования представлены в таблице 1. Они показывают высокую сходимость с опубликованными данными для базового автомобиля. Согласно полученным результатам можно сделать вывод, что время разгона автомобиля со скорости 80–120 км/ч двигателем 2/4 *Sight* сократился с 8,1 до 6,7 с (на 17%) по сравнению с базовым автомобилем [18, 19].

Таблица 1

Результаты моделирования динамических режимов разгона транспортного средства

Диапазоны скоростей разгона автомобиля [км/ч]	Время разгона автомобиля [с] при различных комплектациях двигателя		
	Базовая конфигурация ДВС (опубликованные данные)	Базовая конфигурация ДВС (результаты моделирования)	Двигатель 2/4 <i>Sight</i> (результаты моделирования)
0-100	9,4	9,3	9,2
50-80	-	3,5	3,2
80-120	-	8,1	6,7

Примечание: «-» - результаты не определялись

Заключение

1. Показано, что одним из основных направлений совершенствования динамических показателей транспортных средств является оптимизация формы внешней скоростной характеристики.

2. Рассмотрено два направления формирования требуемой внешней скоростной характеристики поршневых двигателей – путем корректирования топливоподачи и путем перевода двигателя с четырехтактного на двухтактный цикл на режимах с пониженной частотой вращения.

3. Проведен анализ влияния формы внешней скоростной характеристики двигателей КамАЗ-740 и *Ricardo* на их динамические показатели.

4. В дизельном двигателе КамАЗ-740 улучшение динамических показателей достигнуто за счет корректирования топливоподачи на режимах внешней скоростной характеристики. При этом подача топлива на режиме максимального крутящего момента была увеличена примерно в 1,5 раза (рост коэффициента приспособляемости по крутящему моменту k_M с 1,05 до 1,50).

5. Расчетные исследования переходного разгона двигателя КамАЗ-740 от режима с положением дозирующей рейки $h_p = 9,5$ мм при частоте вращения коленчатого вала $n = 800$ мин⁻¹ до режима с положением дозирующей рейки $h_p = 14,0$ мм при частоте вращения $n = 2200$ мин⁻¹. Указанный рост коэффициента приспособляемости с 1,05 до 1,50 сопровождался сокращением продолжительности переходного процесса с 8,2 до 5,4 с (на 34%).

6. В бензиновом двигателе *Ricardo* типа 2/4 *Sight* улучшение динамических показателей достигнуто за счет его перевода на двухтактный цикл на высоких нагрузках в области пониженных частот вращения коленвала.

7. При разгоне автомобиля с двигателем *Ricardo* типа 2/4 *Sight* с 80 до 120 км/ч (увеличение скорости автомобиля в 1,5 раза) время такого разгона сократилось с 8,1 до 6,7 с (на 17%) по сравнению с автомобилем со штатной комплектацией.

Статья опубликована по итогам международной научно-технической конференции «10-е Луканинские чтения. Проблемы и перспективы развития автотранспортного комплекса».

Список источников

1. Машиностроение. Энциклопедия. Том IV. Двигатели внутреннего сгорания / Л.В. Грехов, Н.А. Иващенко, В.А. Марков и др. Под ред. А.А. Александрова, Н.А. Иващенко. – М.: Машиностроение, 2013. – 784 с.
2. Топливная аппаратура и системы управления дизелей / Л.В. Грехов, Н.А. Иващенко, В.А. Марков. – М.: Изд-во «Легион-Автодата», 2005. – 344 с.
3. Гусаков, С.В. Показатели динамических качеств двигателей внутреннего сгорания / С.В. Гусаков, С.С. Бисенбаев, А. Прияндака // Вестник РУДН. – Инженерные исследования. – 2004. – № 2. – С. 20-24.
4. Патрахальцев, Н.Н. Неустановившиеся режимы работы двигателей внутреннего сгорания / Н.Н. Патрахальцев. – М.: Изд-во РУДН, 2009. – 380 с.
5. Нарбут, А.Н. Оптимизация разгона АТС / А.Н. Нарбут, А.А. Мухитдинов, К.В. Мартынов // Автомобильная промышленность. – 2002. – № 1. – С. 20-22.
6. Перспективы развития электромобилей в России / С.Н. Девянин, В.А. Марков, А.А. Савастенко, Э.А. Савастенко // 9-е Луканинские чтения. Проблемы и перспективы развития автотранспортного комплекса: сборник докладов Международной научно-технической конференции, Москва, 29 января 2021 года. – М.: МАДИ, 2021. – С. 114-121.
7. Кузнецов, А.Г. Улучшение динамических свойств среднеоборотного дизеля при использовании регулируемого турбонаддува / А.Г. Кузнецов, С.В. Харитонов, В.А. Рыжов // Известия ВУЗов. Машиностроение. – 2021. – № 11. – С. 59-74.
8. Кузнецов, А.Г. Разработка и исследование системы управления дизельным двигателем / А.Г. Кузнецов, С.В. Харитонов, В.А. Рыжов // Двигателестроение. – 2021. – № 2. – С. 20-25.
9. Агуреев, И.Е. Динамика и синергетика поршневых двигателей внутреннего сгорания / И.Е. Агуреев, М.В. Малиованов // Двигателестроение. – 2001. – № 2. – С. 36-39.
10. Матейчик, В.П. Динамическая система для оценки различных энергоустановок дорожных транспортных средств / В.П. Матейчик // Двигателестроение. – 2004. – № 1. – С. 10-12.
11. Евдонин, Е.С. Разработка и применение эмпирических моделей для оптимизации управления двигателем внутреннего сгорания / Е.С. Евдонин, П.В. Душкин, А.И. Кузьмин // Труды НАМИ. – 2020. – № 4. – С. 101-108.
12. Системы управления дизельными двигателями: Перевод с немецкого. – М.: ЗАО «КЖИ За рулем», 2004. – 480 с.
13. Системы управления бензиновыми двигателями: Перевод с немецкого. – М.: ЗАО «КЖИ «За рулем», 2005. – 432 с.
14. Марков, В.А. Оценка влияния формы внешней скоростной характеристики на показатели дизеля в переходном процессе / В.А. Марков, М.И. Шлёнов // Известия ВУЗов. Машиностроение. – 2009. – № 1. – С. 47-57.
15. Лысунец, А.В. Моделирование скоростных характеристик ДВС для разработки автоматических систем управления с обратной связью / А.В. Лысунец, В.В. Медведев // Двигателестроение. – 2015. – № 2. – С. 25-27.

16. Шлёнов, М.И. Улучшение эксплуатационных показателей транспортного дизеля путем совершенствования системы автоматического регулирования частоты вращения: дис. ... канд. тех. наук / М.И. Шлёнов. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. – 164 с.
17. Марков, В.А. Расчетные исследования динамических качеств дизельного двигателя и гусеничной машины / В.А. Марков, Ф.Б. Барченко, В.А. Неверов [и др.] // Известия ВУЗов. Машиностроение. – 2022. – № 3. – С. 31-52.
18. Марков, В.А. Форсирование четырехтактного двигателя путем перевода на работу по двухтактному циклу в режимах с низкими частотами вращения / В.А. Марков, Ф.Б. Барченко, Э.А. Савастенко [и др.] // Известия ВУЗов. Машиностроение. – 2022. – № 2. – С. 38-52.
19. Савастенко, Э.А. Форсирование четырёхтактного двигателя в области низких частот вращения переводом на работу по двухтактному циклу / Э.А. Савастенко, А.А. Савастенко, Р.А. Москвичев // 9-е Луканинские чтения. Проблемы и перспективы развития автотранспортного комплекса: сборник докладов Международной научно-технической конференции, Москва, 29 января 2021 года. – М.: МАДИ, 2021. – С. 367-379.
20. Osborne R.J., Stokes J., Lake T.H. et al. Development of a Two-Stroke/Four-Stroke Switching Gasoline Engine – The 2/4 SIGHT Concept // SAE Technical Paper Series. – 2005. – № 2005-01-1137. – P. 1-17.

References

1. Grekhov L.V., Ivashchenko N.A., Markov V.A. et al. *Mashinostroenie. `Entsiklopedija. Dvigateli vnutrennego sgoranija* (Mechanical Engineering. Encyclopedia. Volume IV. Internal Combustion Engines), Edited by A.A. Alexandrov, N.A. Ivashchenko, Moscow, Mashinostroenie, 2013, 784 p.
2. Grekhov L.V., Ivashchenko N.A., Markov V.A. *Toplivnaja apparatura i sistemy upravlenija dizelej* (Fuel Equipment and Diesel Control Systems), Moscow, Legion-Avtodata Publishing, 2005, 344 p.
3. Gusakov S.V., Bisenbaev S.S., Priyandaka A. *Vestnik RUDN. Inzhenernye issledovaniya*, 2004, no 2, pp. 20-24.
4. Patrahaltsev N.N. *Neustanovivshiesja rezhimy raboty dvigatelej vnutrennego sgoranija* (Unsteady Modes of Operation of Internal Combustion Engines), Moscow, RUDN Publishing, 2009, 380 p.
5. Narbut A.N., Mukhitdinov A.A., Martynov K.V. *Avtomobil'naja promyshlennost'*, 2002, no 1, pp. 20-22.
6. Devyanin S.N., Markov V.A., Savastenko A.A., Savastenko E.A. *9-ye Lukaninskiye chteniya. Problemy i perspektivy razvitiya avtotransportnogo kompleksa: sbornik dokladov Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii*, Moscow, MADI, 2021, p. 114-121.
7. Kuznetsov A.G., Kharitonov S.V., Ryzhov V.A. *Izvestiya VUZov. Mashinostroenie*, 2021, no 11, pp. 59-74.
8. Kuznetsov A.G., Kharitonov S.V., Ryzhov V.A. *Dvigatestrojenije*, 2021, no 2, pp. 20-25.
9. Agureev I.E., Maliovanov M.V. *Dvigatestrojenije*, 2001, no 2, pp. 36-39.
10. Mateychik V.P. *Dvigatestrojenije*, 2004, no 1, pp. 10-12.
11. Evdonin E.S., Dushkin P.V., Kuzmin A.I. *Trudy NAMI*, 2020, no 4, pp. 101-108.

12. *Sistemy upravlenija dizel'nymi dvigateljami* (Diesel Engine Control Systems): Translated from German, Moscow, Za ruljom Publishing, 2004, 480 p.
13. *Sistemy upravlenija benzinovymi dvigateljami* (Gasoline Engine Control Systems): Translated from German, Moscow, Za ruljom Publishing, 2005, 432 p.
14. Markov V.A., Shlenov M.I. *Izvestija VUZov. Mashinostroenie*, 2009, no 1, pp. 47-57.
15. Lysunets A.V., Medvedev V.V. *Dvigatellestrojenije*, 2015, no 2, pp. 25-27.
16. Shlenov M.I. *Uluchshenie `ekspluatatsionnyh pokazatelej transportnogo dizelja putem sovershenstvovanija sistemy avtomaticheskogo regulirovanija chastoty vraschenija* (Improving the Performance of a Transport Diesel Engine by Improving the Automatic Speed Control System), PhD thesis, Moscow, BMSTU, 2008, 164 p.
17. Markov V.A., Barchenko F.B., Neverov V.A., Savastenko A.A., Latfullin Sh.R. *Izvestija VUZov. Mashinostroenie*, 2022, no 3, pp. 31-52.
18. Markov V.A., Barchenko F.B., Savastenko E.A., Savastenko A.A., Latfullin S.R., Neverov V.A. *Izvestija VUZov. Mashinostroenie*, 2022, no 2, pp. 38-52.
19. Savastenko E.A., Savastenko A.A., Moskvichev R.A. *9-ye Lukaninskiye chteniya. Problemy i perspektivy razvitiya avtotransportnogo kompleksa: sbornik dokladov Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii*, Moscow, MADI, 2021, pp. 367-379.
20. Osborne R.J., Stokes J., Lake T.H. et al. Development of a Two-Stroke/Four-Stroke Switching Gasoline Engine – The 2/4 SIGHT Concept, *SAE Technical Paper Series*, 2005, no 2005-01-1137, pp. 1-17.

Рецензент: М.Г. Шатров, д-р техн. наук, проф., МАДИ

Информация об авторах

Марков Владимир Анатольевич, д-р техн. наук, проф., МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Барченко Филипп Борисович, канд. техн. наук, доц., МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Неверов Всеволод Анатольевич, ассистент, МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Шлёнов Матвей Ильич, канд. техн. наук, ассистент, МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Савастенко Эдуард Андреевич, канд. техн. наук, доц., МАДИ.

Information about the authors

Markov Vladimir A., Dr. Sc., professor, BMSTU.

Barchenko Philip B., Ph.D., associate professor, BMSTU.

Neverov Vsevolod A., teaching assistant, BMSTU.

Shlenov Matvey I., Ph. D., teaching assistant, BMSTU.

Savastenko Eduard A., Ph.D., associate professor, MADI.

Статья поступила в редакцию 28.02.2023; одобрена после рецензирования 27.03.2023; принята к публикации 28.03.2023.

The article was submitted 28.02.2023; approved after reviewing 27.03.2023; accepted for publication 28.03.2023.